

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ПОЛТАВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ПЕДАГОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**ІМЕНІ В.Г. КОРОЛЕНКА**  
**ФАКУЛЬТЕТ ПРИРОДНИЧИХ НАУК ТА МЕНЕДЖМЕНТУ**  
**КАФЕДРА БОТАНІКИ, ЕКОЛОГІЇ ТА МЕТОДИКИ**  
**НАВЧАННЯ БІОЛОГІЇ**

Навчальний посібник дисципліни  
«Моніторинг довкілля»

Галузь знань	10 Природничі науки
Спеціальність	101 Екологія
Освітньо-професійна програма	«Екологія»



Полтава – 2025 н. р.

УДК 502.13(075.8)

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Дерев`янюк Т. В. – кандидат біологічних наук, доцент, завідувач кафедри біології, здоров'я людини та фізичної реабілітації Полтавського національного педагогічного університету імені В. Г. Короленка.

АЛЕКСЄЄВА С. В. – доктор педагогічних наук, старший науковий співробітник, головний науковий співробітник відділу дидактики Інституту педагогіки НАПН України.

УКЛАДАЧІ:

Дяченко-Богун М. М. – доктор педагогічних наук, професор, професор кафедри ботаніки, екології та методики навчання біології Полтавського національного педагогічного університету імені В. Г. Короленка.

Гомля Л. М. - кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри ботаніки, екології та методики навчання біології Полтавського національного педагогічного університету імені В. Г. Короленка.

Шкура Т. В. - кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри ботаніки, екології та методики навчання біології Полтавського національного педагогічного університету імені В. Г. Короленка.

Красовський В. В. – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, директор Хорольського ботанічного саду.

Рокотянська В. О. – кандидат сільськогосподарських наук, асистент кафедри ботаніки, екології та методики навчання біології Полтавського національного педагогічного університету імені В. Г. Короленка.

Сагайдак В. Р. - асистент кафедри ботаніки, екології та методики навчання біології Полтавського національного педагогічного університету імені В. Г. Короленка.

**Навчальний посібник дисципліни «Моніторинг довкілля»** містить основні аспекти вивчення методів та інструментів оцінки стану навколишнього середовища. Дисципліна охоплює теоретичні аспекти збору, аналізу та інтерпретації екологічних даних, спрямованих на забезпечення сталого розвитку та охорону природи. У конспекті розглядаються ключові питання: система моніторингу довкілля, методи збору даних, застосування сучасних технологій, оцінка стану різних компонентів навколишнього середовища, таких як повітря, вода, ґрунти та біорізноманіття. Окрім того, акцентується увага на аналізі даних моніторингу для прийняття управлінських рішень та розробки екологічних політик. Метою дисципліни є формування у студентів здатності до самостійної роботи в галузі моніторингу довкілля та застосування отриманих знань для оцінки екологічних ризиків, прогнозування змін в екосистемах і розробки заходів щодо збереження довкілля.

Затвердила вчена рада Полтавського національного педагогічного  
університету імені В. Г. Короленка  
(протокол 8 від 03.02.2025 р.).

©ПНПУ імені В.Г. Короленка , 2025  
©Дяченко –Богун М.М, Гомля Л.М., Шкура Т.В.,  
Красовський В.В., Рокотянська В.О., Сагайдак В.Р., 2025

## ЗМІСТ

Тема 1. Моніторинг довкілля як галузь екологічної науки і природоохоронної діяльності.....	5
Тема 2. Спостереження за станом природного середовища .....	24
Тема 3. Рівні та види моніторингу довкілля.....	40
Тема 4. Глобальна система моніторингу навколишнього середовища .....	53
Тема 5. Моніторинг атмосферного повітря .....	69
Тема 6. Види постів спостережень і методи оцінювання забруднення атмосферного повітря.....	88
Тема 7. Методика спостереження при відборі проб атмосферного повітря.....	98
Тема 8. Автоматизовані системи спостереження і контролю за атмосферним повітрям .....	111
Тема 9. Оцінювання стану атмосферного повітря за результатами спостережень.....	128
Тема 10. Моніторинг поверхневих вод .....	136
Тема 11. Контроль якості поверхневих вод.....	150
Тема 12. Організація гідробіологічних спостережень .....	162
Тема 13. Оцінювання і прогнозування якості води.....	179
Тема 14. Моніторинг Світового океану .....	208
Тема 15. Організація спостережень за станом вод Світового океану .....	223
Тема 16. Моніторинг стану ґрунтів .....	236
Тема 17. Організація моніторингу стану ґрунтів .....	252
Тема 18. Організація спостережень за рівнем забрудненості ґрунтів.....	270
Тема 19. Моніторинг меліорованих земель .....	282
Тема 20. Радіоактивне забруднення природного середовища і його моніторинг .....	298
Тема 21. Організація радіаційного контролю.....	317
Тема 22. Моніторинг довкілля на основі спостережень за біологічними об'єктами .....	326

## **Тема 1. Моніторинг довкілля як галузь екологічної науки і природоохоронної діяльності**

1.1. Сутність, об'єкт, предмет, методи моніторингу довкілля

1.2. Становлення і розвиток моніторингу довкілля як галузі екологічної науки

1.3. Моніторинг як система спостережень за впливом на довкілля антропогенних факторів

1.4. Моніторинг як система оцінювання і прогнозування майбутнього стану довкілля

У різних видах наукової та практичної діяльності людина послуговується методом спостереження як способом пізнання, що ґрунтується на тривалому цілеспрямованому планомірному сприйнятті предметів і явищ навколишнього середовища. Інформація про стан довкілля потрібна у щоденному житті людей, в їх господарській діяльності, особливо цінна вона за надзвичайних ситуацій, під час яких динамічно змінюються події, доводиться оперативно приймати необхідні, часто нестандартні рішення.

### **1.1. Сутність, об'єкт, предмет, методи моніторингу довкілля**

Зміни у навколишньому середовищі відбуваються під впливом природних і зумовлених діяльністю людини біосферних факторів. Пізнання цих змін неможливе без виокремлення антропогенних процесів на фоні природних, для чого і організовують спеціальні спостереження за різноманітними параметрами біосфери, які змінюються внаслідок людської діяльності. Саме у спостереженні за довкіллям, оцінюванні його фактичного стану, прогнозуванні його розвитку полягає сутність моніторингу.

За міжнародним стандартом (СТ ІСО 4225-80), моніторинг — це багаторазове вимірювання для спостереження за змінами будь-якого параметра в певному інтервалі часу; система довготривалих спостережень, оцінювання, контролювання і прогнозування стану і зміни об'єктів. Цей

термін було запропоновано напередодні проведення Стокгольмської конференції ООН з навколишнього середовища у 1972 р. на противагу (або на доповнення) до терміну «контроль». Крім спостережень і отримання інформації, моніторинг передбачає і елементи активних дій, таких як оцінювання, прогнозування, розроблення природоохоронних рекомендацій.

Моніторинг (англ. monitoring, від лат. monitor — той, що контролює, попереджує) довкілля — система спостереження і контролю за природними, природно-антропогенними комплексами, процесами, що відбуваються у них, навколишнім середовищем загалом з метою раціонального використання природних ресурсів і охорони довкілля, прогнозування масштабів неминучих змін.

Як галузь екологічної науки моніторинг довкілля ґрунтується на загальних екологічних законах і взаємодіє з природничими, географічними і технічними науками. Його завдання полягають у постановці і виробленні теоретичних засад практичного розв'язання проблем організації спостережень; науковому обґрунтуванні складу, структури мережі й методів спостережень за природним фоном, природними явищами, планетарними процесами, рівнем забруднення середовищ, станом біоти (сукупності живих організмів, що населяють певний район у певний проміжок часу), фізичними параметрами біосфери; виборі методів, методик оцінювання і прогнозування стану довкілля; розробленні рекомендацій щодо управління станом складових біосфери.

Метою моніторингу довкілля є екологічне обґрунтування перспектив та удосконалення системи моніторингу навколишнього середовища, оцінювання фактичного і прогнозованого його стану; попередження про зниження біорізноманітності екосистем, порушення екологічної рівноваги у довкіллі, погіршення умов життєдіяльності людей.

Предметом моніторингу довкілля як науки є організація і функціонування системи моніторингу, оцінювання і прогнозування стану

екологічних систем, їх елементів, біосфери, характеру впливу на них природних і антропогенних факторів.

Об'єктами моніторингу довкілля, залежно від рівня та мети досліджень, можуть бути навикишнє середовище, його елементи (атмосферне повітря, поверхневі й підземні води, ґрунтовий і рослинний покриви, екосистеми, їх абіотичні і біотичні складові, біосфера) і джерела впливу на довкілля.

Моніторинг довкілля як комплексна галузь знань послуговується загальнонауковими методами досліджень, такими як аналіз і синтез, сходження від конкретного до абстрактного, узагальнення, математичне і статистичне оброблення інформації. Разом з тим, моніторинг довкілля розробляє власні методи аналізу, прогнозування стану екологічних систем і процесів, що в них відбуваються. На підставі дослідження зв'язків між процесами і складовими екосистем, впливу на них природних та антропогенних факторів моніторинг з'ясовує спільні закономірності функціонування, а також особливості стану екосистем, компонентів біосфери на різних просторово-територіальних рівнях. Ця наука забезпечує здобуття нових знань про навколишнє середовище з використанням методів оцінювання і прогнозування стану його елементів (атмосферного повітря, поверхневих і підземних вод, ґрунтового і рослинного покриву), розкриває їх взаємозв'язки і взаємовпливи.

При виконанні своїх функцій моніторинг довкілля використовує різноманітні методи отримання первинної і вторинної інформації.

Методи отримання первинної інформації реалізуються через безпосередні спостереження на відповідних станціях, постах, створах. Такими є метеорологічні, гідрологічні, океанічні, геофізичні, біологічні, фонові спостереження. Дані про стан довкілля отримують і за допомогою дистанційних засобів спостережень, зокрема внаслідок прямих спостережень із супутників Землі, вертикальних зондувань, фотографічних і геофізичних зйомок, а також геостаціонарних спостережень.

Методи отримання вторинної інформації полягають в упорядкуванні і опрацюванні бази даних, отриманих за допомогою первинної інформації. Результати фіксують у вигляді карт, таблиць, графіків. Для акумулювання й узагальнення інформації функціонують географічні інформаційні системи (ГІС) — комп'ютерні бази даних, поєднані з певними аналітичними засобами для роботи з просторовою інформацією.

Для оброблення бази даних, оцінювання і прогнозування стану довкілля застосовують метод аналогій (досліджуваний об'єкт оцінюється відповідно до його типової моделі), емпіричне узагальнення (вивчення зв'язків між явищами і процесами об'єкта дослідження), моделювання (побудова фізичних, математичних, цифрових моделей).

Нагромаджені у процесі моніторингу дані інформують про стан довкілля на певний час, основні процеси, тенденції, що відбуваються в ньому. Ці відомості допомагають спрогнозувати його розвиток, передбачити надзвичайні ситуації природного та техногенного походження, а також спланувати науково обґрунтовані природоохоронні заходи для створення безпечних умов життєдіяльності. Особливо актуальним є відстеження антропогенних змін у природі.

Необхідним є дослідження середовища у динаміці, тобто оцінювання минулого, сучасного його станів, а також прогнозування змін його параметрів у майбутньому.

Моніторинг довкілля передбачає виконання таких загальних завдань:

- спостереження за факторами впливу на навколишнє природне середовище і за його станом;
- оцінювання фактичного стану довкілля;
- прогнозування стану навколишнього природного середовища і його оцінювання;
- дослідження стану біосфери, оцінювання й прогнозування її змін;
- визначення обсягу антропогенної дії на навколишнє природне середовище;

- встановлення факторів і джерел забруднення навколишнього природного середовища;
- виявлення критичних та екстремальних ситуацій, що порушують екологічну безпеку.

Необхідність виконання цих завдань зумовлює структуру моніторингу, яка формується з таких блоків: «Спостереження за довкіллям», «Оцінювання фактичного стану довкілля», «Прогнозування стану довкілля», «Оцінювання прогнозованого стану довкілля» (рис.1.1).

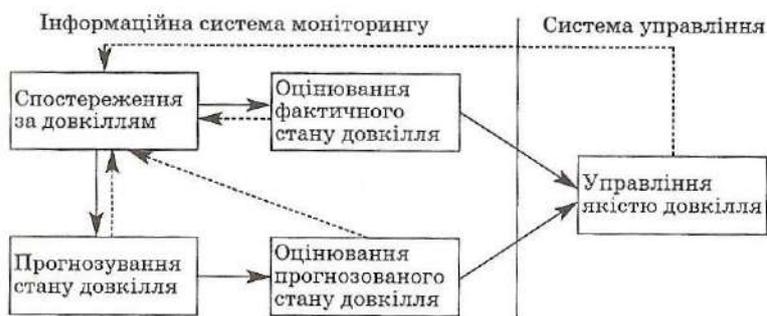


Рис. 1.1. Блок-схема системи моніторингу

Блоки «Спостереження...» і «Прогнозування ...» тісно пов'язані між собою, оскільки прогнозування змін довкілля можливе лише за наявності достатньої інформації про його фактичний стан (прямий зв'язок). Прогнозування передбачає знання закономірностей змін стану природного середовища, наявність схеми і можливостей їх прогнозованого розрахунку, а також спрямованість прогнозу, яка значною мірою визначає структуру спостережень (зворотний зв'язок).

Отримані в результаті спостережень або прогнозу дані, які характеризують стан довкілля, оцінюють залежно від того, в якій сфері діяльності передбачається їх використання. Оцінювання передбачає з'ясування певних антропогенних впливів, вибір оптимальних умов для діяльності, визначення наявних екологічних резервів за умови знання допустимих навантажень на навколишнє середовище.

Система моніторингу може охоплювати локальні райони (локальний і регіональний моніторинги), окремі держави (національний моніторинг) і Землю загалом (глобальний моніторинг).

Моніторинг є важливою складовою системи управління якістю довкілля, оскільки передбачає належне інформування про конкретні особливості й наслідки взаємодії людства з навколишнім середовищем. Інформація про його стан і тенденції змін є основою розроблення заходів з охорони природи, враховується вона і при плануванні розвитку економіки. Результати оцінювання наявного і прогнозованого стану біосфери визначають комплекс вимог до підсистем спостережень.

## **1.2. Становлення і розвиток моніторингу довкілля як галузі екологічної науки**

Спостереження за причинно-наслідковими явищами і процесами природного середовища було необхідною умовою пристосування до навколишнього світу і запорукою виживання й розвитку людства. Первісна людина спостерігала за довкіллям, робила певні висновки і передбачення. Зі становленням і розвитком наступних історичних формацій набутий досвід спочатку в усній, а потім у письмовій формі зберігався, аналізувався і передавався наступним поколінням. Перший великий поділ праці (відокремлення землеробських (осілих) і скотарських (кочових) племен), очевидно, зумовив і певну диференціацію в оцінюванні найважливіших природних явищ, які позначалися на життєдіяльності людей. На перших етапах розвитку вплив людства на природне середовище мав локальний характер, був незначним, а виробнича діяльність спиралася на природні сили (енергію води, вітру тощо).

Найдавніші письмові пам'ятки, які свідчать, що спостереження за довкіллям були важливою умовою розвитку суспільства, залипили єгиптяни, греки та, практично, всі народи, які мали писемність. Так, Гіппократ (прибл. 460—370 до н. е.) у своєму трактаті «Про повітря, воду і місцевість» (прибл. 390 р. до н.е.) розглядав вплив навколишнього середовища на здоров'я людини. Деякі факти і трактування екологічного спрямування висвітлено у праці Арістотеля (384—322 рр. до н.е.) «Про виникнення тварин» (прибл. 340

р. до н.е.). Теофраст Ерезійський (371—280 рр. до н.е.) наводить відомості про своєрідність рослин, що зростають у різних умовах, залежність їх форми та особливостей від ґрунту і клімату.

З розвитком суспільства накопичувалася інформація екологічного спрямування, систематизувалися дані, аналізувалися зміни стану навколишнього природного середовища, зумовлені впливом природних факторів і діяльності людини. У ХХ ст. людина отримала змогу активно впливати на довкілля та користуватися новими ресурсами. Саме поширенням антропогенного впливу на природу та її змінами і було зумовлене становлення моніторингу довкілля як науки. Моніторинг довкілля виник у другій половині ХХ ст. як науково-практичний напрям системної екології, завданням якої є встановлення критеріїв і виявлення меж стійкості екологічних систем. Тоді його метою було отримання репрезентативних даних про стан, динамічні зміни екосистем, створення бази даних (за певними показниками), вибір об'єктів і формування мережі спостережень. На той час поняття «моніторинг довкілля» охоплювало не лише систему постійних спостережень за станом компонентів біосфери, а й засновану на природничо-науковій основі (біологічній, фізико-хімічній, геофізичній) певну їх методологію, а також позначало дієвий засіб охорони довкілля.

На початку 70-х років ХХ ст. було обґрунтовано альтернативні концепції моніторингу довкілля як сфери наукового знання і практичної діяльності.

Згідно з концепцією сучасного російського геофізика Ю. Ізраеля моніторинг довкілля є системою цілеспрямованих, періодично повторюваних і програмованих спостережень за одним і більше елементами навколишнього середовища у просторі і часі. Основними елементами цієї системи є спостереження, оцінювання і прогнозування стану довкілля. Моніторинг формується з певних підсистем, серед яких особливу роль відіграє екологічний моніторинг — виявлення і дослідження антропогенних змін стану абіотичних компонентів природних середовищ біосфери (також

враховують зміни рівнів забруднення природних середовищ) і зворотної реакції екосистем на природні та антропогенні зміни. За цією концепцією метою моніторингу є фіксація антропогенних змін природного середовища, а управління його якістю не передбачено.

За переконаннями російського географа-грунтознавця І. Герасимова, моніторинг довкілля — це організована на різних рівнях система спостережень, контролювання і управління його станом. Налагодження моніторингу довкілля відповідно до цієї концепції сприяє виявленню екологічних небезпек, але ускладнює раціональне управління екосистемами, якщо середовище забруднене шкідливими відходами виробництва, порушені біотичні кругообіги і нормальне функціонування екосистеми. Відповідно до завдань і масштабів об'єктів спостереження І. Герасимов розрізняє такі рівні моніторингу довкілля:

- 1) біоеко логічний (санітарно-гігієнічний) моніторинг. Його сутність полягає в спостереженні за станом і впливом довкілля на здоров'я людини з метою захисту її від негативних чинників. Головне завдання біоекологічного моніторингу — наукове обґрунтування зв'язку між явищами в навколишньому середовищі і станом здоров'я людини;
- 2) геоекологічний (геосистемний, природно-господарський) моніторинг. Передумовами його реалізації є геофізичні, геохімічні, біохімічні, біологічні спостереження за змінами природних екосистем і перетворенням їх на природно-технічні, прогнозування стихійних змін навколишнього середовища і явищ, які погіршують життєве середовище людей;
- 3) біосферний моніторинг. Здійснюють його шляхом спостереження за природними процесами і явищами на рівні біосфери, в т.ч. і за їх змінами внаслідок дії антропогенних факторів, а також через з'ясування глобальних змін фонових показників у природі.

Важливими елементами обґрунтованої І. Герасимовим управлінської концепції моніторингу довкілля є виявлення і контролювання екологічних небезпек.

М. Голубець — український вчений, спеціаліст у галузях ботаніки, екології та ін., розглядає моніторинг довкілля як багаторівневу систему спостереження, оцінювання і прогнозування стану навколишнього природного середовища, розроблення науково обґрунтованих рекомендацій для прийняття ефективних природоохоронних управлінських рішень і поділяє його на ієрархічні рівні. Найвищий рівень репрезентують типи моніторингу, згруповані за територіально-просторовими параметрами контрольованих процесів, тобто масштабами спостережень. За цим критерієм вчений виокремлює глобальний, материковий, океанічний, міжнародний, національний, регіональний, локальний типи моніторингу довкілля. Типам моніторингу, на його погляд, підпорядковані серії моніторингу довкілля (геолого-фізична, екологічна, соціологічна, техніко-економічна, медико-біологічна), в які об'єднані спостереження за станом основних складових біосфери з метою виявлення їх змін.

Дослідження реакцій абіотичної (неживої матерії) і біотичної (живих організмів) складових біосфери на дію природних і антропогенних факторів М. Голубець об'єднує у групи моніторингу довкілля. Їх він розрізняє залежно від складових довкілля (біологічна, гідрометеорологічна, біоенергетична, біогеохімічна тощо). До найнижчої підсистеми належать види моніторингу довкілля (ботанічний, зоологічний, гідробіологічний, мікробіологічний), сутність яких полягає у спостереженні за реакцією організмів на зміни, що відбуваються у біосфері. Ієрархічність побудови моніторингу дає змогу оцінити всі складові біосфери, виявити і проаналізувати характерні зміни кожного функціонального рівня і виробити рекомендації для управління станом досліджуваного об'єкта.

У період з 1972 по 1974 рік науковий комітет з проблем навколишнього середовища Міжнародної ради наукових союзів (SCOPE) виробив і запропонував ідею глобального моніторингу. Теоретично обґрунтував її американський вчений Р. Мунн, який розглядав моніторинг як систему контролю за навколишнім середовищем, що охоплює спостереження за його

станом, визначення можливих змін і розроблення заходів з управління довкіллям. Сутність концепції глобального моніторингу полягає в необхідності здійснення повторних спостережень за елементами навколишнього середовища в просторі і часі з певною метою за конкретними програмами. На основі цієї концепції виникли різноманітні підсистеми моніторингу довкілля: моніторинг приземного й верхнього шарів атмосфери; моніторинг атмосферних опадів; моніторинг гідросфери (поверхневих вод суші, вод океанів, морів і підземних вод); моніторинг літосфери (передусім ґрунту); кліматичний моніторинг; моніторинг озонового шару; моніторинг океану; геофізичний моніторинг; фізичний моніторинг, біогеохімічний моніторинг.

У 1986 р. Секретаріат ООН з навколишнього середовища, послуговуючись розробками Р. Мунна, видав «Довідник з екологічного моніторингу», який містить методики і програми моніторингу для країн, що розвиваються. Запропоновані системи моніторингу ґрунтуються на природничо-наукових дослідженнях і передбачають:

- виявлення і дослідження природних ресурсів, які забезпечують виробництво продуктів харчування (моніторинг клімату, рельєфу, ґрунтів, рослинності, популяцій);
- дослідження природних умов (моніторинг ерозії ґрунтів, твердого стоку).

Особлива роль у вивченні навколишнього середовища належить космічному моніторингу (дистанційному моніторингу, який здійснюють за допомогою оснащених вимірювальними приладами космічних апаратів). Сутність дистанційних методів полягає у проведенні зйомки або вимірювань без фізичного контакту з об'єктом дослідження.

Розвинуті країни запровадили моніторинг довкілля в 60—70-ті роки ХХ ст., використовуючи системи спостереження і контролю за станом його окремих елементів, їх розроблення було започатковане у 30-ті роки з метою контролювання природного середовища на великих водних об'єктах (визначали лише головні йони і біогенні елементи), а згодом (50—70-ті роки

XX ст.) їх використовували і для спостережень за радіоактивним забрудненням природи, забрудненням атмосферного повітря і водних об'єктів.

Моніторинг довкілля в усіх розвинутих країнах здійснюється на основі рекомендацій ООН з урахуванням національних особливостей. Наприклад, у Великобританії для цього створено мережу спостережень за хімічними сполуками з метою вивчення динаміки зміни середовища під їх дією, дослідження найменш стійких компонентів екологічних систем. Реалізується він на двох рівнях: моніторинг якості довкілля (оцінювання існуючого стану); «проблемний» моніторинг (оцінювання нових небезпечних, кризових екологічних ситуацій). Такий підхід дає змогу передбачати екологічні проблеми екосистем, своєчасно організовувати нові моніторингові програми. Моніторинг в Швеції має проблемний характер. Наприклад, спостереження за якістю води передбачає попереднє виокремлення певних проблем, розроблення стосовно кожної відповідної програми досліджень. Основою національних моніторингів країн СНД є геофізичний підхід — проведення спостережень за станом певних середовищ (атмосфери, ґрунтів, водних ресурсів) біосфери.

У СРСР, до складу якого належала Україна, моніторинг здійснювала служба спостереження і контролю за забрудненням природного середовища (формувався з підсистем спостереження і контролювання забруднення атмосферного повітря, вод суші, морів, ґрунту, фонових забруднень певних середовищ). В Україні у 1992 р. розпочалося розроблення і впровадження системи екологічного моніторингу України відповідно до Закону «Про охорону навколишнього природного середовища» та «Положення про державний моніторинг навколишнього середовища». Ця система передбачає спостереження за довкіллям, збирання, оброблення і оцінювання отриманих даних та прогнозування його стану, формування відповідних баз інформації, розроблення на їх основі науково обґрунтованих природоохоронних заходів,

передбачення надзвичайних ситуацій техногенного, природного характеру, створення безпечних умов життєдіяльності людини.

Отже, моніторинг довкілля є дієвим засобом природоохоронної політики, здійснюваної відповідно до екологічних прогнозів.

### **1.3. Моніторинг як система спостережень за впливом на довкілля антропогенних факторів**

Для аналізу та прогнозування розвитку екологічної ситуації у глобальному і регіональному масштабах необхідні знання різноманітних геофізичних процесів, антропогенних ефектів, а також факторів, що їх спричинюють. Вивчення й оцінювання негативних наслідків антропогенних дій з метою попередження або зменшення збитків є однією із найважливіших умов організації економіки, гарантування екологічної безпеки.

Проблема людського втручання у природні процеси особливо актуалізувалася з розвитком науково-технічного прогресу у середині ХХ ст. Саме тоді антропогенний вплив почав зумовлювати глобальні, іноді незворотні наслідки.

Антропогенні фактори — форми господарської діяльності людини, що впливають на організми чи екосистеми, природне середовище загалом.

Дію антропогенних факторів на біосферу оцінюють, зважаючи на зміни властивостей основних її елементів, геофізичні, геохімічні, біологічні, екологічні наслідки їх впливу (порушення в екосистемах), а також на зміни стану здоров'я людей.

Кожна із груп антропогенних факторів зумовлює своїм впливом такі перетворення у біосфері:

— викид у біосферу хімічно та фізично активних речовин спричинює зміни стану і властивостей атмосфери; великомасштабні перетворення циркуляції в атмосфері й океані; порушення стійкості земних і водних екосистем; зниження працездатності людей;

- викид у біосферу інертного матеріалу (аерозольних частинок) зумовлює зміни складу і властивостей вод суші; погоди і клімату; екосистеми Світового океану; погіршення настрою у людей;
- пряме нагрівання атмосфери спричинює зміни складу і властивостей вод Світового океану; перерозподіл і зміни відновлюваних абіотичних (водних, кліматичних) ресурсів; негативні генетичні ефекти; хвороби, стресові ситуації;
- фізичні дії, які змінюють поверхню суші і рослинний покрив (ерозія, пожежі) виявляються у трансформації стану біоценозу і біогеофізичного середовища; озонового шару (зміна проходження ультрафіолетового випромінювання, радіохвиль); зникненні і генетичних змінах існуючих видів, появі нових;
- біологічна дія (розвиток агроценозів) виражається у зміні літосфери, прозорості атмосфери, проходженні сонячного випромінювання; зменшенні біопродуктивності екологічних систем і кількості популяцій; деградації лісів; скороченні тривалості життя;
- знищення ресурсів (невідновних і відновних) призводить до зміни кріосфери (оболонки землі, у складі якої присутній лід); ерозії земної поверхні, коливань її альbedo (відношення кількості променистої енергії сонця, відбитого від поверхні будь-якого тіла, до кількості спрямованої на цю поверхню енергії); деградації ґрунтів; зниження темпів приросту населення;
- антропогенні упорядковані потоки речовин зумовлюють зміну геофізичних властивостей великих систем; властивостей суші й ґрунту; здатності біосфери до відновлення ресурсів, виснаження невідновних ресурсів; зменшення чисельності населення; порушення природних кругообігів.

Спостереження у межах системи моніторингу за дією основних антропогенних факторів і процесів, які вони зумовлюють, групують за такими напрямками:

1. Спостереження за локальними джерелами забруднення і забруднюючими факторами. Вони здійснюються на територіях окремих об'єктів (підприємств, населених пунктів, ділянок ландшафтів тощо) у формі контролювання кількісного й якісного складу забруднюючих речовин, що містяться у викидах і скидах, місцях їх зберігання.
2. Спостереження за станом навколишнього природного середовища. Зосереджені такі спостереження на відстежуванні геофізичних (природні явища катастрофічного характеру: вулкани, землетруси, ерозії, цунамі), фізико-географічних (розподіл суші і води, рельєф, природні ресурси, народонаселення, урбанізація), геохімічних (кругообіг речовин, хімічні, шумові забруднення атмосфери), хімічних (хімічний склад атмосферних домішок природного й антропогенного походження, опади, поверхневі і підземні води, ґрунт, рослини, основні шляхи поширення забруднювачів) явищ, процесів і змін з фіксуванням відповідних даних.
3. Спостереження за станом біотичної складової біосфери. У їх процесі відстежують реакції біоти на різні фактори, тобто реакції окремих організмів, популяцій, або угруповань (груп рослинних і тваринних організмів, що постійно або тимчасово співіснують на певних територіях), а також спостерігають за функціональними і структурними біологічними ознаками (приростом біомаси за годину часу, швидкістю поглинання різних речовин рослинами чи тваринами, чисельністю видів рослин і тварин, загальною біомасою).
4. Спостереження за реакцією великих систем (клімату, Світового океану, біосфери). Моніторингу потребують фізичні, хімічні і біологічні показники. Для встановлення динаміки змін стану біосфери заміри повторюють через певні проміжки часу, а важливі показники відстежують безперервно. Система спостережень може полягати в організації замірів у конкретних точках (на станціях) або на обширній території й отриманні інтегральних показників. Часто ефективним є комбіноване використання обох підходів.

В організації спостережень активно використовують авіаційні і супутникові засоби. Отримані за їх допомогою результати аналізують з огляду на зміни середовища, а також на відповідні реакції біоти, що виникають внаслідок антропогенного впливу. Для цього важливо знати початковий (фоновий) стан середовища, тобто стан, який підтримувався до суттєвого втручання людини. Його можна частково відновити за результатами тривалих спостережень, а також за даними аналізу складу донних відкладень, льодовикових шарів, кілець деревини, які належать до періоду, що передував відчутному впливу людини на навколишнє середовище.

Отже, основною метою моніторингу довкілля є спостереження за змінами в екосистемах, зумовленими антропогенними факторами.

#### **1.4. Моніторинг як система оцінювання і прогнозування майбутнього стану довкілля**

Ефективне регулювання якості довкілля ґрунтується на адекватній інформації про рівень забруднення і зміни стану екосистем під його впливом. Найпоширенішим критерієм оцінювання якості складових природного середовища (атмосферного повітря, прісних і морських вод, ґрунтів) є гранично допустимі концентрації (ГДК) шкідливих речовин.

Гранично допустима концентрація (ГДК) забруднюючої речовини — максимальна концентрація речовини в навколишньому середовищі (НС), яка не впливає на організм людини і не зумовлює віддалених мутагенних і канцерогенних наслідків.

Уперше рівні ГДК для забруднювачів основних компонентів біосфери були розроблені у 30-ті роки ХХ ст. Порівняно недавно розпочато встановлення ГДК токсичних речовин для ґрунтів. Загальною тенденцією є постійне розширення переліку ГДК шкідливих неорганічних та органічних речовин, сполук.

Відповідно до обґрунтованих значень ГДК оптимальна програма спостережень передбачає відстежування таких забруднюючих речовин:

— в атмосферному повітрі: діоксиду сірки, оксидів азоту, озону, діоксиду вуглецю, пилу, аерозолу, важких металів, пестицидів, бенз(а)пірену;

— в атмосферних опадах: важких металів, ДДТ, бенз(а)пірену, азоту (загальний вміст), фосфору (загальний вміст), аніонів та катіонів (сульфатів, нітратів, хлоридів, йонів амонію, кальцію та ін.);

Моніторинг як система оцінювання і прогнозування:

— у поверхневих водах: важких металів, пестицидів, бенз(а)пірену, рН, мінералізації, азоту (загальний вміст), фосфору (загальний вміст), нафтопродуктів, фенолів;

— У ґрунтах: важких металів, пестицидів, бенз(а)пірену, азоту (загальний вміст), фосфору (загальний вміст);

— у біоті: важких металів, пестицидів, бенз(а)пірену, азоту і фосфору (загальний вміст).

Одночасно спостерігають за гідрометеорологічними і геофізичними параметрами, необхідними для інтерпретації даних про забруднення природних середовищ, оцінювання біогеологічних циклів і циркуляції забруднюючих речовин.

Оцінювання змін стану навколишнього природного середовища дає змогу визначити можливі збитки, спричинені природними й антропогенними діями, з'ясувати оптимальні умови людської діяльності, а також додаткові природні можливості, якими може скористатися людина.

Унаслідок антропогенних впливів довкілля може зазнати екологічних, економічних та естетичних збитків. Екологічні збитки визначають на основі аналізу відхилень від допустимого стану екосистеми, угруповання, популяції під впливом певної дії. Економічні збитки з'ясовують, встановлюючи кількість коштів, які необхідні для подолання наслідків негативного впливу. Естетичними збитками є погіршення зовнішнього виду рослин, будівель, пам'яток архітектури.

Допустиме екологічне навантаження не спричиняє негативних наслідків, змін у живих організмах і не погіршує якості природного середовища. На основі встановлення різниці між гранично допустимим і фактичним станом екосистеми, популяції, угруповання з'ясовують їх екологічний резерв. Екосистемам, популяціям, угрупованням властива екологічна стійкість — здатність тривалий час протистояти впливу шкідливих антропогенних факторів. Завдяки цьому потенціалу вони не відразу піддаються деградації, руйнуванню, вимиранню тощо.

При оцінюванні стану навколишнього середовища використовують такі критерії:

- 1) гранично допустимі концентрації забруднювачів. Цим критерієм послуговуються при оцінюванні допустимої кількості діючої речовини у середовищі;
- 2) гранично допустимі дози (кількість шкідливої речовини, дія якої не викликає згубної дії на організм, екосистему). Аналіз ситуації за цими параметрами дає змогу з'ясувати допустимий ефект дії;
- 3) гранично допустимі викиди речовин в атмосферу, гранично допустимі скиди шкідливих речовин у водні об'єкти. Їх встановлюють для кожного джерела забруднення атмосфери, водного об'єкта з метою оцінювання його інтенсивності;
- 4) гранично допустиме антропогенне навантаження (зумовлене людською діяльністю навантаження на навколишнє природне середовище, тривалий вплив якого не призведе до зміни екосистем). За цим критерієм встановлюють допустиме екологічне навантаження на довкілля.

Прогнозування перспектив розвитку певного явища є однією з функцій системи моніторингу. Усі прогнози мають ймовірнісний характер і ґрунтуються на даних про стан навколишнього природного середовища на певний момент часу і в минулому. Отримують ці дані завдяки дослідженням, спрямованим на виявлення закономірностей природних процесів, поширення, міграції і перетворення у навколишньому середовищі

забруднюючих речовин та їх впливу на різні організми. За масштабом усі прогнози поділяють на глобальні (всесвітні), регіональні (для певних регіонів) та локальні (місцеві).

У системі моніторингу найчастіше використовують такі методи прогнозування:

— експертне оцінювання. Сутність його полягає в отриманні і спеціалізованому обробленні прогнозних оцінок об'єкта через опитування висококваліфікованих фахівців (експертів) у певній сфері науки, техніки, виробництва. Оцінки експертів суттєво підвищують надійність прогнозів, отриманих за допомогою інших методів прогнозування;

— екстраполяція (поширення висновків, отриманих унаслідок спостереження за однією частиною явища, на іншу частину) та інтерполяція (встановлення проміжних значень об'єкта на підставі деяких відомих його значень). Ці методи ефективні при короткостроковому прогнозуванні стосовно об'єкта, який тривалий час розвивався рівномірно без значних відхилень. Ґрунтуються вони на вивченні кількісних і якісних параметрів досліджуваного об'єкта за попередні роки з подальшим логічним продовженням, окресленням тенденцій його розвитку у прогнозованому періоді;

— моделювання. Метод полягає у побудові моделей, які розглядають з урахуванням імовірної або бажаної зміни прогнозованого явища на певний період, користуючись прямими або опосередкованими даними про масштаби та напрями змін. Методи моделювання використовують для складання глобальних, локальних та інших прогнозів.

При побудові прогнозних моделей необхідно виявити фактори, від яких суттєво залежить прогноз; з'ясувати їх співвідношення з прогнозованим явищем; розробити алгоритм і програми моделювання змін довкілля під дією певних факторів.

Для прогнозування екологічних наслідків антропогенного забруднення довкілля найчастіше використовують такі моделі:

- модель перенесення і перетворення забруднюючих речовин у навколишньому середовищі (геофізична модель), яка забезпечує прогнозування зміни стану довкілля з урахуванням процесів міграції, фізичної, хімічної, біологічної трансформації забруднюючих речовин;
- модель зміни стану екосистеми під впливом забруднення (екологічна модель), що сприяє отриманню інформації про стійкість, особливості розвитку екологічної системи, аналізу поведінки екологічних систем і передбаченню їхніх реакцій при внесенні в систему певних змін.

Особливість прогнозування стану довкілля полягає в тому, що в більшості випадків доводиться оперувати ймовірнісними та випадковими складовими розвитку процесів. Це зумовлює необхідність постійного вдосконалення його методології, уточнення інформаційної системи, оптимізації системи спостережень тощо.

## **Тема 2. Спостереження за станом природного середовища**

1.1. Організація спостережень за станом природного середовища

1.2. Спеціальні методи спостережень за рівнем забруднення природного середовища

### **1.1. Організація спостережень за станом природного середовища**

Ідея створення природоохоронної організації була висунута вперше на VIII Всесвітньому зоологічному конгресі, який проходив у 1910 р. у Відні, і підтримана учасниками Бернської міжурядової конференції з охорони природи (листопад 1913 р.), де був прийнятий акт про створення Консультативної комісії з питань міжнародної охорони природи. Однак Перша світова війна завадила створенню міжнародної спеціальної організації, і тільки у 1923 р. у Франції на I Міжнародному конгресі з питань охорони середовища була прийнята резолюція про створення Консультативної комісії.

Контроль за станом довкілля в Україні, як і в більшості країн, було розпочато у 30-ті роки ХХ ст. на кількох водних об'єктах. Однак кількість контрольованих інгредієнтів була незначною (головні йони і біогенні елементи). У 50-ті роки гідрометеослужба СРСР почала відстежувати радіоактивне забруднення природного середовища, а з 1963 р. — забруднення повітря і водних об'єктів. У 1972 р. було організовано загальнодержавну службу спостереження і контролю за забрудненням природного середовища, сформовану з підсистем, які відстежували забруднення атмосферного повітря, вод суші, морів і океанів, ґрунтів, фонового забруднення різних середовищ (біосфери, заповідних територій) на регіональних і базових станціях. Організація такої служби була зумовлена інтенсивним розвитком народного господарства, внаслідок чого посилювалося забруднення довкілля.

Загальнодержавна служба спостережень і контролю виконувала такі завдання:

- спостереження й контроль за рівнем забруднення атмосфери, водних об'єктів і ґрунтів за їх фізичними, хімічними і гідробіологічними (для водних об'єктів) характеристиками;
- виявлення джерел забруднення;
- оцінювання ефективності заходів щодо захисту від забруднення об'єктів навколишнього середовища;
- забезпечення зацікавлених організацій оперативною і режимною інформацією про зміну або можливість зміни рівня забруднення об'єктів під впливом господарської діяльності і гідрометеорологічних умов, а також прогнозами про ймовірні зміни рівня забруднення довкілля.

На сучасному етапі моніторинг навколишнього природного середовища України відповідно до «Положення про державний моніторинг навколишнього природного середовища» здійснюють:

- 1) Міністерство екології та природних ресурсів. Основними об'єктами його уваги є джерела промислових викидів в атмосферу і дотримання норм гранично допустимих викидів; джерела скидів стічних вод і дотримання норм гранично допустимих скидів; стан поверхневих вод суші, сільськогосподарських угідь, наземних і морських екосистем; скиди і викиди з об'єктів, на яких використовуються небезпечні радіаційні технології; стан і склад звалищ промислових і побутових відходів;
- 2) Науковий комітет НАН України. Здійснює авіаційно-космічні спостереження за станом озонового шару, рівнем забрудненості атмосфери, забрудненості ґрунтів, поверхневих вод, снігового покриву, лісів, сільськогосподарських посівів, а також радіаційним станом;
- 3) Міністерство охорони здоров'я. Його обов'язком є вибіркові спостереження за рівнем забруднення атмосфери у місцях проживання населення, станом поверхневих вод суші в місцях використання їх людьми, станом морських вод у рекреаційних зонах, хімічним і біологічним забрудненням ґрунтів у населених пунктах, станом здоров'я громадян і впливом на нього забруднення навколишнього середовища;

- 4) Міністерство сільського господарства. Воно виконує спостереження за ґрунтами сільськогосподарського використання, токсикологічні і радіологічні спостереження за сільськогосподарськими культурами, тваринами і продукцією;
- 5) Міністерство лісового господарства. Його функцією є моніторинг стану лісів, лісових ґрунтів, мисливської фауни;
- 6) Державний комітет гідрометеослужби. Ця структура здійснює спостереження за станом атмосферного повітря, атмосферними опадами, метеорологічними умовами, аерологічними параметрами, станом поверхневих вод суші, підземними водами, станом і режимом морських вод, станом ґрунтів, радіаційною обстановкою;
- 7) Державний комітет водного господарства. Він виконує спостереження за поверхневими і підземними водами в зонах впливу атомних електростанцій, у межах впливу меліоративних систем, облік поверхневих вод;
- 8) Державний комітет геології. До його компетенції належать спостереження за складом і характеристиками підземних вод, оцінювання їх ресурсів;
- 9) Державний комітет земельних ресурсів. Його обов'язком є спостереження за структурою землекористування, станом і якістю ґрунтів, рослинного покриву, осушуваних та зрошуваних земель, берегових ліній річок, озер, заток;
- 10) Державне житлове комунальне господарство. Організація забезпечує спостереження за станом питної води, стічної води каналізаційної мережі, зелених насаджень.

Головними принципами, на основі яких організуються спостереження за довкіллям, є: комплексність, що передбачає узгоджену програму необхідних робіт; синхронність функціонування всіх систем спостережень; систематичність спостережень за станом довкілля і техногенними об'єктами, що впливають на нього; узгодженість термінів проведення спостережень із типовими гідрометеорологічними ситуаціями.

В Україні стан атмосферного повітря відстежують у 53 містах різних областей на 162 стаціонарних постах спостережень за забрудненням (СПЗ) і на двох станціях транскордонного моніторингу: «Світязь» (Волинська обл.) та «Рава-Руська» (Львівська обл.). В атмосферному повітрі визначається вміст 33 забрудників, зокрема оксидів азоту, діоксиду сірки, оксиду вуглецю, пилу, формальдегіду, важких металів, бенз(а)пірену. Спостереження за хімічним складом опадів та снігового покриву проводять на 48 метеостанціях. Найпоширенішими забрудниками, які потрапляють у ґрунти і водні об'єкти, є йони сульфатів, хлору, амонію, гідрокарбонатів, нітратів, кальцію, натрію, калію та магнію. Спостереження за хімічним складом та якістю поверхневих вод України проводять на 139 водних об'єктах (річки, водоймища, озера) у 215 пунктах.

Однак у наявних системах спостережень за станом довкілля України збирання і оброблення інформації переважно не автоматизовані, засновані на лабораторно-хімічних методах аналізу проб і використовуються здебільшого для статистичного аналізу, значно рідше — для прийняття оперативних управлінських рішень. Не вироблено єдиної методології збирання, оброблення, накопичення і передавання моніторингової інформації, не узгоджено функціонування окремих відомчих моніторингових систем. Розподіл функцій моніторингу по різних відомствах спричинює дублювання зусиль, знижує ефективність системи моніторингу й утруднює доступ громадян, державних організацій до необхідної інформації. У зв'язку з цим створена Державна система моніторингу довкілля (ДСМД), яка визначила спільні завдання різних служб для комплексного спостереження, оцінювання і прогнозування стану довкілля.

## **1.2. Спеціальні методи спостережень за рівнем забруднення природного середовища**

Достовірність інформації про стан і рівень забруднення об'єктів навколишнього середовища залежить від добору методів аналізу даних. Як

правило, для певних ситуацій необхідно добирати методи спостереження і дослідження, які допомагають отримати різнобічну і якомога точнішу інформацію. Для цього можливостей одного методу часто виявляється недостатньо, тому для підтвердження, перевірки, розширення спектру даних використовують різноманітні методи, які дають змогу побачити об'єкт дослідження під різними кутами зору і в різних вимірах.

Під час дослідження стану довкілля використовують методи якісного (діагностують наявність певного хімічного елемента, сполуки) і кількісного (визначають кількість (концентрацію) хімічного елемента, сполуки у довкіллі) аналізів довкілля. Залежно від параметрів, які підлягають вимірюванню, методи кількісного аналізу поділяють на хімічні, фізико-хімічні, фізичні та біологічні. Вибір конкретного методу дослідження залежить від вмісту аналізованої речовини і хімічного складу досліджуваного об'єкта (табл. 1.1). Застосування певного методу при вивченні стану об'єктів довкілля дає змогу визначити інгредієнти, характерні лише для визначеного об'єкта дослідження.

Таблиця 1.1

Методи визначення певних компонентів у об'єктах довкілля

Метод	Визначення інгредієнтів в об'єктах довкілля		
	У ґрунтах і донних мулах	У природних водах	У повітрі (газах і аерозолях)
Гравіметричний	Вологість, мінеральний залишок, SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , карбонати	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , нафтопродукти, зависі, мінеральний залишок	Запиленість (вміст пилових часток)
Титрометричний	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , Ca, Mg	Окисен (розчинений), CO <sub>2</sub> , CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , Cl <sup>-</sup> , H <sub>2</sub> S, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , твердість води (загальна і карбонатна), ХСК, БСК <sub>5</sub>	Кислоти та кислотні оксиди
Фотометричний	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , F <sup>-</sup> , PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , Al, Hg, Cu, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Колір, органічні речовини, H <sub>2</sub> S, NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , P (неорг.), Al, Cu, Fe	CO, CS <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , HCl, HNO <sub>3</sub> , Al, Fe, Pb, пестициди, деякі органічні сполуки
Люмінесцентний	Нафтопродукти	Нафтопродукти, хлорорганічні ароматичні сполуки, ширги, ацетон	Смолисті речовини, ароматичні вуглеводні, кетони
Фотометрія полум'я	Na, K	Li, Na, K, Ca	Li, Cs, K
Емісійна спектроскопія	Метали, мікроелементи, бор	Li, Na, K, Ca, Sr, Ba, Cu, Al, Fe, Pb	Be
Атомно-абсорбційна спектроскопія	Cu, Ni, Zn, Hg, Pb, Cr	Ca, Mg, Cu, Pb, Hg та ін.	Hg, Cd, Sr, Cu, Pb та ін.
Кінетичні і хемілюмінесцентні	Катіони важких металів	Mn, Cu, Ni, Fe (III), амінокислоти	Озон
Потенціометричні	pH, F <sup>-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , K, Ca	pH, F <sup>-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , K, Ca, Cu, Cl <sup>-</sup> , окисно-відновний потенціал	HF, ненасичені органічні сполуки
Радіометричні	Sr-90, Cs-137, U-238	Sr-90, Cs-137, U-238, Pu-239	Sr-90, Cs-137
Хроматографічні	Нафтопродукти, хлорорганічні сполуки, вуглеводні, пестициди	Na, K, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Mg, SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , Cl <sup>-</sup> , Ca, органічні сполуки	CO, CO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , Cl <sub>2</sub> , CCl <sub>4</sub> , Al, Cu, органічні сполуки

Хімічні методи кількісного аналізу концентрації хімічних елементів (сполук) у довкіллі. Вони ґрунтуються на виявленні певних речовин за допомогою хімічних реакцій.

До хімічних методів належать титрометричний і гравіметричний методи.

Титрометричний (об'ємний) метод аналізу. Він ґрунтується на вимірюванні об'єму розчину реагенту відомої концентрації, витраченого на взаємодію з аналізованою речовиною за умови, що речовини вступають у реакцію в концентраціях 10<sup>-1</sup>—10<sup>-3</sup> моль/л. Цим методом визначають загальну і карбонатну твердість води, хімічне споживання кисню, біохімічне

споживання кисню, кислотність, лужність, вміст розчиненого кисню, концентрацію катіонів меркурію, заліза (II), аніонів  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$  тощо.

Гравіметричний метод аналізу. Цей метод оснований на кількісному переведенні аналізованого компонента в малорозчинну сполуку і зважуванні продукту після виділення, промивання, висушування чи прожарювання. Застосовують його при концентрації речовини в розчині не нижче  $10^{-2}$ — $10^{-3}$  моль/л. Гравіметричним методом визначають у природних і стічних водах наявність заліза (III) та алюміній, які присутні у формі оксидів, хлориди —  $\text{AlCl}_3$ , сульфати —  $\text{BaSO}_4$  (у кислому середовищі), багато металів (у вигляді малорозчинних сполук з органічними реагентами) — оксихінолінати, дитизонати та ін.

Фізико-хімічні методи кількісного аналізу концентрації хімічних елементів (сполук) у доквіллі. Ці методи ґрунтуються на хімічних реакціях, однак за їх допомогою визначають фізичну характеристику (оптичну густину, електропровідність, окисно-відновний потенціал), що залежить від вмісту аналізованої речовини. До цієї групи належать фотометричний і хроматографічний аналізи.

Фотометричний аналіз. Він охоплює всі методи, які базуються на поглинанні світла речовиною чи продуктом реакції в ультрафіолетовій (УФ), видимій та інфрачервоній (14) частинах електромагнітного спектра. Вони є придатними для визначення всіх хімічних елементів, крім інертних газів. З їх допомогою визначають як макро-, так і мікрокількості (до  $10^{-8}$  %) аналізованого компонента. Широко їх застосовують при аналізі природних об'єктів (повітря, поверхневих вод, ґрунту, донних мулів, рослин), стічних вод, газоподібних викидів, відходів промисловості. Наприклад, катіони міді визначають у вигляді діетилдитіокарбонату міді жовтого кольору або аміачного комплексу  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$  волошково-синього кольору; залізо (III) — у вигляді роданітного комплексу  $\text{Fe}(\text{SCN})_6^{3-}$  криваво-червоного кольору чи сульфосаліцилату (залежно від рН середовища окремо можна визначити

вміст Ge(II) і Ge(III));  $Al^{3+}$  утворює рожеві комплекси з алюміноном в ацетатному буфері.

Хроматографічний аналіз забезпечує розподіл, якісне виявлення та кількісне визначення компонентів рідких і газоподібних сумішей. Ґрунтується він на різному їх розподілі між рухомою і нерухомою фазами. Завдяки йому вдалося, наприклад, швидко виявити стафілококове та мікозне ураження ліквідаторів аварії на ЧАЕС. Хроматографічними методами в організмі виявляють алкалоїди, що спричинюють отруєння.

Для аналізу складних органічних проб використовують рідинну хроматографію. В установках рідинної хроматографії (як і в газових) використовують різноманітні детектори: ультрафіолетовий, електрохімічний, детектор з діодною матрицею, флюорометричний. Застосування електрохімічного детектора дає змогу визначати сполуки при їх вмісті  $10^{-12}$  г в 1 мл проби. Найбільшу чутливість при визначенні сполук з малими ГДК (біогенні аміни, поліароматичні вуглеводні, гормони, токсини) має флюорометричний детектор.

Послугуючись методом газорідинної хроматографії, визначають склад стічних вод нафтопереробних і хіміко-фармацевтичних підприємств, заводів органічного синтезу.

Газова хроматографія характеризується високою розподільною здатністю, гнучкістю завдяки застосуванню різних детекторів, найпоширенішим серед яких є полуменево-йонізаційний. Для визначення галогено-вуглеводнів застосовують детектор електронного захоплення, а за допомогою спеціального N/1?-детектора виявляють азото- і фосфоровмісні агрохімічні препарати.

Кількісною характеристикою газової та рідинної адсорбційної хроматографії є висота або площа хроматографічного піка, які пропорційні вмісту компонента в досліджуваній суміші.

Під час розділення сумішей методом тонкошарової хроматографії (її різновид — паперова хроматографія)

отримують забарвлені плями окремих компонентів; безбарвні сполуки проявляють фізичним (УФ-опромінення) або хімічним (обробка реагентом, який утворює забарвлені сполуки з речовинами, наприклад амінокислоти набувають блакитного кольору після обробки їх розчином нінгідрину) способом. Так відбувається якісне виявлення компонентів суміші. Кількісний склад визначають за площею плями або розчиняють вміст у розчиннику і аналізують одним із методів. Методом тонкошарової хроматографії розділяють амінокислоти і барвники рослин, визначають активність ґрунтової фауни за продукцією амінокислот.

Іонообмінна хроматографія дає змогу після попереднього розподілення і послідовного вилучення компонентів суміші з розподільної колонки визначити вміст елементів з подібними хімічними властивостями фотометричним, титрометричним чи іншим способами. Цим методом виявляють загальну твердість води, вміст катіонів важких металів у воді, ґрунті, донних мулах. Йон-на хроматографія забезпечує визначення понад 70 аніонів неорганічних і органічних кислот, катіонів лужних і лужноземельних металів у воді, продуктах, лікарських препаратах тощо.

Молекулярно-ситову хроматографію використовують для розділення речовин на основі різних розмірів їх молекул. У такий спосіб можна розділити, наприклад, мономерні і полімерні гідроксокомплекси алюмінію, які у разі їх надлишкової кількості в природних водах мають різну токсичність і механізм дії на гідробіонти.

Електрохімічні методи аналізу. Їх сутність полягає в дослідженні електрохімічних властивостей проб. До них відносять потенціометрію, вольтамперометрію та кондуктометрію.

Потенціометрія. Вона охоплює методи, що передбачають вивчення хімічних процесів, які змінюються в результаті хімічних реакцій потенціалу електрода, зануреного у досліджувану суміш.

Абсолютна потенціометрія дає змогу виміряти потенціал  $E$  і за рівнянням Нернста обчислити концентрацію йона в речовині. Цей метод використовують

для визначення рН природних і стічних вод за допомогою скляного електрода. Йоноселективні електроди забезпечують встановлення вмісту нітратів у рослинах і продуктах, концентрації катіонів натрію, калію, кальцію, магнію, міді, аніонів хлору, бромиду, йоду та ін.

Потенціометричне титрування використовується для аналізу забарвлених і каламутних середовищ, визначення в них різноманітних сполук. Потенціометричні біодатчики використовують для визначення концентрації пестицидів у складних багатокomпонентних системах.

Вольтамперометрія. Цю групу методів поділяють на два типи:

- полярографічний аналіз, що ґрунтується на процесі електролізу і вивченні залежності сили струму від прикладеної напруги. Цим методом у природних водах і ґрунтах визначають вміст цинку, кадмію, свинцю, міді з попереднім екстракційним відокремленням токсичних елементів — залишкову кількість свинцю у виноградному соку з чутливістю 0,002 мг/л; токсичні елементи в продуктах, повітрі, стічних водах; концентрацію вітамінів, ферментів, гормонів в організмі людини; діагностують захворювання;
- амперометричне титрування, яке дає змогу визначати аніони, для яких немає точних і швидких титрометричних методів:  $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{MoO}_4^{2-}$ , а також багато органічних сполук.

Абсорбційна інверсійна вольтамперометрія є методом визначення понад 40 катіонів металів, аніонів, органічних сполук (білків, ферментів, лікарських препаратів, пестицидів, стимуляторів росту тварини) у різних екологічних об'єктах.

Кондуктометрію (аналіз за електричною провідністю). Метод використовують для визначення концентрації розчинених солей у питних водах і водах для теплообмінного обладнання (пряма кондуктометрія). Кондуктометричним титруванням встановлюють склад сумішей кислот у водному і водно-органічному середовищах, катіони й аніони. Титруванням розчином  $\text{BaCl}_2$  визначають сульфати, хромати, оксалати, карбонати,

цитрати; трилоном Б за різних значень рН аналізують суміші катіонів металів без попереднього їх розділення.

Фізичні (інструментальні) методи аналізу концентрацій хімічних елементів (сполук) у довкіллі. Це кількісні аналітичні методи, для виконання яких необхідна електрохімічна, оптична, радіохімічна та інша апаратура, а також методи, що ґрунтуються на емісії чи абсорбції випромінювання: фотометрія, спектральний аналіз, атомно-абсорбційний спектральний аналіз, мас-спектрометрія, метод ядерного магнітного резонансу.

Фотометричний метод. Він полягає у порівнянні оптичної щільності досліджуваної та контрольної рідини. Цим методом кількісно визначають понад 70 хімічних елементів, зокрема катіони лужних і важких металів у природних водах.

Спектральний аналіз. Метод є фізичним способом визначення складу та будови речовини за її спектром — упорядкованим за довжиною хвилі електромагнітним випромінюванням. Для збудження речовини використовують полум'я пальника, енергію електричної дуги, іскри. Спектральний аналіз дає змогу встановити елементний, нуклідний і молекулярний склад речовини, її будову (атомно-емісійний спектральний аналіз).

Атомно-абсорбційний спектральний аналіз ґрунтується на визначенні концентрації речовини за поглинанням шаром атомної пари елемента монохроматичного резонансного випромінювання. Цей метод характеризується універсальністю, простотою виконання аналізу і високою продуктивністю. Він дає змогу виявити велику кількість елементів у концентраціях 0,1—0,01 мкг/л і нижче. Метод атомно-абсорбційного спектрального аналізу є принципом роботи багатьох аналізаторів. Так, атомно-абсорбційний аналізатор МГА-915 — спектрометр із земанівською корекцією — застосовують для елементного аналізу природних, питних і стічних вод, ґрунтів, біологічних проб повітря (при об'ємі проби 40 мкл межі

визначення окремих елементів становлять:  $Zn$  — 0,004,  $Cd$  і  $Cr$  — 0,03,  $Si$  — 0,07,  $Pb$  — 0,12 мкг/л).

Мас-спектрометрія оснований на розділенні газоподібних йонів у магнітному полі залежно від відношення величини маси йона до його заряду, яке впливає на інтенсивність сигналу. Особливістю методу є дослідження малих об'ємів проб і висока вибірковість. Застосовують його переважно для визначення відносних ізотопних мас та ізотопного вмісту елементів, а також відносних молекулярних мас і структури органічних речовин. Мас-спектрометрією виявляють у ґрунті надзвичайно небезпечну забруднюючу речовину — тетра-хлордобензолдіоксин у концентрації 10<sup>-8</sup> мг/кг.

Метод ядерного магнітного резонансу (ЯМР). Він відображає взаємодію магнітного моменту ядра молекули речовини із зовнішнім магнітним полем. Він дає змогу працювати у широкому діапазоні концентрацій, визначати, зокрема, вміст різних форм алюмінію та інших металів у природних водах і є дуже ефективним.

Люмінесцентні методи аналізу хімічних речовин (сполук) у довкіллі. Тривалий час у більшості екологічних, технологічних, біохімічних лабораторій домінували фотометричні методи. Однак зниження ГДК і необхідність виявлення забруднюючих і токсичних речовин у надзвичайно малих концентраціях зумовили широке впровадження методів люмінесценції, які мають високу селективність, дають змогу працювати з малими об'ємами, що зумовлює їх переваги над фотометричними методами. Репрезентують цю групу методів люмінесцентний аналіз, сортовий аналіз, хемілюмінесцентний аналіз.

Люмінесцентними методами аналізують природні й стічні води, повітря, ґрунт, продукти, виявляють нафтопродукти — до 0,005 мг/л; феноли — до 0,0005; кадмій — до 0,0005; мідь — 0,05; у питній воді — свинець у концентрації до 0,005 мг/л; бенз(а)пірен — до 0,00002 мг/л (ГДК цього забруднювача у повітрі населених пунктів — 0,0000001 мг/м<sup>3</sup>).

Люмінесцентний аналіз ґрунтується на здатності речовин випромінювати світло під дією різних збудників: ультрафіолетового (УФ) випромінювання або видимого світла (фотолюмінесценція), розламування (трібо-люмінесценція), енергії хімічної реакції (хемілюмінесценція), яка дуже поширена в живій природі: світяться окремі види моллюсків, ракоподібних, глибоководних риб, червів внаслідок взаємодії кисню з люциферином. Ця реакція каталізується ферментом люциферазою, а явище називають біолюмінесценцією. Деякі мінерали, наприклад флюорит  $\text{CaF}_2$  світяться при дії на них ультрафіолетового випромінювання, що використовують для безконтактного пошуку корисних копалин, зокрема нафти, виявлення плям нафти і нафтопродуктів на поверхні ґрунту чи водної поверхні Світового океану.

Сортовий аналіз (передбачає фіксування світла, що випромінюють досліджувані матеріали) застосовують для визначення якості зерна (свіже і зерно, що псується, світяться по-різному в УФ-променях), різних видів палива, виявлення забруднень, сурогатів, підробок.

Хемілюмінесцентний аналіз оснований на здатності продуктів хімічних реакцій світитися, коли один з компонентів реакції опиняється у збудженому стані. Аналіз виконують за допомогою сумішей: люмінол + пероксид гідрогену (при  $\text{pH} > 8,5$ ); люцигенін + пероксид гідрогену ( $\text{pH} > 9$  — виникає блакитна люмінесценція); сило-

КС6В + окисник ( $\text{pH} < 5,0$  — рожева люмінесценція). Каталізують ці реакції метали  $\text{Cr(III)}$ ,  $\text{Mo(VI)}$ ,  $\text{Ш(IV)}$ ,  $\text{Mn(II)}$  та ін. Інтенсивність люмінесценції прямо пропорційна концентрації каталізатора (швидкості хімічної реакції), тому хемілюмінесценцію застосовують у кінетичних методах аналізу. Метод дає змогу визначати метали у надзвичайно малих кількостях (до  $10^{-8}$  %).

Кількісний хемілюмінесцентний аналіз полягає у вимірюванні інтенсивності або кількості виділеного в хімічній реакції світла фотографічним методом і за допомогою хемілюмінесцентних фотометрів.

Хемілюмінесцентним методом визначають наявність мастил, каучуків, вітамінів, бітумів. Це один з найчутливіших методів, який дає змогу виявити  $10\text{—}10^{-4}$  мкг/мл речовини.

Радіометричні методи аналізу концентрацій хімічних речовин (сполук) у довкіллі. Основою їх є виявлення й вимірювання природної і штучної радіоактивності. Для кількісної характеристики радіоактивності послуговуються поняттями «абсолютна активність радіоактивних речовин», яку вимірюють у кюрі, і «питома активність» (радіоактивність одиниці маси речовини, тобто міри відносного вмісту радіонуклідів у досліджуваному зразку), яку виражають кількістю розпадів за хвилину або секунду і вимірюють у беккерелях.

За природною радіоактивністю можна кількісно визначити понад 20 хімічних елементів, зокрема уран, торій, радій, актиній. Калій можна виявити у воді в концентрації 0,05 моль/л. Природна радіоактивність вказує на наявність уранових руд, чим користуються під час їх пошуку за допомогою авіації та супутників. Радіонукліди застосовують для виявлення пошкоджень у газопроводах, місцях витікання води з магістральних колекторів стічних і каналізаційних вод.

До радіометричних методів аналізу концентрації хімічних речовин належать такі:

- активаційний аналіз (опромінення нерадіоактивних елементів нейтронами, протонами та іншими високоенергетичними часточками, внаслідок чого вони набувають радіоактивності);
- відносний метод аналізу (опромінення за однакових умов досліджуваного зразка й еталона з відомим вмістом елемента, який є об'єктом дослідження. Часто в разок після опромінення розчинюють, концентрують його методами осадження, співосадження, екстракції, хроматографії і визначають активність продуктів розділення);
- ізотопне розбавлення (введення ізотопу елемента в аналізований розчин, що набуває активності; відтак цей елемент переводять в осад (екстрагують,

хромато-графують) і визначають активність розчину після його видалення. За різницею визначають активність осаду (екстракту, елюату) і обчислюють вміст компонента в зразку);

— рентгеноспектральний аналіз (ґрунтується на послабленні інтенсивності рентгенівського випромінювання під час проходження крізь пробу. У рентгенофлю-оресцентному аналізі на пробу діє первинне рентгенівське випромінювання, під впливом якого виникає вторинне рентгенівське випромінювання проби, характер якого залежить від якісного та кількісного складу аналізованої речовини).

Біологічні та біохімічні методи аналізу кількості хімічних речовин (сполук) у довкіллі. Їх основою є дослідження реакцій рослин, тварин і мікроорганізмів на дію певного чинника. Зміни в організмах можуть стосуватися активності ферментів, проникності мембран, зміни інших органел клітини, окремих органів, систем, організму загалом, популяції, екосистеми.

Біологічні методи використовують при дослідженні стану довкілля (біоіндикація). Тест-об'єктами при вивченні дії токсичних речовин (визначення ГДК і летальних доз), фармакологічного ефекту лікарських препаратів найчастіше бувають живі організми. Біологічні методи ефективні при аналізі біологічно активних речовин: антибіотики аналізують за їх спроможністю зупиняти ріст мікроорганізмів; серцеві глікозиди здатні припиняти роботу ізольованого серця жаби; накопичення фенольних сполук у листі рослин сигналізує про стресову ситуацію.

Здебільшого визначають активність ферментів, оскільки вони мають високу чутливість, вибіркочу дію, дають змогу численним хімічним реакціям у живому організмі відбуватися за звичайних умов (амілаза каталізує розщеплення вуглеводів, глюкозооксидаза — окислення Д-глюкози).

Активність біохімічних каталізаторів залежить від багатьох чинників, оскільки вони мають білкову природу, а саме від рН середовища, наявності

окремих катіонів металів, що можуть підвищувати чи знижувати їх активність, окисно-відновний потенціал тощо.

Коливання активності ферментів фіксують спеціальні електроди на підставі зміни концентрації субстрату чи метаболіту. Вивчення ферментних реакцій має велике значення при дослідженні функцій і виявленні концентрацій мікроелементів та інших біологічно активних сполук. Активність ферментів може бути тестом при моніторингу забруднення довкілля деякими речовинами, зокрема важкими металами, що діють як ферментні отрути, кислотними оксидами тощо.

З метою контролювання стану поверхневих природних вод використовують методи біотестування. Наприклад, зміна статичного стану п'явки медичної на динамічний, динаміка виживання та плодючості дафнії магна, біолюмінесценція окремих видів бактерій тощо є свідченням наявності різних забруднювачів.

Широкий вибір методів спостережень за рівнем забруднення природного середовища дає змогу цілісно оцінити стан довкілля і встановити найменші концентрації речовин у незабруднених об'єктах фонових районів і високі значення їх концентрацій за антропогенної дії протягом тривалого часу.

### **Тема 3. Рівні та види моніторингу довкілля**

#### 3.1. Принципи класифікації систем моніторингу

#### 3.2. Екологічний моніторинг і його завдання

#### 3.3. Фоновий моніторинг, його роль в оцінюванні і прогнозуванні глобального стану біосфери

Антропогенний вплив на біосферу розподілений нерівномірно. В одних географічних зонах він майже відсутній (центральна частина Антарктиди, південна частина Південного океану, заповідники нарізних континентах), в інших — спричинює відчутні зміни первинних екосистем, рельєфу, навіть особливостей місцевості (райони інтенсивного розвитку промисловості, відкритих розробок копалин, інтенсивного ведення сільського господарства, урбанізовані території). Унаслідок антропогенної дії природні середовища таких районів забруднені невластивими для них елементами (хімічними речовинами, їх сполуками). Таке становище зумовлює здійснення певних видів моніторингу на різних рівнях.

#### **3.1. Принципи класифікації систем моніторингу**

Для вивчення природних процесів, що відбуваються в екосистемах і біосфері, використовують методи спостережень і досліджень різних галузей знань (геології, гідрогеології, метеорології, хімії, біології, фізики, екології, ґрунтознавства).

Залежно від мети здійснюють моніторинг компонентів біосфери (атмосфери, гідросфери, літосфери), біологічний, екологічний моніторинги, моніторинг чинників впливу, джерел забруднення та інші його види на різних територіальних рівнях. З огляду на предмет спостережень виокремлюють абіотичний, геофізичний, фізичний, хімічний, санітарно-токсичний види моніторингу. Цим далеко не вичерпується класифікація систем моніторингу, оскільки в наукових дослідженнях і практичній діяльності керуються різноманітними підходами і принципами (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

## Класифікація систем моніторингу

Принципи класифікації	Наявні або розроблювані системи (підсистеми) моніторингу
Універсальні системи (територіально-просторово організовані)	Глобальний моніторинг (базовий, регіональний, імпактний рівні), у т.ч. фоновий і палеомоніторинг, державний, міждержавний, міжнародний моніторинги (моніторинг транскордонного переносу забруднюючих речовин)
Реакція основних складових біосфери	Геофізичний, біологічний (у т.ч. генетичний), екологічний, медико-біологічний, кліматичний, біоекологічний, геоєкологічний, біосферний моніторинги
Ступінь антропогенного порушення середовища	Моніторинг антропогенних змін в атмосфері, гідросфері, ґрунті, кріосфері, біоті. Моніторинг джерел забруднення, інгредієнтний моніторинг (окремих забруднюючих речовин, радіоактивних випромінювань)
Просторово-часовий підхід	Дистанційний, авіаційний, космічний, історичний моніторинги

Різні види моніторингу можна проводити на певних територіальних рівнях: локальному, регіональному, глобальному (табл. 2.2), які відрізняються площею охоплення, мережею, програмами спостережень, об'єктами і предметами дослідження.

Об'єктами спостереження можуть бути:

- окремі місця і зони, розміри яких не перевищують десятки кілометрів (локальний моніторинг);
- локальні джерела підвищеної небезпеки: території поблизу місць поховання радіоактивних відходів, зони впливу АЕС, хімічні заводи (імпактний моніторинг);

Таблиця 2.2 Рівні моніторингу

Параметр	Локальний	Регіональний	Глобальний
Площа, охоплена системою моніторингу, км	$10^1—10^2$	$10^3—10^6$	До $10^7—10^8$
Відстань між пунктами відбору проб, км	0,01—10	10—500	До 3000—5000
Періодичність досліджуваних процесів	Дні -місяці	Роки	Десятиліття — століття
Частота спостережень	Хвилини — години	Декада — місяць	2—6 разів на рік
Кількість компонентів, що спостерігаються	3—30	120—1500	$10^1—10^3$
Точність	Частки ГДК	До 30%	Десяті частки, %
Оперативність видачі інформації	У реальному масштабі часу	Через 1—3 місяці з початку відбору проб	Роки з дня відбору проб

— території площею до тисяч квадратних кілометрів (регіональний моніторинг);

— загальносвітові процеси і явища в біосфері та в екосфері Землі (глобальний моніторинг).

Система моніторингу на глобальному рівні, як правило, вибірково охоплює підсистеми регіонального та локального моніторингів.

За критерієм обрання предмета спостереження найбільшу практичну цінність мають екологічний, фоновий, глобальний, кліматичний види моніторингу.

### 3.2. Екологічний моніторинг і його завдання

Завдання екологічного моніторингу полягає у виявленні в екосистемах змін антропогенного характеру. Для його здійснення придатні методи, що ґрунтуються як на окремих вимірюваннях параметрів забруднення біоти, реакції на дію антропогенних факторів, так і на безперервному визначенні інтегральних показників на великих територіях.

ЕКОЛОГІЧНИЙ (грец. оікоз — оселя і Іοζοз — слово) моніторинг (англ. топііогіпф, від лат. топііог — той, що спостерігає) — комплексна підсистема моніторингу біосфери, яка охоплює спостереження, оцінювання і прогнозування антропогенних змін (біологічних, геофізичних) стану біосфери загалом і екосистем, спричинених дією забруднювачів, сільськогосподарським використанням земель, вирубуванням лісів, урбанізацією, а також оцінювання екологічної рівноваги в екосистемах.

Екологічний моніторинг передбачає обов'язковість спостережень на таких рівнях:

- 1) імпактний рівень — спостереження за територіями, які піддаються антропогенному впливу, що зумовлює небезпечні або критичні наслідки;
- 2) регіональний рівень — спостереження за процесами та явищами в межах певного регіону;
- 3) фоновий (базовий) рівень — глобальні, регіональні спостереження за станом екосистем і прогнозування в них змін, що відбуваються без прямого впливу антропогенних факторів.

Для створення системи екологічного моніторингу довілля необхідні:  
— районування території (розподіл усієї території, на якій буде здійснюватися екологічний моніторинг на таксони — групи споріднених за певними ознаками об'єктів різних розмірів і екологічної значущості: ландшафтні райони в межах області, адміністративних районів, водозбірні басейни, міські агломерації, агропромислові комплекси);

— створення мережі об'єктів спостереження (розміщування на підконтрольній території місць (об'єктів) спостереження стану компонентів

природного середовища (атмосферного повітря і опадів, поверхневих, ґрунтових, підземних вод, ґрунту і рослинності);

— визначення методів і показників, які необхідно контролювати.

Екологічний моніторинг довкілля в межах території країни, регіонів, областей, районів, міст здійснюють з дотриманням вимог щодо масштабів проведення робіт і картографування їх результатів. Базовими є такі масштаби проведення екологічних досліджень:

- a) на державному рівні — 1:1 000 000 і 1:500 000;
- b) на регіональному рівні — 1:500 000 і 1:200 000;
- c) на обласному рівні — 1:200 000 і 1:100 000;
- d) на районному рівні — 1:50 000 і 1:25 000;
- e) на рівні полігона — 1:10 000 і 1:5000;
- f) на рівні об'єкта — 1:2000 і 1:500.

Використання будь-якого масштабу екологічних досліджень і картографування довкілля ґрунтується на єдиному принципі: 1 см<sup>2</sup> розграфування міжнародної карти повинен відповідати щонайменше одному об'єктові спостережень, від якого інструментальними або розрахунковими методами можна отримати необхідну екоінформацію і використовувати її на різних рівнях узагальнення або деталізації. Відповідно до масштабів екологічних досліджень створюють єдину мережу репрезентативних пунктів (об'єктів) спостереження довкілля в межах країни, яка може надати повну інформацію про екологічний стан об'єктів моніторингу, ділянок ландшафтів у межах адміністративних, ландшафтних районів, кордонів адміністративних областей, природних регіонів, території держави загалом.

Для здійснення екологічного моніторингу необхідно зосередитися на найхарактерніших видах і ознаках екосистеми, вивчити реакції елементів біосфери на антропогенний вплив за допомогою натурних і лабораторних експериментів, математичного моделювання, аналізу результатів польових спостережень, які дають змогу виявити основні тенденції зміни екосистеми, знайти залежності між дією різних факторів та біологічними реакціями.

Польові спостереження проводять у природних умовах. Їх широко використовують для оцінювання стану ґрунту (агрохімічні, агрофізичні, біохімічні дослідження), рослинних угруповань (фенологічні спостереження, ботанічні, фізіологічні дослідження), кліматичних умов, забруднення довкілля. Однак за допомогою таких спостережень не завжди можна з'ясувати лімітуючі фактори середовища, які є визначальними для стійкого функціонування екосистеми, природного району, що спонукає до використання експериментальних методів.

Експериментальні дослідження проводять у польових або лабораторних умовах з метою вивчення й аналізу впливу різних антропогенних факторів на складні біологічні системи. Використовуючи їх результати, моделюють можливі зміни середовища, виявляють фактори, що їх спричинюють.

Математичне моделювання дає змогу встановити залежності між дією факторів та реакцією біоти в складних екосистемах, дослідити чутливість екосистеми до конкретного фактора, спрогнозувати майбутній стан екосистеми й обґрунтувати оптимальну кількість параметрів і показників, за якими необхідно проводити спостереження.

Не менш складною проблемою при налагодженні екологічного моніторингу є вибір з великої кількості біологічних видів найрепрезентативніших і достатньо чутливих. Ними можуть бути рослини, тварини, мікроорганізми, гриби (біоіндикатори), життєві функції яких взаємопов'язані з певними чинниками середовища.

Біоіндикатори (грец. Біоз — життя і лат. іпсісо — показую) — група особин одного виду або угруповання, наявність, кількість або інтенсивність розвитку яких у досліджуваному середовищі є показником певних природних процесів, умов або антропогенних змін зовнішнього середовища.

За допомогою біоіндикаторів здійснюють біомоніторинг — спостереження за станом біотичної складової біосфери та її реакцією на антропогенні дії.

Значна кількість організмів чутлива до певних факторів середовища (хімічного складу атмосфери, ґрунту, вод, кліматичних і погодних умов, присутності інших організмів) і не може існувати за їх змін. Наприклад, лишайники є біоіндикаторами чистого повітря; за комплексами ґрунтових мікроорганізмів визначають тип ґрунту і його зміни тощо. Вони дають багато інформації для встановлення відхилення стану біоти від нормального на різних рівнях (молекулярному, клітинному, на рівні організмів, популяцій, угруповань).

Використовуючи біоіндикатори, здійснюють біотестування — оцінювання рівня забруднення навколишнього середовища. Найбільш використовуваними його методами є фітологічне картографування (оцінювання ступеня проектного покриття, тобто горизонтальної проекції наземних рослин на ґрунт порівняно з еталоном (станом заповідної території)); аналіз змін у складі й чисельності рослинних, тваринних угруповань; аналіз явних ушкоджень організмів.

Стан біологічної системи при здійсненні екологічного моніторингу оцінюють, порівнюючи досліджуваній біогеоценоз (сукупність рослинності, тваринного світу, мікроорганізмів певної частини земної поверхні) з еталонними зразками (природно-заповідні території). При цьому беруть до уваги:

- типовий для екологічної системи видовий склад живих організмів (визначають домінантні види, що утворюють зовнішній вид екосистеми, і субдомінантні види, котрих в екосистемі менше, які характеризують окрему місцевість);
- обсяг первинної біологічної продукції (сформованої в результаті фотосинтезу біомаси рослин) і вторинної (біомаси, акумульованої гетеротрофними організмами, що споживають готову органічну речовину інших організмів і продуктів їхньої життєдіяльності), яку продукує екологічна система за оптимальних умов;

- стабільність структури і різновидів окремих трофічних рівнів, тобто певних сукупностей організмів з різними типами живлення;
- швидкість обміну речовин і енергії в екосистемі, від чого залежить можливість її біологічного самоочищення;
- режим абіотичних умов та ресурсів, що характеризує можливість існування певних видів, популяцій.

При оцінюванні біологічної системи розрізняють функціональні (ріст, тривалість вегетації, стан) та структурні (коливання загальної чисельності, щільності, зміни у віковому та статевому станах популяції, генетичні зміни) показники біоти. Завдяки безперервним щорічним спостереженням за біологічною системою вдається простежити зміни рослинних, тваринних угруповань, їх залежність від погодних умов, виявити тенденції, які характеризують трансформації видового складу і ґрунтово-рослинного покриву.

Отже, екологічний моніторинг довкілля передбачає постійні, систематичні фізичні, хімічні і біологічні спостереження і виміри певних складових природних і антропогенно змінених екологічних систем.

### **3.3. Фоновий моніторинг, його роль в оцінюванні і прогнозуванні глобального стану біосфери**

Дослідження екологічних змін і організація екологічного моніторингу на фоновому рівні передбачає спостереження у віддалених від локальних джерел забруднення зонах, тобто фонові спостереження, сутність яких і полягає у відстежуванні змін стану атмосфери, ґрунту, природних вод, структури земної поверхні на територіях, на які безпосередньо не діють антропогенні фактори.

**Фоновий моніторинг** — багаторічні комплексні спостереження за визначеними об'єктами природоохоронних зон для оцінювання і прогнозування змін стану екосистем, віддалених від об'єктів промислової і господарської діяльності.

Основним завданням фонового моніторингу є з'ясування і фіксація показників, що характеризують природний фон (стан природного середовища, який не зазнав прямого впливу людської діяльності), а також глобальні і регіональні зміни в процесі розвитку біосфери. Його організують у біосферних заповідниках, де вивчають, контролюють і прогнозують антропогенні зміни біосфери, абіотичних факторів середовища, а також внутрішні процеси і явища, що відбуваються в екосистемах.

Фоновий глобальний стан біосфери вивчають на фонових станціях, які формуються зі стаціонарного спостережувального полігона (ділянки для відбору проб, гідропости, спостережувальні свердловини) і хімічної лабораторії, розміщених на територіях біосферних заповідників, де заборонена будь-яка господарська діяльність.

Біосферний заповідник — територія міжнародного значення, виокремлена з метою збереження різноманітності природно-територіальних комплексів і генетичних ресурсів рослинного і тваринного світу, проведення наукових досліджень, фонового моніторингу та вивчення стану довкілля.

Натепер у 76 країнах світу функціонує до 300 біосферних заповідників. Площа кожного з них становить від 300 до 2 млн.га. В Україні біосферними заповідниками, де проводять фонові спостереження, є Асканія-Нова (33 307,6 га), Чорноморський біосферний заповідник (1.00 809 га), Карпатський біосферний заповідник (57 880 га), Дунайський біосферний заповідник (46 402,9 га).

Якісний і кількісний фоновий стан природного середовища у далекому минулому, до початку впливу людини, можна дослідити заданими історичного моніторингу - аналізу кілець загиблих або давніх дерев, проб льодовиків, донних відкладень тощо.

Програма фонового екологічного моніторингу на основі біосферних заповідників охоплює такі напрями:

- моніторинг забруднення природного середовища т.і інших факторів антропогенного впливу;

- моніторинг реакції біоти на антропогенний вплив, передусім на фонові рівні забруднення;
- спостереження за зміною функціональних і структурних характеристик еталонних (незайманих) природних екосистем і їх антропогенних модифікацій.

Програма фонового моніторингу формується з абіотичної та біотичної складових.

До абіотичної складової фонового моніторингу належать спостереження за кліматичними, едафічними (грунтовими), гідрологічними, орографічними (рельєфними), геологічними умовами та явищами навколишнього середовища, які впливають на організми екосистеми. При цьому вимірюють гідрометеорологічні величини, концентрації хімічних речовин природного й антропогенного походження у певних середовищах. Гідрометеорологічні і геофізичні характеристики навколишнього природного середовища повинні містити дані про швидкість і напрям вітру, атмосферний тиск і температуру повітря, вологість і кількість опадів, інтенсивність сонячної радіації, у т. ч. ультрафіолетового випромінювання, витрати, рівень і температуру води, вологість, тепловий баланс ґрунту. Спостереження за абіотичною частиною мають забезпечити інформацією про концентрацію хімічних речовин, їх сполук у навколишньому середовищі, про міграційні процеси, накопичення, трансформацію та кругообіг цих речовин. Визначаючи необхідність охоплення певних речовин програмою вимірювань у біосфер-них заповідниках, послуговуються такими критеріями:

- 1) поширення речовин, їх стійкість і мобільність у навколишньому середовищі;
- 2) здатність речовин до впливу на біологічні та геофізичні системи.

Деякі забруднюючі речовини, потрапивши у природне середовище, можуть змінити геохімічну рівновагу, легко мігрувати харчовими ланцюжками, накопичуватися у біоті й утворювати складні токсичні сполуки. За даними досліджень, найчастіше спричиняють порушення геохімічної

рівноваги ртуть, кадмій і свинець. При оцінюванні змін природного кругообігу речовин, спричинених антропогенною діяльністю, використовують такі показники:

- 1) коефіцієнт технофільності — відношення щорічного видобутку певного хімічного елемента до його загального вмісту в літосфері;
- 2) коефіцієнт геохімічної рівноваги — відношення сумарних викидів будь-якої речовини у навколишнє природне середовище до його загального вмісту в літосфері.

Враховуючи ці коефіцієнти, для кожної речовини потановлюють перелік середовищ, які потребують вивчення на фонових станціях у біосферних заповідниках (табл. 2.3).

Таблиця 2.3

Хімічні речовини, які підлягають вивченню на фонових станціях у біосферних заповідниках

Назва хімічних речовин, які підлягають вивченню	Середовище				
	атмосфера	атмосферні опади	поверхневі і підземні води	грунт	біота
1. Завислі речовини	4-				
2. Діоксид сірки	4-				
3. Озон	4-				
4. Оксид пуглецю	4-				
5. Оксиди азоту	4-				
6. Вуглеводи	4-				
7. Бенз(а)пірен	4-	4-	4-	4-	4-
8. Хлорорганічні сполуки (ДДТ, ін.)	4-	4-	4-	4-	4-
9. Важкі метали (свинець, ртуть, кадмій, миш'як)	+	4-	4-	4-	4-

1.0. Діоксид вуглецю	4-				
1.1. Фреони	+				
1.2. Біогенні елементи (>Т, Р)	(-	4-	4-	4-	4-
1.4. Аніони і катіони	i	4-			
1 А. Радіонукліди		4-			

У біосферних заповідниках спостерігають, оцінюють і прогнозують забрудненість атмосферного повітря: іа вмістом у ньому важких металів (свинцю, кадмію, миш'яку, ртуті), забруднюючих речовин, що спричинюють глобальні зміни в атмосфері (діоксиду сірки, озону, оксиду вуглецю, оксидів азоту, вуглеводнів, бенз(а)пірену, хлорорганічних сполук (ДДТ та ін.), фреонів). На основі спостережень за фоновими рівнями забруднення атмосферного повітря цими речовинами розробляють моделі їх перенесення атмосферними фронтами з урахуванням гідрометеорологічних і техногенних факторів.

Однією з передумов аналізу і прогнозування стану забруднення поверхневих і підземних вод, ґрунту та біотичної складової екологічної системи є спостереження за токсичними і небезпечними для екологічної системи забруднюючими речовинами: бенз(а)піреном, хлорорганічними сполуками (ДДТ та ін.), фреонами, біогенними елементами, важкими металами (свинцем, кадмієм, миш'яком, ртуттю).

Біотична складова фонового моніторингу охоплює оцінювання стану біоти (визначення коефіцієнта розмноження, тривалості життя), прогнозування її реакцій на незначну зміну природного середовища (встановлення залежності біоти від антропогенного забруднення в системі «доза — реакція»).

Станцію комплексного фонового моніторингу формують стаціонарна ділянка спостережень і хімічна лабораторія. Ділянка (полігон) спостереження

складається з майданчика для відбору проб, гідропостів, спостережу-вальних свердловин. На ній відбирають проби атмосферного повітря, атмосферних опадів, вод, ґрунтів, рослинності, проводять гідрометричні та геофізичні вимірювання. Важливим елементом полігона є базова ділянка фонові станції — майданчик розміром 50 x 50 м, де розміщують устаткування для відбору проб, вимірювальні прилади для визначення хімічного складу і фізичних характеристик повітря. Розташовують її на відкритій, рівній ділянці, віддаленій від будівель, лісосмуг, пагорбів. Хімічну лабораторію зводять не ближче 500 м від базової ділянки. У лабораторії обробляють і аналізують відібрані проби. На фонових станціях визначають і досліджують критерії екологічного моніторингу, уточнюють методи контролювання, оцінювання та прогнозування стану об'єктів спостереження.

Міжнародні фонові моніторингові станції належать до глобальної системи моніторингу навколишнього середовища.

## **Тема 4. Глобальна система моніторингу навколишнього середовища**

4.1. Глобальна система моніторингу навколишнього середовища (ГСМНС)

4.2. Кліматичний моніторинг і його завдання

4.3. Моніторинг навколишнього природного середовища в межах України

### **4.1. Глобальна система моніторингу навколишнього середовища (ГСМНС)**

У середині ХХ ст. у біосфері відбувалися локальні і регіональні екологічні кризи. Згубний вплив людини на біосферу досяг глобальних масштабів і проявився у тотальному забрудненні природних середовищ, інтенсивному використанні ресурсів природи, зміні геохімічних кругообігів елементів і потоків енергії в екологічних системах, що спричинило розвиток глобальної екологічної кризи. У промислово розвинутих країнах руйнувалися екологічні системи та виснажувалися природні ресурси. Загалом на планеті було втрачено 20 % видів живих істот. Великі річки Європи (Рейн, Одер) перетворилися на стічні канали, де через непридатну для життєдіяльності якість води повністю зникла біота, у критичному стані опинилися Дунай і Сена. Активно поширювалася деградація ґрунтів (водна ерозія охопила 56 % площі земель суходолу), хімічне і фізичне ушкодження земель, опустелювання території (загальна площа пустель і напівпустель 48,4 млн. км<sup>2</sup>, щороку вона збільшується на (> млн. га), скорочення площ тропічних дощових лісів і тайги (призводить до зменшення кількості кисню, зникнення деяких видів рослин і тварин), забруднення атмосфери (наслідком його є розвиток парникового ефекту, утворення озонової діри, кислотних дощів, смогів). ("прогнозувати можливі зміни біосфери з високою точністю у той час було неможливо, оскільки спостереження за Станом довкілля держави здійснювали лише на регіональних рівнях за різними програмами. Тому в 1972 р. на Стокгольмській конференції ООН з навколишнього середовища було запропоновано створити Служби Землі, покликані здійснювати глобальний моніторинг довкілля, оцінювання, дослідження та обмін

інформацією, своєчасно попереджати про природні катастрофи й антропогенні зміни стану довкілля, здатні спричиняти прямі та непрямі збитки здоров'ю людини.

Глобальний (франц. global — всесвітній, загальний) моніторинг — система спостережень за планетарними процесами і явищами, які відбуваються у біосфері, з метою оцінювання та прогнозування глобальних проблем охорони навколишнього природного середовища.

За результатами роботи Міждержавної наради з проблем моніторингу, що відбулася у Найробі (лютий 1974 р.), було сформульовано такі основні завдання глобального моніторингу:

- 1) Організація розширеної системи попереджень про загрозу здоров'ю людини.
- 2) Оцінювання глобального забруднення атмосфери та її впливу на клімат.
- 3) Оцінювання кількості і розподілу забруднення біологічних систем, особливо харчових ланцюгів.
- 4) Оцінювання критичних проблем, що виникають внаслідок сільськогосподарської діяльності й землекористування.
- 5) Оцінювання реакції наземних екосистем на вплив навколишнього середовища.
- 6) Оцінювання забруднення океану і вплив забруднень на морські екосистеми.
- 7) Створення міжнародної системи попереджень про стихійні лиха.

Програма глобального моніторингу передбачає систематичне вивчення навколишнього середовища за єдиними правилами та уніфікованими методиками на 8 континентальних, 77 базових і 66 біосферних регіональних станціях, розташованих у різних точках Землі. Вона охоплює спостереження, оцінювання і прогнозування змін природних процесів, контролювання енергетичного і теплового балансу Землі (відношення надходження і витрат енергії на земній поверхні і в системі «атмосфера — Земля»), спостереження за рівнями радіації, вуглекислого газу, кисню в тропосфері (частково в

гідросфері), глобальним збільшенням фонового забруднення атмосфери, станом Світового океану, змінами клімату, міграційними шляхами тварин. За деякими з цих напрямів у багатьох країнах давно тривають успішні дослідження та спостереження, за іншими — робота тільки розпочалася. Тому здебільшого необхідна не організація нових служб, а максимально ефективне використання і розвиток наявних систем, їх доповнення, раціональне й ефективне послуговувано інформацією.

Сучасна глобальна система моніторингу навколишнього середовища охоплює всі природні зони, а також потенційно-небезпечні щодо забруднення компонентів середовища райони, виконуючи такі завдання:

- визначення рівнів окремих критичних забруднювачів у середовищі, аналіз їх розподілу в просторі та змінюваності в часі;
- вивчення розмірів і швидкості потоків забруднюючих речовин, їх перетворень і сполук;
- порівняння використовуваних у різних країнах методів спостережень та аналізу змін довкілля;
- забезпечення необхідною для прийняття управлінських рішень глобальною і регіональною інформацією;
- попередження про можливі природні й антропогенні катастрофи.

Система глобального моніторингу реалізується на і макетному, регіональному, фоновому рівнях, для яких розроблені спеціальні програми.

Імпактний рівень глобального моніторингу (І) полягає у вивченні критичних забруднень на локальних територіях, спричинених одним або кількома джерелами викидів. Об'єктом спостереження може бути потенційно небезпечне підприємство (група підприємств), скиди або викиди якого за певних аварійних умов і метеорологічних характеристик (особливості циркуляції повітряних потоків) можуть спричинити глобальне забруднення довкілля.

Регіональний рівень глобального моніторингу (Р) охоплює вивчення міграції і трансформації забруднюючих речовин і їх сукупної дії,

характерних для певних економічних регіонів чинників. Об'єктом дослідження є довкілля в межах конкретного регіону (економічного району, адміністративної області, країни).

Фоновий рівень глобального моніторингу (Ф) передбачає фіксацію фонового стану довкілля з метою подальшого оцінювання рівня антропогенної дії. Спостереження проводять на базі біосферних заповідників, де заборонена будь-яка господарсько-виробнича діяльність і обмежений антропогенний вплив сусідніх територій.

Програми спостережень формують на основі вибору пріоритетних забруднюючих речовин та інтегральних характеристик, використовуючи певну сукупність критеріїв. Ними можуть бути величина фактичного або потенційно можливого впливу забруднюючих речовин на здоров'я людини, стан екосистеми, клімат; здатність забруднюючих речовин до деградації в довкіллі, накопичення в організмі людини і харчових ланцюгах; здатність забруднюючих речовин утворювати шкідливі і токсичні сполуки; міграційна здатність; фактичні і можливі концентрації забруднювачів у довкіллі і в організмі людини. Найпоширеніші забруднюючі речовини оцінюють в балах від 0 до 3 і розподіляють за цими критеріями на класи пріоритетності (табл. 2.4). Чим вищий клас, тим більший пріоритет забруднювача при організації спостережень у певному середовищі (повітря, питна, морська вода, біота, їжа (внутрішнє надходження забруднюючих речовин до організму людини, тварини)) на відповідному рівні (імпактний, регіональний, фоновий).

Таблиця 2.4

Класифікація забруднюючих речовин за класами пріоритетності в ГСМНС

Клас	Забруднююча речовина	Середовище	Рівень моніторингу
I	Діоксид сірки, зважені частки	Повітря їжа	I, p, ф
	Радіонукліди		I, p

II	Озон Хлорорганічні з'єднання, діоксини Кадмій	Повітря Біота, людина Вода, їжа, людина	I(тропосф.), Ф(стратосф.) I,P I
III	Нітрати, нітрити	Вода, їжа	I
IV	Оксиди азоту Ртуть Свинець	Повітря Вода, їжа Повітря, їжа	I I, P I
V	Діоксид вуглецю Оксид вуглецю Вуглеводні нафти	Повітря Повітря Морська вода	Ф I P,Ф
VI	Фториди	Прісна вода	I
VII	Азбест Миш'як	Повітря Питна вода	I I
VIII	Мікробіологічне забруднення Реакцієздатні забруднювачі	їжа Повітря	<b>I.P</b> <b>I</b>

Визначення пріоритетних об'єктів під час організації систем моніторингу залежить від його мети та завдань: на територіальному рівні перевагу надають промисловим містам, джерелам питної води, місцям нересту риби; стосовно середовища спостережень основними є атмосферне повітря та вода прісних водойм, водотоків, морських акваторій.

Глобальний моніторинг здійснюють з використанням базових (для глобального фонових моніторингу дуже низьких фонових концентрацій найважливіших складених атмосфери) і регіональних станцій за мінімальними (для моніторингу довготривалих змін складу атмосферного повітря, спричинених людською діяльністю на регіональному рівні) та розширеними програмами (для моніторингу довготривалих змін складу довкілля на імпакті на рівні). Мінімальні програми передбачають вимірювання на базових станціях забруднення атмосфери, Провідності повітря, вмісту CO<sub>2</sub> у повітрі та хімічного складу опадів; на регіональних

станціях — спостережений за мутністю атмосфери та хімією опадів. Розширені 111 к >грами охоплюють додаткові спостереження за діокси-Ді >м сірки, сірководнем, вмістом загального озону, чадного газу і всіх сполук азоту, важких металів.

На основі спостереження, оцінювання і прогнозування в межах системи глобального моніторингу було здійснено:

- глобальне оцінювання стану ґрунту, а також складено карти деградації ґрунтів сільськогосподарського призначення, придатності сільськогосподарських земель у певних агроекологічних зонах, стану пасовищ в посушливих і напівпосушливих регіонах;
- оцінювання покриву тропічного лісу Африки, Латинської Америки, Азії, районування і класифікацію рослинності;
- дослідження водного балансу, льодовиків, гідрологічних регіонів;
- прогнозування можливих змін клімату;
- оцінювання запасів морських біологічних ресурсів, забруднення Світового океану;
- виокремлення еталонних екосистем біосфери;
- аналіз даних про причини захворювань у певних забруднених районах.

Функціонування глобальної системи моніторингу довкілля особливо актуальне в постіндустріальну епоху, коли людство переходить на нову модель сталого (еколого-економічно-соціального) розвитку. Перехід до цієї моделі передбачає такий стан суспільства, за якого вплив на навколишнє середовище зберігатиметься в межах господарської ємності біосфери.

Сталий розвиток передбачає формування економічних відносин, які забезпечать можливість спільного збалансованого функціонування системи «природа — суспільство — економіка». Ідея екологічно сталого розвитку біосфери ґрунтується на таких принципах:

- принцип обмеженості (збереження сучасного стану довкілля);

- принцип збереження природного багатства на сучасному рівні (недопущення втрат або зменшення природно-ресурсного потенціалу і екологічного біорізноманіття);
- принцип балансу між ресурсом і забруднювачем (використання ресурсів у масштабах відновлювальної здатності екологічних систем) та ін.

Реалізувати комплекс принципів можна тільки на основі різнобічної і достовірної інформації (спостережень, оцінювання, прогнозування), яку здатна забезпечити глобальна система моніторингу навколишнього середовища.

#### **4.2. Кліматичний моніторинг і його завдання**

При глобальних перетвореннях довкілля визначальну роль відіграють кліматичні зміни, спричинені природними та антропогенними факторами (парниковий ефект, озонові діри, техногенні забруднення довкілля). Перебуваючи в тісному взаємозв'язку з усіма компонентами природного середовища, клімат (багаторічний режим погоди, властивий даній місцевості) відчутно впливає на них, на умови життя і самопочуття людини.

З'ясування антропогенних змін і коливань клімату неможливе без вивчення його природної динаміки, яка ґрунтується на даних про стан кліматичної системи «атмосфера — океан — поверхня суші (з річками й озерами) — літосфера — біота» і взаємодію елементів цієї системи за тривалий час. Спостереження за станом кліматичної системи, оцінювання та прогнозування її подальшого розвитку здійснюють за допомогою кліматичного моніторингу.

Кліматичний моніторинг — система спостережень, оцінювання і прогнозування зміни клімату.

До кліматичного моніторингу належить збирання даних про клімат минулого. Для цього вивчають копалини, а також кільця деревини, донні відкладення, на ЯКИХ позначаються коливання й зміни клімату протягом сотень і тисяч років.

На підставі виникнення певних особливостей клімату, зокрема внаслідок впливу на нього антропогенною перетвореною підсилюючої поверхні (будівництва великих гідротехнічних споруд, змін площ лісових насаджень, будівництва міст), а також можливого впливу інтенсивних теплових викидів, трансформацій складу та оптичних властивостей атмосфери (візуального сприйняття, (спричиненого викидами аерозольних часток і газових домішок) роблять висновки про обсяги антропогенного Втручання.

Природні й антропогенні зміни клімату впливають на стан біосфери загалом, функціонування популяцій рослин і тварин, змінюють умови життєдіяльності людини і стан її здоров'я.

Кліматичний моніторинг пов'язаний з екологічним. Він потребує спеціальної системи спостережень, спроможної забезпечити виконання наукових і практичних завдань, зокрема надати широку кліматичну інформацію. В цією метю, як правило, створюють службу збору кліматичних даних, сфера діяльності якої простягається і за Межі моніторингу антропогенних змін клімату. Для пізнання сутності й антропогенної складової змін і коливань клімату необхідний великий масив даних про параметри елементів біосфери, процеси, які характеризують її зміни. Особливо це важливо при простежуванні змінюваності клімату в просторі і часі. Прогнозування сезонних і річних коливань клімату відбувається на основі інформації, яку забезпечує глобальна система спостережень. При цьому слід мати на увазі, що спостереження, спрямовані на вивчення змінюваності клімату, повинні обов'язково враховувати інерційність кліматичної системи.

Моніторинг клімату зосереджується на реалізації таких завдань:

- збирання даних про стан кліматичної системи;
- аналізування і оцінювання природних та антропогенних змін і коливань клімату (включаючи порівняння клімату минулого з сучасним);
- виокремлення антропогенних ефектів у зафіксованих змінах клімату;

- виявлення природних і антропогенних факторів, що зумовлюють зміну клімату;
- виявлення критичних елементів біосфери, вплив на які може спричинити кліматичні зміни.

Кліматичний моніторинг охоплює геофізичний (система спостережень за абіотичною частиною біосфери, а саме: кліматом, рельєфом, температурою, сонячною радіацією тощо) та біологічний (система спостережень за станом біотичної складової біосфери та її реакцією на антропогенний вплив) моніторинги, для нього важливі як фактори дії, так і джерела забруднення. У його здійсненні важливу роль відіграють метеорологічні служби, які сформовані з наземних та супутникових підсистем, що дають змогу різнобічно відстежувати процеси і явища. Усі основні кліматичні дані та інформацію, необхідні для аналізу змін клімату, поділяють на групи:

1. Вимірювання основних метеорологічних параметрів, вивчення та аналіз атмосферних явищ і процесів, які характеризують відповідний стан погоди. До цієї групи належать дані про температуру і вологість повітря, атмосферний тиск, швидкість та напрямок вітру, інтенсивність опадів, гідрологічні дані, а також дані про сніговий покрив, вологість і глибину промерзання ґрунту та інші, які отримують на метеорологічних і гідрологічних станціях і постах. На основі цієї інформації здійснюють моніторинг атмосферних явищ і процесів, отримують їх національні метеорологічні служби з відповідних станцій за допомогою технічних засобів.

На сучасному етапі у світі функціонує 40 000 кліматологічних і 140 000 дощомірних станцій, однак розміщені вони нерівномірно. Міжнародний обмін основними погодними даними забезпечують Всесвітня служба погоди (ВСП), Всесвітня метеорологічна організація (ВМО). ВСП формується з глобальних систем спостережень, телезв'язку й оброблення даних. Метою її роботи є збереження і надання користувачам необхідної інформації.

Глобальну систему спостережень формують наземна й супутникова підсистеми. Наземна підсистема базується на опорній синоптичній мережі. Вона отримує інформацію також з кораблів і літаків, метеорологічних радіолокаторів, різних систем зондування атмосфери. До наземної підсистеми спостережень належать станції вимірювання сонячної радіації, фонового забруднення атмосфери та інших складників атмосфери (діоксиду вуглецю ( $CO_2$ ), озону ( $O_3$ ), різноманітних газових домішок). Аерозольні частки природного та антропогенного походження, електромагнітне випромінювання, теплове забруднення також становлять інтерес для служб наземної глобальної системи спостережень, оскільки помітно позначаються на кліматі.

Супутникову підсистему утворюють геостаціонарні і розташовані на навколополярних орбітах метеорологічні супутники. Вони відстежують вертикальні профілі температури і вологості, температуру поверхні моря, поверхні суші та верхнього шару хмар, сніговий покрив, радіаційний баланс.

2. Моніторинг стану кліматичної системи (реакція кліматичної системи та її елементів на природні й антропогенні зміни). Він охоплює всю біосферу, але зосереджується на ефектах (реакціях), які безпосередньо стосуються антропогенних змін клімату. Спостереження за станом клімату охоплює моніторинг кліматотворних факторів, а також величин, які характеризують реакцію кліматичної системи та її елементів на різні дії, передусім антропогенні. Важливими є дані про стан підсилюючої поверхні, які характеризують її альбедо (частину падаючої променистої енергії, яку вона відбиває), моніторинг енерго- і масообміну між атмосферою і підсилюючою поверхнею, відомості про водний баланс та його вплив на зміну клімату. Усі ці фактори є кліматотворними, а змінюються вони внаслідок реакції елементів в кліматичної системи на дію різних чинників.

Океан відіграє визначальну роль при формуванні клімату. Тому доцільно здійснювати моніторинг стану океану, який забезпечується вимірюванням температури його поверхні і верхнього шару, вмісту солі та

хімічного складу води, хвилювання та течій на різних глибинах. Для отримання даних про взаємодію атмосфери й океану проводять регулярні морські кліматологічні вимірювання температури повітря і води, крапель роси, видимості, напрямку та сили вітру, атмосферного тиску.

3. Моніторинг внутрішніх та зовнішніх факторів (особливо антропогенних факторів та їх джерел), які впливають на клімат і стан кліматичної системи. До зовнішніх факторів належать вплив Сонця і космічного випромінювання. Їх інтенсивність залежить від сонячної активності, параметрів орбіти і швидкості обертання Землі. Ефекти впливу зумовлюються інтенсивністю ЙОГО факторів, властивостями і складом атмосфери Земні, властивостями земної поверхні (альbedo).

До внутрішніх факторів, які впливають на клімат і кліматичну систему, відносять теплові викиди та викиди речовин у біосферу, їх перерозподіл між різними середовищами. Він може бути природним (виверження вулканів) та антропогенним. Внутрішні фактори зумовлюють зміну властивостей кліматичної системи (змінюється альbedo підсилюючої поверхні й атмосфери, а також тепло- та газообмін підсилюючої поверхні з атмосферою).

Спостереження за змінами температури повітря, які проводять у великих містах і їх передмістях, засвідчили підвищення температури у межах  $0,5^{\circ}$ — $1,0^{\circ}\text{C}$ . Це зумовлено тепловими викидами та змінами альbedo у великих містах.

При оцінюванні коливань складу атмосфери, вивченні можливого їх впливу на клімат особлива роль належить спостереженням за вмістом і змінами концентрацій  $\text{CO}_2$  в атмосфері, за процесами обміну його зі Світовим океаном та наземною біотою. Збільшення кількості вуглекислого газу в атмосфері пов'язане з антропогенною діяльністю — спаленням мінерального палива. На сучасному етапі цей антропогенний фактор найвідчутніше впливає на клімат. Тому особливо важливим є регулярне вимірювання концентрації  $\text{CO}_2$  в атмосфері, вивчення балансу вуглецю в біосфері, обміну

CO<sub>2</sub> з глибинними шарами океану, впливу нафтової плівки на газообмін між океаном та атмосферою.

Зворотний ефект (можливе похолодання через відбиття частини падаючого сонячного випромінювання) спричинює підвищення вмісту стратосферних аерозолів, що залежить від природних причин (виверження вулканів, піщані бурі) і антропогенної діяльності (викиди промислових підприємств).

Моніторинг обсягів основних складових атмосфери, забруднень та змін, що відбуваються з ними, здебільшого організований на державному рівні, є важливою частиною глобальної системи моніторингу.

4. Моніторинг можливих фізичних і екологічних перетворень у довкіллі, які відбуваються внаслідок кліматичних змін і коливань. Трансформації клімату, впливаючи на стан біосфери, позначаються і на господарській діяльності людини. Найчутливішими до коливань клімату є елементи біосфери, розташовані у полярних широтах, засушливих місцях, а також екосистеми пустельних зон, високогір'їв.

Параметри змін у біосфері називають непрямими показниками змін клімату. Цю групу показників утворюють зміни рівня морів, озер, розташування берегової лінії, річних шарів, донних відкладень озер, снігової лінії та ін. До неї також зараховують і такі екологічні ознаки, як зміна характеру рослинності, врожайності культур, морської мікрофлори і мікрофауни, популяцій комах, особливостей поширення хвороб тварин і рослин, передусім у зонах з найбільшою чутливістю до змін клімату.

Комплекс цих даних необхідний для проведення всебічного аналізу стану довкілля і моделювання клімату, на підставі яких виокремлюють критичні фактори впливу і найчутливіші елементи біосфери, що є передумовою оптимального функціонування системи кліматичного моніторингу.

### **4.3. Моніторинг навколишнього природного середовища в межах України**

Організація моніторингу довкілля України ґрунтувалася на основних принципах національної системи моніторингу Союзу РСР, а саме системності і комплексності спостережень, тобто одночасно з дослідженнями рівнів забруднення атмосферного повітря, вод і ґрунтів здійснювали метеорологічні і гідрологічні спостереження. Недоліками цієї системи були неузгодженість систем і методик спостережень (Мінприроди, Держкомгідромет, Держкомводгосп, Держкомзем, Держкомгеології та-ін.), вирішення окремих суто відомчих завдань. Їх було враховано під час розроблення і впровадження власної державної системи екологічного моніторингу України, відображеної у статті 22 Закону України «Про охорону навколишнього природного середовища», прийнятому 25 червня 1991 року. Цей Закон став юридичною основою для розробки та впровадження у 1992 р. в Україні під егідою Національної академії наук та Мінприроди єдиної державної системи екологічного моніторингу — СЕМ «Україна». 23 вересня 1993 року постановою Кабінету Міністрів України було затверджене «Положення про державний моніторинг навколишнього середовища», яке стало правовим підґрунтям впровадження та функціонування такої системи в нашій країні. Положення визначало загальні засади системи державного моніторингу довкілля, її структуру та рівні, організацію роботи та порядок функціонування. Перелік об'єктів спостережень охоплював усі компоненти природного середовища: повітря, воду, землю, біоту.

Державний моніторинг навколишнього природного середовища — система спостережень, збирання та оброблення, передавання, збереження і аналізу інформації про стан навколишнього природного середовища, прогнозування його змін і розроблення науково обґрунтованих рекомендацій для прийняття управлінських рішень.

У «Положенні про державний моніторинг навколишнього середовища» визначено два головні етапи створення цієї системи:

- 1) інвентаризація й оптимізація діючих відомчих мереж, уніфікація методик спостережень, створення окремих ланок СЕМ, передусім у регіонах з напруженою екологічною ситуацією (1992—1995).
- 2) створення локальних, регіональних і національних центрів збирання й оброблення інформації, розроблення контрольно-вимірювальних приладів для спостереження за станом навколишнього середовища, впровадження системи у повному обсязі на всій території України (1996—2000).

Складовими СЕМ «Україна» є регіональні системи екологічного моніторингу (СЕМ «Полісся», СЕМ «Донбас» та ін.), які охоплюють локальні та об'єктні системи, створені на обласному, районному, господарському рівнях, та діючі у разі аварійних ситуацій.

Залежно від призначення ці системи здійснюють:

- загальний (стандартний) моніторинг (оптимальні за кількістю параметрів спостереження на пунктах, об'єднаних в єдину інформаційно-технологічну мережу, які дають змогу на основі оцінки та прогнозування стану довкілля регулярно розробляти управлінські рішення на всіх рівнях);
- оперативний (кризовий) моніторинг (спостереження за спеціальними показниками на мережі пунктів у реальному масштабі часу за об'єктами, джерелами підвищеного екологічного ризику в регіонах, які мають статус зон надзвичайної екологічної ситуації, а також у районах аварій зі шкідливими екологічними наслідками з метою забезпечення оперативного реагування на кризові ситуації та прийняття рішень щодо їх ліквідації, створення безпечних умов для населення);
- фоновий (науковий) моніторинг (спеціальні високоточні спостереження за всіма складовими довкілля, за характером, складом, кругообігом та міграцією забруднюючих речовин, реакцією організмів, окремих популяцій, екосистем і біосфери загалом на забруднення).

Основними завданнями системи державного моніторингу навколишнього природного середовища є:

- спостереження за станом довкілля;
- аналіз стану навколишнього середовища і прогнозування його змін;
- забезпечення органів державної влади систематичною та оперативною інформацією про стан довкілля;
- розроблення науково обґрунтованих рекомендацій для прийняття управлінських рішень.

Система державного моніторингу створюється на локальному (на території окремих об'єктів), регіональному (в межах адміністративно-територіальних одиниць, на територіях економічних і природних регіонів), національному (на території країни) рівнях з дотриманням міжнародних вимог і є сумісною з аналогічними міжнародними системами. Вона базується на принципах об'єктивності та достовірності, систематичності спостережень за станом довкілля та об'єктами впливу на нього, багаторівневості, узгодження нормативного і методичного забезпечення, технічного та програмного забезпечення, комплексності в оцінюванні екологічної інформації, оперативності проходження інформації між окремими ланками системи та вчасного інформування органів державної влади, відкритості екологічної інформації для населення.

Державний моніторинг здійснюють Міністерство екології та природних ресурсів, науковий комітет Національної академії наук України, Міністерство охорони здоров'я, Міністерство сільського господарства, Міністерство лісового господарства, Державний комітет гідрометеослужби, водного господарства, геології, земельних ресурсів, Державне житлове комунальне господарство.

Регіональні системи екологічного моніторингу працюють у таких напрямках:

- оперативно-технологічний моніторинг (спостереження за станом екологічних об'єктів з використанням стаціонарних і пересувних технічних засобів, у т.ч. авіаційні та космічні спостереження);

- статистичний моніторинг (непряме спостереження за об'єктами з використанням ретроспективної та оперативної статистичної інформації);
- аудіовідеомоніторинг (спостереження за екологічними об'єктами з використанням аудіо- та відеотехніки);
- соціологічний моніторинг (проведення соціологічних досліджень впливу діяльності людини на стан навколишнього середовища і на рівень екологічної культури);
- науково-публіцистичний моніторинг (спостереження за екологічними проблемами шляхом вивчення наукових та публіцистичних видань).

Основними їх завданнями є спостереження за станом навколишнього природного середовища в областях (мінеральними, органічними, біологічними ресурсами, ґрунтами, підземними та поверхневими водами, атмосферним повітрям); за транскордонним перенесенням забруднюючих речовин в атмосфері та у водних об'єктах; аналіз стану, прогнозування змін довкілля і здоров'я населення, оцінювання якості життя в регіоні.

На основі отриманої інформації формують комп'ютерний банк екологічних даних, що містить оперативні та ретроспективні дані про стан навколишнього середовища, природних ресурсів і постійно оновлюється, а також електронну екологічну карту.

У результаті проведення моніторингу довкілля отримують первинні й узагальнені дані про стан довкілля на певній території, оцінюють рівні його забруднення, ступінь придатності середовища для життєдіяльності людей, на основі чого здійснюють прогнозування і розробляють управлінські природоохоронні рішення.

## **Тема 5. Моніторинг атмосферного повітря**

### **5.1. Джерела і наслідки забруднення атмосферного повітря**

### **5.2. Загальні вимоги до організації спостережень за забрудненням атмосферного повітря**

Людська діяльність неминуче призводить до змін атмосферного повітря. З кожним історичним періодом їх масштаби невпинно зростають, набуваючи глобального характеру. З метою обмеження шкідливих викидів у атмосферу і запровадження сучасних вискоелективних методів очищення повітря необхідно здійснювати постійний моніторинг його стану.

### **5.1. Джерела і наслідки забруднення атмосферного повітря**

У життєдіяльності людини повітря є головним продуктом споживання, а його наявність — основною умовою існування. Адже без їжі вона може обходитись 5 тижнів, без води — 5 днів, а без повітря — 5 хвилин. Крім того, нормальна життєдіяльність людини потребує повітря відповідної чистоти, а відхилення від норми, забруднення негативно впливають на організм. Тому охорона атмосферного повітря є важливою складовою проблеми оздоровлення зовнішнього середовища загалом.

Повітряна оболонка Землі формує атмосферу радіусом до 20 000 м. Атмосферне повітря утворене з різних газів: 78,08 % азоту, 20,95 % кисню, 0,93 % аргону, 0,03 % вуглекислого газу, 0,01 % неону, гелію, метану, радону та ін. Усі вони по-своєму важливі для людини, біосфери, формування клімату (табл. 3.1).

Життя на Землі неможливе без кисню. Він є продуктом життєдіяльності зелених рослин, які виділяють його, споживаючи й розщеплюючи воду та вуглекислий газ при фотосинтезі. Усі інші живі істоти тільки споживають кисень. Вуглекислий газ надходить в атмосферу в результаті дихання живих істот, спалювання палива, гниття та розкладання органічних речовин.

Таблиця 3.1

## Основний склад сухого чистого повітря в приземному шарі

Газ	Молекулярна маса	Відносний вміст у сухому повітрі, %		Загальний вміст в атмосфері Землі, т
		за обсягом	за масою	
Азот (N <sub>2</sub> )	28,02	78,08	75,53	4,0x10 <sup>15</sup>
Кисень (O <sub>2</sub> )	32,0	20,95	23,14	1,2x10 <sup>*</sup>
Аргон (Ar)	39,94	0,93	1,28	6,8x10 <sup>13</sup>
Вуглекислий газ (CO <sub>2</sub> )	44,01	0,033	0,05	2,6x10 <sup>12</sup>
Неон (Ne)	20,18	0,0018	0,001	5,3x10 <sup>10</sup>
Гелій (He)	4,0	0,0005	0,00007	3,9x10 <sup>0</sup>
Криптон (Kr)	16,05	0,00015	0,00008	4,4x10 <sup>9</sup>
Ксенон (Xe)	83,7	0,0001	0,00003	1,6x10 <sup>9</sup>
N <sub>2</sub> O	44,02	0,00005	0,00008	4,2x10 <sup>9</sup>
Водень (H <sub>2</sub> )	2,02	0,00005	0,000003	1,6x10 <sup>8</sup>
Озон (O <sub>3</sub> )	48,0	0,00004	0,00007	3,7x10 <sup>9</sup>

У зв'язку з бурхливим розвитком промисловості й спалюванням великих обсягів палива темпи використання запасів кисню та накопичення вуглекислого газу в атмосфері різко збільшилися. Унаслідок цього порушився кругообіг вуглецю в природі, що спричинило екологічну кризу — різке погіршення умов існування людини, зумовлене антропогенною дією на навколишнє середовище. Саме промислова діяльність, в результаті якої в повітря викидається велика кількість оксидів вуглецю, промислових газів, є основним джерелом забруднення повітря, що завдає великої шкоди природному середовищу і людям.

Забруднення атмосферного повітря — внесення в атмосферу або виникнення в ній нових, нехарактерних для неї фізичних, хімічних, біологічних речовин та перевищення природного рівня концентрацій речовин, які є складовими повітря.

Забруднення атмосфери стало глобальною проблемою, особливо гострою у промислово розвинутих країнах. Збитки, завдані людству забрудненням атмосферного повітря, дуже великі й постійно зростають. Усе це актуалізує необхідність нарощування зусиль, спрямованих на охорону повітряного басейну.

Як свідчать дослідження, запаси повітря на Землі практично безмежні, вони є невичерпним ресурсом. Однак господарська, передусім промислова, діяльність людини шкідливо впливає на атмосферу, змінює склад повітря. Природне забруднення повітря спричинюють і виверження вулканів, вивітрювання гірських порід, пилові бурі, лісові пожежі та інші природні явища (рис. 3.1). Залежно від джерел розрізняють механічне, фізичне та хімічне забруднення. За тривалістю дії воно може бути тимчасовим або постійним; за масштабом поширення — глобальним, регіональним і локальним.



Рис. 3.1. Джерела забруднення атмосферного повітря

Отже, забруднення атмосферного повітря спричинене процесами і явищами, що відбуваються у природі, та промислово-побутовою діяльністю людини (табл. 3.2).

Таблиця 3.2

## Маса забруднюючих речовин (т/рік), які викидаються в атмосферу

Речовина	Природні надходження	Антропогенні викиди
Оксид вуглецю (CO)	—	$3,5 \cdot 10^8$
Діоксид сірки (SO <sub>2</sub> )	$1,4 \cdot 10^8$	$1,45 \cdot 10^8$
Оксиди азоту (NO <sub>x</sub> )	$1,4 \cdot 10^9$	$(1,5 - 2,0) \cdot 10^7$
Аерозолі (тверді частинки)	$(7,7 - 22,0) \cdot 10^{10}$	$(9,6 - 26,0) \cdot 10^{10}$
Поліхлорвінільні речовини, фреони	—	$2,0 \cdot 10^6$
Озон (O <sub>3</sub> )	$2,0 \cdot 10^9$	—
Вуглеводи	$1,0 \cdot 10^9$	$1,0 \cdot 10^6$
Свинець (Pb)	—	$2,0 \cdot 10^6$
Ртуть (Hg)	—	$5,0 \cdot 10^3$
Діоксид вуглецю (CO <sub>2</sub> )	$0,1 \cdot 10^{13}$	$0,18 \cdot 10^{11}$
Сірководень (H <sub>2</sub> S)	$1,9 \cdot 10^7$	$0,36 \cdot 10^7$

Природне забруднення. В атмосфері завжди міститься природний пил, який виникає внаслідок природних явищ. За походженням він буває таких видів:

- мінеральний пил (продукт вивітрювання і руйнування гірських порід, виверження вулканів, лісових, степових та торф'яних пожеж; сіль, яка потрапляє в повітря при розбризкуванні та випаровуванні морської води та ін.);
- органічний пил (рештки живих істот, які живуть або потрапляють в атмосферу, представлені аеропланктоном (бактеріями, спорами грибів, пилом рослин), продуктами гниття та розкладання рослин і тварин);
- космічний пил (рештки згорілих під час проходження крізь шари атмосфери метеоритів).

Природний пил виконує роль ядер конденсації водяної пари.

Штучне (антропогенне) забруднення. Таке забруднення зумовлене діяльністю людини, внаслідок чого відбуваються суттєві зміни в природному складі атмосфери. Основним його джерелом є промислові, транспортні та побутові викиди. За особливостями будови і впливу на атмосферу та біосферу розрізняють такі види забруднювачів:

- а) механічні забруднювачі — викиди цементних заводів, дим і сажа від згоряння вугілля в котельнях, печах; гума, яка стирається з автопокришок, та ін.;
- б) хімічні забруднювачі — пиловаті (газоподібні) речовини, здатні взаємодіяти в хімічних реакціях.

Найпоширенішими типами штучних забруднювачів атмосферного повітря є продукти спалювання сірковмісного палива (вугілля, нафтопродуктів, газу), вихлопні гази автотранспорту, радіоактивне забруднення, пестициди та інсектициди. Хімічний склад техногенних викидів в атмосферу залежить від виду палива, способу спалювання, складу виробничої сировини, технології виробництва та ін.

Особливо небезпечні викиди, які утворюються при роботі різних видів транспорту, зокрема автомобілів, вихлопні гази яких містять шкідливі домішки. Концентрація цих домішок у вихлопних газах залежить від типу двигуна, особливостей його обслуговування, своєчасного ремонту систем живлення і запалювання, стану доріг. Від кожної тисячі автомобілів за день надходить у повітря більше 3000 кг оксиду вуглецю, інших продуктів неповного згоряння палива, які негативно впливають на здоров'я людей і тварин, зокрема токсичний чадний газ (оксид вуглецю двовалентного). В Україні щороку автотранспорт викидає в атмосферне повітря 2000 тис. т забруднюючих речовин, що становить 31 % від загального обсягу викидів, у т. ч. понад 63 % свинцю, 54 — оксиду вуглецю, 36 — вуглеводнів та 25 % — оксидів азоту.

Задимленість атмосфери вокзалів та прилеглих територій спричиняють паровози та тепловози. Переведення тяги на електричну помітно знизило отруєння повітря шкідливими газами. Локальне забруднення повітря зумовлюють також морські та річкові судна, які працюють на вугіллі та інших видах важкого палива. Забруднені шкідливими газами території аеродромів. Сучасні літаки, які літають на значній висоті, можуть зруйнувати озоновий шар, в результаті чого відкриється доступ пагубним

ультрафіолетовим променям Сонця, що може призвести до небажаних наслідків.

Забруднюють атмосферне повітря промислові викиди, які залежать від видів палива (твердого, рідкого, газоподібного) і способів їх спалювання, різні за хімічним складом. Спалювання вугілля, газу, нафти з різних причин рідко буває повним. Тому промисловість викидає в атмосферу значну кількість твердих часток (сажа, зола, пил) та шкідливих газів (оксиди вуглецю, вуглеводні, оксиди азоту). Такі частки палива, а також різні розпилені продукти (цемент, фосфорити) утворюють промисловий пил. Він складається з дрібних часточок і довго тримається в повітрі у зваженому стані. Забруднення повітряного басейну сірчаним газом і пилом спричиняють теплові електростанції, які працюють на вугіллі. Перехід ТЕС на газ помітно зменшує шкідливі викиди.

Підприємства хімічної, енергетичної, металургійної, нафтопереробної, цементної промисловості теж викидають у повітря велику кількість газоподібних речовин, золи та пилу. Шкідливі гази і промисловий пил накопичуються здебільшого над містами (в 1 см<sup>3</sup> міського повітря кількість пилинок сягає 100 тис. штук).

В Україні в середньому викидається зі стаціонарних джерел 4156,3 тис. т забруднюючих речовин. В останні десятиліття у зв'язку зі спадом промислового виробництва обсяги промислових викидів суттєво знизилися.

Великої шкоди завдає радіоактивне забруднення атмосфери. Радіоактивні речовини потрапляють в атмосферу в результаті природної і штучної радіоактивності, пов'язаної з роботою атомних установок, використанням радіонуклідів у народному господарстві, внаслідок аварійних ситуацій на підприємствах ядерного циклу, атомних вибухів. Природна радіоактивність притаманна атмосфері, вона присутня постійно і не залежить від діяльності людини. Живі організми пристосувалися до неї, і вона не викликає шкідливих наслідків, на відміну від штучної. Особливо загрозливим є надходження радіоактивних речовин в атмосферу внаслідок аварій атомних установок,

оскільки радіоактивне опромінення скорочує життя людини, спричиняє пухлини кісток, лейкемію, розлад нервової системи, порушення генетичної основи організму. Проблемою є утилізація радіоактивних відходів. На сьогодні найоптимальнішим вважається захоронення радіоактивних відходів у покинутих соляних шахтах або у спеціальних сховищах у товщі соляного шару, куди не проникає вода, але це не може гарантувати повної безпеки.

Забруднення повітря часто є локальним, однак воно перебуває в постійному русі і за відповідних метеорологічних умов забруднювачі переносяться на значні відстані, навіть з одного континенту на інший.

Загальна маса світових промислово-побутових викидів становить приблизно 600 гігатон (Гт) на рік. За останні 100 років в атмосферу надійшло 1,55 мегатонн (Мт) кремнію, 1,5 Мт миш'яку, більше ніж по 1 Мт нікелю та кобальту, по 0,6 Мт цинку і сурми. Про динаміку викидів забруднюючих речовин зі стаціонарних джерел за основними видами економічної діяльності свідчать дані табл.3.3.

Нераціональна промислово-побутова діяльність нерідко призводить до локальних та регіональних екологічних криз ( високе забруднення атмосферного повітря Донецького і Придністровського регіонів України, смоги (димові тумани) в Лос-Анджелесі, Нью-Йорку, Чикаго, Токіо, Мілані), у ній закорінені і глобальні екологічні проблеми, які тривожать усе людство: потепління клімату, кислотні опади, руйнування озонового екрана атмосфери та запустелювання.

Таблиця 3.3

Динаміка викидів забруднюючих речовин зі стаціонарних джерел за основними видами економічної діяльності

Вид економічної діяльності	Тверді речовини		SO <sub>2</sub>		NO <sub>x</sub>		Вуглеводні, ЛОС		CO	
	1997	1998	1997	1998	1997	1998	1997	1998	1997	1998
Всі види економічної	785,9	749,1	1136,4	1023,0	370,5	332,9	461,8	427,4	1366,1	1279

діяльності										
Сільське госп-во, мисливство та пов'язані з ними послуги	4,1	3,2	3,1	2,3	1,4	1,1	0,7	0,5	4,4	3,6
Добувна промисловість	98,2	91,4	72,6	65,8	16,6	14,8	345,5	314,4	294,8	257,6
Обробна промисловість	246,8	224,6	226,6	288,5	113,7	99,9	73,0	65,1	940,6	890,2
Виробництво електроенергії, газу та води	396,0	385,6	780,6	718,3	209,0	187,7	4,3	2,2	71,6	79,0
Будівництво	8,1	7,8	16,9	15,2	5,4	4,7	2,1	11,4	7,0	7,3
Інші види економ. діяльності	32,7	36,5	36,6	32,9	24,4	24,7	36,2	33,8	47,7	41,2

Потепління клімату. Зміни клімату в історичній ретроспективі вивчають методом глибинного зондування вічних льодовиків. В Антарктиді його проводили до глибини 2 км, що охоплює останні 160 тис. років. Доведено, що протягом історії Землі клімат суттєво змінювався, але до початку розвитку людської цивілізації такі процеси були поступовими. Тільки у другій половині ХХ ст. клімат почав швидко трансформуватися внаслідок дії антропогенних чинників.

Потепління клімату зумовлене тепличним ефектом, який на 46 % є результатом виробництва енергії (спалювання викопного палива з викидами в атмосферу вуглекислого газу), на 24 % — забруднення атмосфери іншими хімічними речовинами, зокрема метаном, на 18 % — вирубкою лісів та ерозією ґрунту, від чого знижується інтенсивність біологічного зв'язування вуглекислого газу, на 9 % — інтенсифікацією сільського господарства, з

якою пов'язане надходження до атмосфери підвищеної кількості оксидів азоту, на 3 % — спалюванням сміття.

Вуглекислий газ, як й інші тепличні гази, має здатність утримувати теплове випромінювання біля поверхні планети, що зумовлює підвищення температури. Викиди його щороку зростають. Лише протягом 1950—1990 рр. кількість цього газу в атмосфері збільшилася на 30 %. Неминучим наслідком збільшення викидів в атмосферу антропогенного вуглекислого газу є потепління клімату, оскільки океан не може поглинути весь газ. У другій половині ХХ ст. середньорічна температура повітря підвищувалася кожні 10 років на 0,3°C. За даними спеціалістів ООН, до 2100 р. ця температура зросте на 3°C.

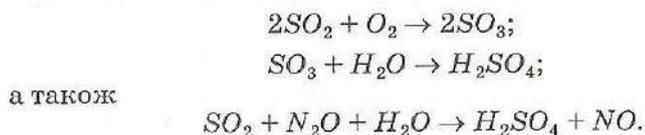
Потепління клімату може спричинити зміну режиму погоди на території великих регіонів планети, суттєво вплинути на сільськогосподарське виробництво. Внаслідок потепління почнеться танення льоду Антарктики, Арктики та високогір'їв, неминучим наслідком буде підвищення рівня Світового океану. За прогнозами, до 2100 р. його рівень підніметься приблизно на 65 см, а за деякими іншими даними — на 3,45 м, що може спричинити глобальну катастрофу.

За підрахунками спеціалістів ООН, економічні збитки від майбутнього потепління клімату можуть бути оцінені в  $10^{13}$  доларів. Людство не має таких ресурсів. Запобігти швидкому потеплінню клімату можна, передусім скоротивши викиди тепличних газів. На це орієнтує прийнята у 1988 р. Резолюція ООН «Охорона глобального клімату для сучасності та майбутніх поколінь людства».

Кислотні опади. Кислотними називають будь-які види опадів (дощ, сніг, туман), рН (від'ємний логарифм концентрації водневих йонів) яких нижче 7, тобто опади, які мають кислу реакцію. Реєструють динаміку кислотності атмосферної води за кислотністю льоду в Антарктиді, Гренландії та Альпах. У 20-ті роки ХІХ ст. рН дощової води була на рівні 7, тобто нейтральною. Кислотні дощі вперше зареєстровані в 1972 р. в англійському місті

Манчестер. Основною причиною їх випадання було надходження до атмосфери оксидів азоту та сірки.

За наявності в повітрі оксиду азоту (IV)  $NO_2$  і водяної пари ультрафіолетове випромінювання Сонця зумовлює такі хімічні перетворення  $SO_2$ :



Натепер кислотні дощі випадають всюди. Високою кислотністю характеризуються опади в Західній Європі, на початку XXI ст. вона становила 3,8—6,8. Кислотні опади характерні і для України. У Черкаській області опади закислені азотною кислотою, в Сумській — сірчаною, в Рівненській — азотною, сірчаною. Україну забруднюють шкідливі речовини зі всіх країн Західної Європи, які надходять в Україну з масами атлантичного вологого повітря.

Кислотні дощі швидко закислюють воду в річках, озерах, ставках та інших континентальних водоймах. З бікарбонатної вона стає сульфатною, в ній збільшується кількість алюмінію та марганцю. У таких водоймах підвищена рухомість ртуті, міді та цинку. У водних об'єктах із закисленою водою знижується видова різноманітність.

Від кислотних опадів передусім потерпають закриті водойми (озера та ставки), підвищується кислотність ґрунтів (у багатьох регіонах вона досягає рН 4,1—4,5). У таких ґрунтах зростає міграція свинцю, цинку, нікелю та міді. Це завдає збитків сільському господарству і природній рослинності. Кислі ґрунти потребують вапнування, що впливає на вартість продукції. В Україні за останні 30 років площа кислих ґрунтів зросла на 30 % .

Внаслідок кислотних опадів хвойні ліси в Європі всихають, потерпають культурні й архітектурні пам'ятки, швидко руйнується мармур, активно відбувається корозія металів.

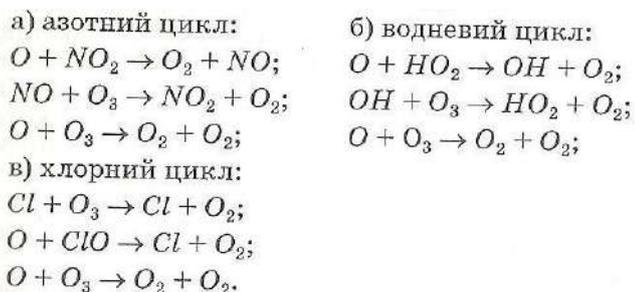
Руйнування озонового екрана атмосфери. Озоновий шар, який знаходиться в атмосфері на висоті 12—23 км, захищає поверхню планети від

жорсткої ультрафіолетової радіації з довжиною хвилі 320—400 нм. Процес руйнування озону в атмосфері зніщується різними речовинами. Як стверджують американські вчені, такими речовинами є хлор, бромпохідні (фреон), тетрахлорид вуглецю, метилхлороформ та ін. Найбільшої шкоди завдають фреони, які широко застосовуються в холодильних установках, в аерозольних балончиках та миючих засобах.

Озон атмосфери руйнується в результаті природного розпаду (кисневий цикл, або цикл Чепмена):

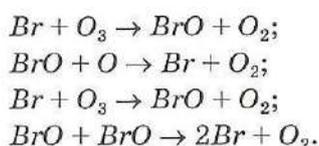


Ця реакція відбувається дуже повільно, але може прискорюватись за наявності з'єднань азоту, водню та хлору, які діють як каталізатори. Реакції азотного, водневого та хлорного циклів є такими:



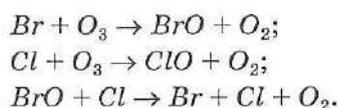
Найімовірніші вони на висоті 20—40 км. Концентрації каталізаторів в 1000 разів менші від концентрації озону, кількість циклів руйнування на одну молекулу каталізатора становить від 10<sup>2</sup> до 10<sup>7</sup>. Дія різних каталітичних циклів залежить від висоти (вище 35 км — хлорний цикл, нижче — азотний).

Ще ефективнішим каталізатором руйнування озону є бром, за участю якого можуть відбуватися такі цикли реакцій:



Один атом броду може зруйнувати десятки тисяч молекул озону.

За наявності броду і хлору цикли мають такий характер:



На руйнування озону стратосфери певною мірою впливають викиди продуктів згоряння палива космічної і ракетної техніки. Забруднюють високі шари атмосфери оксидами азоту сучасні надзвукові літаки.

Дослідження озонового шару почалися у 1930 р. Згодом вони були розширені, а для ведення спостережень була створена спеціальна мережа станцій («мережа Добсона»). Вимірювання кількості стратосферного озону протягом 1980—1991 рр. з канадського супутника «Німбус-7» засвідчили, що швидкість руйнування озону становить 0,224 % на рік. За оцінками НАС А (СІЛА), з 1978 по 1990 рік його кількість в озоновому екрані скоротилася на 45 %. Через зменшення товщі озонового екрана та розриви в ньому зростає кількість ультрафіолетового випромінювання, що досягає поверхні Землі (за останні 10 років — на 10 %, а в Антарктиді, де стійко зберігається озонова діра, — на 40 %). Невелику озонову діру виявлено у Північній півкулі над Шпіцбергеном. Її поява спричинила зростання ультрафіолетового фону на територіях, розташованих поблизу.

За даними «Грінпіс», зменшення товщі озонового шару на кожні 10 % спричинює збільшення кількості випадків захворювання раком шкіри на 300 тис. випадків, є однією з причин захворювання катарактом очей. Підвищене ультрафіолетове опромінення знижує імунітет, через що стають частішими і важчими інфекційні захворювання людей та сільськогосподарських тварин.

В Україні стан озонового екрана над її територією контролюють 6 спеціальних станцій (у Києві, Одесі, Борисполі, Богуславі, Львові та Феодосії). За їх даними, з 1980 р. озоновий екран над Україною стає менш потужним. Тому Україна приєдналася до Конвенції 1985 р. з охорони озонового екрана, зменшення кількості викидів і виробництва фреонів, інших речовин, що руйнують озон.

Запустелювання. Сутність цього явища полягає у виснаженні аридних та напіваридних екосистем під впливом діяльності людини та посух. Запустелювання відбувається здебільшого в посушливих зонах. Воно

проявляється в деградації природних біомів (сукупностей біоценозів, видів рослин і тварин однієї природної зони, для яких характерні певні типи структур угруповання, що є наслідком адаптації виду до умов середовища) і зниженні родючості ґрунтів. Території, які зазнали запустелювання, не здатні самовідновлюватися. Натепер пустелі займають вже 4 млрд. 616 млн. га. Щорічно площа пустель зростає на 60 тис. км<sup>2</sup>.

Людство вперше зіткнулося з цим явищем на великих територіях Б 1968—1973 рр., коли запустелювання південного району Сахари спричинило голод серед місцевого населення. Аналогічний процес відбувався і в районі Аральського моря. Аральська катастрофа завершилася аридизацією клімату на великій території. Наслідки її поширилися на південь від Аралу на 100—400 км. На віддалі до 250 км від Аралу рівень ґрунтової води знизився на 5 м. Ці масштабні регіональні катастрофи, як і немало інших, спричинені господарською діяльністю людини.

Отже, антропогенне забруднення атмосферного повітря порушує безпечну життєдіяльність людини, призводить до погіршення здоров'я людей, негативно впливає на стан біоценозів, зменшуючи їх продуктивність та породжуючи процеси деградації екологічних систем. Людство повинно докласти максимальних зусиль, щоб зупинити ці негативні процеси і не допустити виникнення нових.

## **5.2. Загальні вимоги до організації спостережень за забрудненням атмосферного повітря**

Зростання антропогенного впливу на навколишнє середовище вимагає оволодіння різноплановою і детальною інформацією про нього, яка дає змогу не тільки оцінити реальну ситуацію, а й спрогнозувати стан середовища у перспективі, налагодити раціональну систему природоохоронної діяльності, контролю за станом екосистем.

Організація спостережень передбачає контроль за поширенням шкідливих домішок як в самій атмосфері, так і між елементами системи

«атмосфера—гідросфера—літосфера—біосфера». Для цієї діяльності необхідні:

- відомості про наявні та перспективні джерела забруднення атмосфери (з урахуванням розвитку економічних районів);
- характеристика забруднюючих речовин (токсичність, здатність вступати в хімічні реакції з іншими речовинами, здатність до самоочищення);
- гідрометеорологічні дані;
- результати попередніх спостережень за забрудненням атмосфери (експедиційні дослідження);
- дані про рівні забруднення навколишнього природного середовища в сусідніх країнах;
- відомості про транскордонне перенесення шкідливих домішок.

Комплекс завдань, пов'язаних зі збором цієї інформації, виконує спеціальна служба спостережень, яку формують система спостережень і система контролю.

Система спостережень забезпечує спостереження за якістю атмосферного повітря в містах, населених пунктах і територіях, розміщених поза зоною впливу конкретних джерел забруднення. Спостереження здійснюють служби Держкомітету гідрометеорології, які надають дані про метеорологічні умови і концентрацію шкідливих речовин. Міністерство охорони здоров'я проводить вибіркові спостереження за рівнем забруднення в місцях проживання населення. Науковий комітет Національної академії наук України організовує авіаційно-космічні

спостереження за станом озонового шару і глобальним забрудненням атмосфери. Практикуються екологічні спостереження за окремими підприємствами.

Система контролю здійснює спостереження і контроль за джерелами забруднення, викидами шкідливих речовин в атмосферу. З цією метою Міністерство екології та природних ресурсів організовує спостереження за джерелами промислових викидів в атмосферу та дотриманням норм гранично

допустимих викидів, контролює реалізацію заходів з охорони атмосферного повітря, дотримання відповідних вимог при розміщенні, проектуванні, будівництві та введенні в експлуатацію нових підприємств.

При організації спостережень за станом повітря використовують попередні дослідження, які передбачають обстеження території (метеорологічні умови, вміст забруднювачів) за допомогою пересувних лабораторій, що здійснюють відбір та аналіз проб з метою вивчення розміщення діючих джерел забруднення та перспектив розвитку промисловості.

Після з'ясування наявного та перспективного рівнів забруднення атмосферного повітря оцінюють зміни концентрацій домішок у просторі й часі, розробляють схему розміщення постійних (стаціонарних) постів спостереження на території міста, програми їх роботи. Пост спостережень може надавати інформацію про загальний стан повітряного басейну (якщо він знаходиться поза зоною впливу окремих джерел викидів) і контролювати джерела викидів (якщо він перебуває в зоні впливу джерел викидів). При їх розміщенні пріоритетними є житлові райони з найбільшою щільністю населення, де можливе перевищення встановлених порогових значень гігієнічних показників (ГДК). Робота постів спостережень повинна відповідати таким умовам:

- обов'язковість відображення загального стану повітряного басейну і контроль за джерелами викиду;
- необхідність здійснення спостережень за всіма домішками, концентрації яких перевищують ГДК;
- обов'язковість визначення пилу, діоксиду сірки, оксиду вуглецю та оксидів азоту.

Контроль за радіоактивним забрудненням атмосферного повітря здійснюється на фоновому рівні, а також у зонах впливу атомних електростанцій та інших джерел можливих викидів радіоактивних речовин. Під час контролю за радіоактивним забрудненням на фоновому рівні

використовують фонові станції або спеціальні станції, встановлені на відстані 50—100 км від можливого джерела радіоактивного забруднення. Для моніторингу в радіусі до 25 км використовують мережу контролю і спеціальні пости спостережень, де встановлюють датчики гамма-випромінювання та пристрої для відбору проб і аналізу повітря. У межах санітарно-захисної зони (СЗЗ) утворюють пости дистанційного контролю радіоактивного забруднення атмосферного повітря.

Моніторинг забруднення території на основі снігомірної зйомки (спостереження за забрудненням снігового покриву) забезпечує контроль за рівнем забруднення атмосферного повітря в чистих (фонових) районах, містах та інших населених пунктах.

Важливими методами контролювання транскордонного перенесення глобальних потоків домішок на великі відстані від місця викиду є система наземних та авіаційних станцій, а також математичні моделі поширення забруднюючих речовин в повітрі. Мережа станцій транскордонного перенесення обладнана системами відбору газу та аерозолів, збору сухих осідань і опадів, аналізу вмісту домішок у відібраних пробах. Інформація надходить у Західно- та Східноєвропейській метеорологічні синтезуючі центри. За ступенем оперативності її поділяють на такі види:

- екстрена інформація (містить відомості про різкі зміни рівнів забруднення атмосферного повітря, негайно передається в контролюючі та господарські організації);
- оперативна інформація (містить узагальнені результати спостережень за місяць);
- режимна інформація (містить дані про середній та найбільший рівні забруднення повітря протягом тривалого часу (як правило, за рік), використовується при плануванні заходів, оцінюванні збитків, завданих народному господарству внаслідок забруднення атмосферного повітря).

Для забезпечення ефективності заходів з охорони повітря інформація повинна бути повною і достовірною. Повноту інформації забезпечують

достатня кількість контрольованих інгредієнтів, тривалий термін спостережень, раціональне розміщення мережі; достовірність інформації досягається неухильним дотриманням нормативних вимог. Значною мірою достовірність залежить від однорідності інформації.

Діюча в Україні мережа спостережень за забрудненням атмосферного повітря охоплює пости ручного відбору проб повітря й автоматизовані системи спостережень та контролю оточуючого середовища (АСКОС). Посты спостережень за забрудненнями можуть бути стаціонарні, маршрутними та пересувними (підфакельними). В постів ручного відбору проби для аналізу передають в хімічні лабораторії. Стаціонарні АСКОС обладнані пристроями для безперервного відбирання та аналізу-і їм пня проб повітря в заданому режимі й передавання інформації каналами зв'язку в центр управління.

Оцінювання забруднення атмосферного повітря в містах України здійснюють за даними спостережень, ЯКІ проводять у 54 містах на 166 стаціонарних постах та па 2 станціях транскордонного переносу. Порівняно з 191)7 р. помічено деяке зниження забруднення атмосферного повітря за більшістю домішок в Україні загалом і в окремих містах (табл.3.4).

Таблиця 3.4

11 міст основних забруднюючих речовин в атмосферному повітрі за даними спостережень Держкомгідромету

Речовина	Кількість міст, включених до узагальнення	Середньо-річна концентрація, мг/м <sup>3</sup>	Максимальна концентрація, мг/м <sup>3</sup>	Частка міст (%), де середньорічні концентрації перевищували:			Частка міст (%), де максимальні разові концентрації перевищували:		
				1 ГДК	5 ГДК	10 ГДК	1 ГДК	5 ГДК	10 ГДК
11 ім)	54	0,15	6,1	44	0	0	63	6	2
Діоксид сірки	52	0,021	0,656	6	0	0	4	0	0
Оксид вуглецю	48	2,1	32,0	17	0	0	69	4,2	0
.Піоксид азоту	52	0,05	0,94	60	0	0	85	11	2
(>ксид азоту	27	0,03	0,57	7	0	0	7	0	0
Лміпк	23	0,035	0,82	26	0	0	56	0	0
(Сірководень	17	0,003	0,066	ГДК с.д. не встановлена			76	12	0
Фенол	26	0,0038	0,05	46	0	0	77	0	0
Фтористий ВОДень	16	0,0046	0,097	37	0	0	44	0	0
Формальдег	23	0,0066	0,153	70	9	0	44	4	0

ід									
X пористий водень	10	0,045	0,87	0	0	0	50	0	0

Раціонально організована система спостережень та контролю за станом атмосферного повітря дає змогу отримати необхідну інформацію про якісний склад повітря в населених пунктах і зонах впливу джерел викидів, про транскордонні перенесення забруднюючих речовин, виявити території, для яких характерні перевищення ГДК забруднюючих речовин. Наявність достовірних і комплексних даних спостережень є необхідною передумовою для розроблення рекомендацій щодо поліпшення стану атмосфери.

## **Тема 6. Види постів спостережень і методи оцінювання забруднення атмосферного повітря**

6.1. Види постів спостережень, програми і терміни спостережень

6.2. Методи оцінювання забруднення атмосферного повітря, прилади і способи відбору проб

### **6.1. Види постів спостережень, програми і терміни спостережень**

Світові міжнародні та регіональні системи спостережень і контролю за забрудненням атмосферного повітря розвинутих країн організовані відповідно до рекомендацій ООН, які були розроблені при створенні програм моніторингу. Спостереження за станом атмосферного повітря проводять з 70-х років ХХ ст. Системи моніторингу атмосферного повітря різних країн, як правило, відстежують якість повітря та його зміни в критичних аварійних ситуаціях. Перелік забруднюючих речовин, за якими варто здійснювати спостереження, кожна країна визначає самостійно. Подібний підхід до організації системи спостереження за станом атмосферного повітря застосовують у країнах СНД і в Україні.

Закон України «Про охорону атмосферного повітря» (1992 р.) значно розширив функції служб спостереження та контролю за забрудненням атмосфери, які в своїй практиці використовують розрахункові і експериментальні (регулярні спостереження за концентраціями шкідливих домішок) методи. На основі теоретичних та експериментальних досліджень поширення домішок в атмосфері вироблено основні принципи організації мережі спостережень, лабораторного (хімічного) аналізу проб повітря, збирання, оброблення та узагальнення інформації про забруднення.

Інформацію про вміст забруднюючих речовин в повітрі надає мережа служби моніторингу. Відповідальність за її організацію покладена на Держкомгідромет України.

Якість повітря в населених пунктах контролюють стаціонарні, маршрутні і пересувні (підфакельні) пости спостереження.

Стационарний пост спостереження. Він призначений для регулярного відбору проб повітря з метою подальшого лабораторного аналізу, безперервного реєстрування вмісту забруднюючих речовин автоматичними газоаналізаторами. Мережа стаціонарних постів обладнана приміщеннями типу «ПОСТ» — утепленими дюралевими павільйонами, в яких встановлені комплекти приладів та Обладнання для відбору проб повітря і вимірювання метеорологічних параметрів: температури, вологості, Швидкості та напрямку вітру. Діючі типи павільйонів ПОСТ-1», «ПОСТ-2», «ПОСТ-2а» відрізняються продуктивністю та ступенем автоматизації. Найпоширенішими є лабораторії типу «Пост-2».

Лабораторію комплектну типу «ПОСТ-2» використовують для стаціонарних спостережень за рівнем забруднення атмосферного повітря, а також для з'ясування метеорологічних характеристик. Вона забезпечує автоматичне вимірювання та фіксування на діаграмній стрічці концентрацій оксиду вуглецю і діоксиду сірки; автоматичний відбір 33 проб повітря для визначення 5 газоподібних домішок, сажі та пилу; ручний відбір 5 проб повітря на вміст газоподібних домішок, сажі і пилу; автоматичне вимірювання і реєстрацію напрямку та швидкості вітру, температури (-50—+50°C), вологості атмосферного повітря (0—100 %); контроль за температурою, вологістю і тиском атмосферного повітря за допомогою переносних приладів.

Комплект її технічних засобів містить:

- металевий каркас (павільйон) із зовнішніми та внутрішніми допоміжними пристроями;
- прилади автоматичного контролю концентрацій забруднюючих речовин: газоаналізатори типу ГМК-3 (для визначення оксиду вуглецю) і типу ГКП-1 (для діоксиду сірки);
- групу приладів для автоматичного та ручного відбору проб повітря на вміст газоподібних домішок, сажі та пилу: електроаспіратори типу ЕА-1, ЕА-2, ЕА-2С і автоматичний повітровідбирач «Компонент»;

- групу приладів для автоматичного і ручного контролю метеопараметрів: анеморумбограф типу М63МР, датчики температури і вологості.

Лабораторію «ПОСТ-2» обслуговує оператор, який реєструє значення температури, вологості, тиску. Вона може працювати в безперервному режимі або з перервами при півгодинному обслуговуванні оператором 2—4 рази на добу, одночасно контролюючи вміст у повітрі 2 забруднюючих речовин. За одне обслуговування забезпечується одночасний відбір 38 проб (за автоматичного відбору — 33, ручного — 5 проб). «ПОСТ-2» контролює 7 метеопараметрів (4 — при автоматичному вимірюванні з реєстрацією, 3 — при візуальному). Продуктивність лабораторії за чотириразового обслуговування протягом доби становить 50 тис. проб/год., середній термін служби — 10 років.

Серед стаціонарних постів виокремлюють опорні стаціонарні пости (призначені для виявлення довготривалих змін вмісту основних або найбільш поширених забруднюючих речовин) та неопорні стаціонарні пости (призначені для спостережень за спеціальними шкідливими речовинами, що характерні для контрольованої місцевості).

Кількість стаціонарних постів визначають залежно від чисельності населення (табл. 3.5), рельєфу місцевості, особливостей промисловості, змін концентрацій забруднюючих речовин.

Таблиця 3.5

Визначення кількості стаціонарних постів відповідно

Чисельність населення, тис. осіб	< 50	50—100	100—200	200—500	500—1000	1000—2000	> 2000
Кількість постів, шт.	1	2	3	3—5	5—10	10—15	15—20

Стаціонарні пости спостережень можуть встановлюватись в житловій, промисловій, змішаній зонах та біля автомагістралей.

Маршрутний пост спостереження. Він призначений для регулярного відбору проб повітря у фіксованих точках місцевості за допомогою спеціально обладнаної авто лабораторії. Маршрут щомісячно змінюється з таким розрахунком, щоб відбір проб повітря у кожному пункті проводився в різний час доби. Наприклад, протягом першого місяця машина об'їжджає пости в порядку зростання номерів, другого — в порядку їх спадання, третього — з середини маршруту до кінця і з початку до середини. Розміщення маршрутних постів повинно бути таким, щоб виявляти максимальні концентрації забруднюючих речовин, які формуються джерелом викиду. Визначаючи місця відбору проб, приймають до уваги висоту джерела викиду ( $H$ ) і максимально можливу зону забруднення ним атмосферного повітря ( $K$ ), яка дорівнює  $20H$ . Складають схему, центром якої є джерело викиду, навколо котрого будують кола з радіусами  $0,5K$ ;  $1K$ ;  $1,5K$  ( $K=20H$ ,  $H$  — висота джерела викиду). У точках перетину кіл з проведеними з центра лініями, що позначають сторони світу, відбирають проби повітря.

Під факельний (пересувний) пост спостереження. Його використовують для відбору проб під димовим факелом з метою виявлення зони його впливу. Ці місця обирають з урахуванням закономірностей поширення забруднюючих речовин в атмосфері. Проби відбирають за переважаючим напрямком вітру на відстанях: 0,2; 0,5; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 15; 20 км від джерела забруднення. Допоміжні точки встановлюють у зоні формування максимальної концентрації, на межі санітарної захисної зони (СЗЗ), на відстані  $СЗЗ + 200$  м. На кожному колі по обидві сторони від осі факелу на відстані  $1/25 E$  встановлюють ще по два пости. У зоні максимального забруднення відбирають не менше 60 проб повітря, а в інших зонах — до 25 на висоті 1,5 м від поверхні землі протягом 20—30 хв. не менше як у трьох точках одночасно.

Залежно від виду постів спостережень та їх завдань визначають програми і терміни спостережень. На стаціонарних постах спостереження за забрудненням атмосферного повітря та метеорологічними параметрами

проводять протягом року, незалежно від погодних умов. Вони можуть працювати за повною, неповною, скороченою програмами спостережень.

За повною програмою спостереження проводять щоденно (неділя — вихідний, субота — чергується) о 1, 7, 13 та 19 год. за місцевим часом або інколи використовують зміщений графік. Спостереження за цією програмою передбачають вимірювання вмісту в повітрі пилу, діоксиду сірки, оксиду вуглецю та оксидів азоту, а також тих речовин, концентрації яких перевищують ГДК.

За неповною програмою спостереження проводять щоденно (субота і неділя чергуються) о 7, 13 та 19 год. У районах, де температура повітря нижча  $-45^{\circ}\text{C}$ , спостереження проводять за скороченою програмою щоденно, крім неділі, о 7 та 13 год. за місцевим часом.

Спостереження за скороченою програмою проводять у місцях, де середньомісячні концентрації менші за  $1/20$  ГДК( максимально разових).

Усі програми спостережень обов'язково охоплюють спостереження за метеопараметрами. За несприятливих погодних умов відбір проб повітря на всіх постах повинен проводитись через кожні 3 год.

Визначення концентрацій на маршрутних постах проводять за годинним графіком.

Діюча мережа спостережень за станом атмосферного повітря, сформована зі стаціонарних, маршрутних та під факельних постів дає змогу контролювати забруднення повітря в населених пунктах, виявляти вплив джерел забруднення на певні території та викиди стаціонарних джерел забруднення. За сприяння системи постів встановлюють динаміку забруднення атмосфери, виявляють території, де зростає вміст забруднюючих речовин у повітрі, визначають небезпечні джерела викидів.

## **6.2. Методи оцінювання забруднення атмосферного повітря, прилади і способи відбору проб**

Головною метою аналізу забруднення повітря є отримання інформації про якісний та кількісний його склад, необхідної для прогнозування рівнів забруднення, оцінювання фактичного стану, реалізації заходів щодо охорони повітряного басейну.

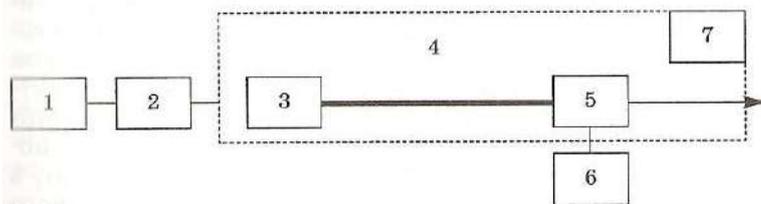
Аналіз забруднення повітряного середовища є чи не найскладнішим завданням аналітичної хімії, оскільки повітря є рухомою системою, склад якої постійно змінюється, а одна проба може одночасно містити десятки, сотні органічних і неорганічних сполук. Крім того, концентрація токсичних речовин в атмосфері може бути мізерно малою ( $10^{-4}$ — $10^{-7}\%$  і нижче).

Для оцінювання забруднення повітря використовують лабораторні (характеризуються високою точністю і є незамінними для поглиблених досліджень); експресні (передбачають використання універсальних газоаналізаторів); автоматичні (забезпечують безперервний контроль забруднення атмосферного повітря) методи.

Лабораторні дослідження проводять з використанням хроматографічних, мас-спектрального, спектрального, електрохімічного методів аналізу забруднення атмосферного повітря.

**Хроматографічні методи аналізу забруднення атмосферного повітря.** Їх сутність полягає в розподілі, якісному виявленні та кількісному визначенні компонентів повітряної суміші за допомогою спеціальних пристроїв — хроматографіє. Найефективніші вони за необхідності визначення складних домішок у повітряних пробах. Цю групу методів (залежно від мети визначення певних домішок) утворюють:

— газова хроматографія (метод дослідження мікро-домішок летких органічних сполук). Реалізують його за допомогою газового хроматографа (рис. 3.2)



1 — газ-носії (інертний газ), 2 — регулятор витрат, 3 — прилад для введення проби, 4 — колонка, 5 — детектор, 6 — самописець, 7 — термостат.

Рис. 3.2. Схема газового хроматографа

Розподіл летючих речовин у газовому хроматографі відбувається в певній послідовності. За допомогою невеликого скляного шприца (3) вводять пробу з одного кінця довгої вузької хроматографічної колонки (трубка довжиною 0,9—3,0 м і діаметром 0,25—50 мм), через яку йде газ-носії, тобто інертний газ, який проходить через колонку з постійною швидкістю і виносить компоненти проби, що з'являються на виході залежно від часу перебування їх в колонці. Розподіл компонентів газу відбувається за рахунок твердого або рідкого адсорбенту (нерухомої фази), який знаходиться в колонці. Завдяки абсорбції окремих компонентів на активних центрах адсорбенту або їх розчиненню в нерухомій фазі (залежно від фізичних властивостей компонентів суміші) одні з них просуваються швидше, а інші — повільніше, що дає змогу розрізнити їх на виході, використовуючи відповідний детектор. Внаслідок цього отримують хроматограму — зональний розподіл компонентів. На її основі виокремлюють та аналізують окремі речовини проби;

— рідинна хроматографія (метод, ефективний при аналізуванні проб повітря, забрудненого домішками токсичних органічних сполук (поліциклічних ароматичних вуглеводів, пестицидів та ін.) різних концентрацій). Принцип роботи установок рідинної хроматографії аналогічний газовим;

— іонно-рідинна хроматографія (метод визначення мікродомішок, здатних до вступу в реакції органічних і неорганічних сполук). Суть методу, принцип роботи установок тотожні двом попереднім;

— полуменево-йонізаційний метод (за його допомогою визначають сумарну кількість вуглеводнів). Детектування з його застосуванням здійснюють введенням газоподібної проби в полум'я водню, яке знаходиться між

електродами з напругою в кілька сотень вольт. За відсутності домішок виникає дуже мала напруга іонізації ( $10^{-12}$ — $10^{-13}$  А). Унаслідок потрапляння у водневе полум'я газоподібної домішки, яка містить вуглеводні, в полум'ї виникають іони, які прямують до додатного електрода. Напруга іонізації, яка виникає, ( $10^{-7}$ — $10^{-12}$  А) посилюється електрометричним підсилювачем постійного струму і реєструється самопишучим приладом.

Використання полуменево-йонізаційного методу для детектування компонентів проби після їх розподілу з використанням газової хроматографії допомагає розрізнити наявні в пробах повітря вуглеводні і визначити їх кількість. Завдяки полуменево-йонізаційному методу встановлюють тільки сумарну кількість наявних вуглеводнів, однак він не дає змоги розрізнити речовини.

**Мас-спектральний метод аналізу забруднення атмосферного повітря.** Послугуючись ним, здійснюють кількісний та якісний аналізи усіх сполук, які є в пробі. Цей метод полягає в іонізації газоподібної проби шляхом електронного бомбардування, після чого іони піддають дії магнітного поля. Залежно від маси і заряду іона відхилення проходить з різною швидкістю і за різними траєкторіями, що дає змогу визначити всі наявні сполуки та їх концентрації в пробі.

Спектральні методи аналізу забруднення атмосферного повітря. Ці методи найефективніші при дослідженні якісного і кількісного складу забруднення повітря. Їх сутність полягає у визначенні складу та будови речовини за її спектром, який впорядкований за довжиною хвилі електромагнітним випромінюванням. Спектральний аналіз дає змогу встановити елементний, неуклінний і молекулярний склад речовини, її будову (атомно-емісійний спектральний аналіз), визначити концентрації речовини за поглинанням шаром атомної пари елемента монохроматичного резонансного випромінювання (атомно-абсорбційний спектральний аналіз).

Одним з найдоступніших спектральних методів аналізу повітря є колориметрія, яка полягає у вимірюванні послаблення світлового потоку внаслідок вибіркового поглинання світла речовиною у видимій ділянці спектра. Інгредиент, що визначається, переводять у зафарбовану сполуку за допомогою специфічної хімічної реакції, потім визначають інтенсивність кольору розчину. Якщо речовина поглинає у видимій ділянці спектра, термін аналізу зменшується, оскільки зникає необхідність отримання зафарбованого розчину.

Активно використовуються і стрічкові фотоколори-метричні газоаналізатори, в яких взаємодія речовини, що визначається, і реагенту відбувається на паперових, тканинних або полімерних стрічках. Стрічкові аналізатори, порівняно з рідинними, чутливі, простіші в роботі, не вимагають часу на попереднє приготування розчину.

До спектральних методів відноситься також ультрафіолетова (УФ) та інфрачервона (ІЧ) спектроскопія. В УФ-ділянці найчастіше аналізують ароматичні сполуки, неорганічні речовини ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ). Порівняно з колориметрією цей метод чутливий, але недостатньо селективний, оскільки багато органічних з'єднань мають в УФ-ділянці спектра широкі смуги поглинання, які можуть перериватися. Це знижує точність вимірювань, а іноді унеможливує аналіз багатокомпонентних сумішей. Метод ІЧ-спектроскопії забезпечує ідентифікацію і кількісне визначення промислових забруднень органічного та неорганічного походження.

Особливо чутливим щодо визначення невеликих слідів органічних і неорганічних домішок у повітрі є люмінесцентний метод аналізу, який ґрунтується на принципі збудження молекул  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{C}_2\text{H}_2$  випромінюванням з довжиною хвилі, характерною для поглинання цих сполук у видимій та УФ-ділянках спектра. Збуджують флюоресценцію лазерами та високоінтенсивними газорозрядними лампами, а довжину хвилі вимірюють світлофільтрами.

З появою ядерних джерел випромінювання, наділених монохроматичністю, високою спектральною потужністю та напрямком випромінювання, поширилися активні методи зондування атмосфери у горизонтальному напрямку — до декількох десятків кілометрів у видимому, УФ- та ІЧ-діапазоні електромагнітного спектра.

**Електрохімічні методи аналізу забруднення атмосферного повітря.** Широко застосовують ці методи при систематичному контролюванні стану забруднення атмосферного повітря і повітря робочих зон, в лабораторіях АЕС та лабораторіях мережі спостережень Держкомгідромету України.

Найпоширеніші в аналізі атмосферних забруднень кондуктометричні та кулонометричні методи. Сутність кондуктометричного методу полягає у вимірюванні електропровідності аналізованого розчину. Електропровідність розчину забезпечується іонами речовин, здатними дисоціювати в певних умовах, і залежить від концентрації іонів у розчині та їх рухомості. Кондукто-метричний метод не вимагає використання складної апаратури, є високочутливим, швидкодіючим, виконується компактною апаратурою.

Кулонометрія є безеталонним електрохімічним методом порівняно високої точності та чутливості. Вона полягає у визначенні електричного заряду, необхідного для здійснення електрохімічного процесу виділення на електроді або створення в електроліті речовини, за якою аналізують досліджувану пробу.

Широкий спектр методів оцінювання забруднень атмосфери є запорукою того, що можна з високою точністю з'ясувати якісні та кількісні характеристики речовин і сумішей, наявних у повітрі.

## **Тема 7. Методика спостереження при відборі проб атмосферного повітря**

### 7.1. Методи відбору проб атмосферного повітря для лабораторного аналізу

Аспіраційний спосіб відбору проб повітря

Відбір проб повітря способом заповнення посудин обмеженого об'єму

### 7.2. Метеорологічні спостереження при відборі проб повітря

### **7.1. Методи відбору проб атмосферного повітря для лабораторного аналізу**

Одним з основних елементів аналізу якості атмосферного повітря є відбір проб. Важливість його зумовлюється тим, що за неправильного відбору проб результати аналізу втрачають сенс. Проби повітря відбирають аспіраційним способом (пропускаючи повітря через поглинальний прилад з визначеною швидкістю) і способом заповнення посудин обмеженого об'єму. Для дослідження газоподібних домішок придатні обидва способи, а для дослідження аерозольних домішок і пилу — лише аспіраційний.

**Аспіраційний спосіб відбору проб повітря.** У результаті пропускання повітря через поглинальний прилад відбувається концентрування аналізованої речовини в поглинальному середовищі. Для визначення концентрації речовини витрата повітря повинна становити десятки і сотні літрів за хвилину. Проби поділяють на разові (період відбору 20—30 хв.) та середньодобові (не менше 4-разових проб, через однакові проміжки часу протягом доби о 1, 7, 13 та 19 год.). Найкращим способом отримання середньодобових значень є безперервний відбір проб повітря протягом 24 год. Для їх відбору використовують електроаспіратори, пилососи та інші прилади і пристрої, які пропускають повітря, а також прилади, які реєструють його об'єм (реометри, ротаметри та ін.).

На стаціонарних пунктах (лабораторіях типу «ПОСТ») системи відбору проб повітря забезпечують їх разовий відбір для дослідження газових домішок, сажі, пилу та аерозолів. Система відбору проб повітря для аналізу газових домішок і сажі складається з повітропроводу, обладнаного

нагрівальним пристроєм з терморегулятором, розподільного гребінця для підключення поглинальних приладів та двох електроаспіраторів. Система відбору проб повітря для дослідження пилу утворюється з трубки, яка обладнана фільтрами, та гнучкого шланга, котрий підключають до повітропроводу.

За нестаціонарних умов використовують аспірацію повітря за допомогою двигуна внутрішнього згоряння або пирососа, підключеного до стаціонарного джерела зі струмом.

Важливим елементом системи пробовідбірну є поглинальні пристрої, призначені для вбирання газоподібних речовин, аерозолів і пилу.

**Відбір проб повітря способом заповнення посудин обмеженого об'єму.** Використання цього способу зумовлено значною агресивністю хімічних речовин, які вловлюють з повітря поглинальні пристрої. Звичайні скляні ємності найчастіше використовують при відборі проб повітря для визначення оксиду вуглецю та інших газових домішок. Скляний посуд заповнюють аналізованим повітрям шляхом продування через посудину його 10-кратно-го об'єму, після чого посудину закривають; за допомогою вакуумного заповнення (з герметично закритих посудин повітря відкачується, їх відкривають у місці відбору проби і потім знов закривають); способом заміщення попередньо залитої в посудину інертної рідини повітрям (після того, як рідина вилася, посудину закривають).

При відборі разових проб повітря для визначення ді-оксиду сірки використовують прилад Ріхтера і сорбційну трубку; при відборі діоксиду азоту — U-подібну трубку і сорбційну трубку. Під час відбору проб необхідно уникати потрапляння світла на поглинальний прилад. Термін збереження проб, відібраних в И-подібну трубку, становить не більше 3 діб, а в сорбційні трубки — тиждень. За необхідності отримання інформації про наявність у повітрі окремо діоксиду і оксиду азоту між двома поглиначами (U-подібні або сорбційні трубки) встановлюють U-подібну трубку з окиснювачем.

У поглинальний прилад I (рис.3.3) надходить суміш  $\text{NO} + \text{NO}_x$ . Там  $\text{NO}_2$  адсорбується, а  $\text{NO}$  надходить в U-подібну трубку, де за допомогою окислювача переходить в  $\text{NO}_2$ . Регулятор вологості, який використовується в U-подібній трубці, забезпечує довгостроковість та ефективність роботи окислювача, який у процесі роботи змінює колір від жовтого до зеленувато-коричневого, у зв'язку з чим його необхідно своєчасно замінювати.

Оксид вуглецю ( $\text{CO}$ ) відбирають у газові піпетки або гумові камери. Через газову піпетку прокачують 10-кратний об'єм повітря, потім її щільно закривають. У гумові камери повітря відбирають кілька разів протягом 20 хв. Заповнена гумова камера герметизується затискачем.

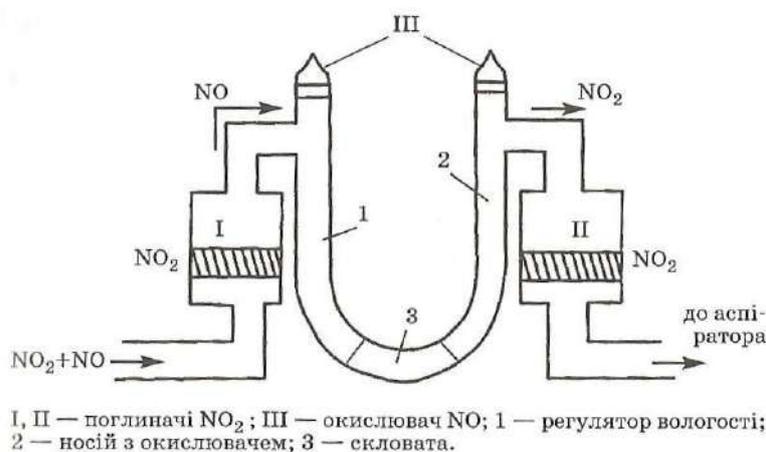


Рис. 3.3. U-подібна трубка

Разові проби пилу відбирають на фільтруючі матеріали. Швидкість його руху в ротаметрі не повинна бути меншою від швидкості вітру в місці відбору проби. Залежно від швидкості вітру і швидкості відбору проби вибирають діаметр насадки.

Характеристики відбору проб основних забруднюючих речовин (період відбору 20 хв.) наведено в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6

Характеристики пробовідбірну основних забруднюючих речовин			
Речовина, що контролюється	Поглинальний прилад	Об'єм поглинального розчину, мл	Швидкість аспірації, л/хв.

Діоксид сірки	Прилад Ріхтера Сорбційна трубка	б 0,1—0,2	4 0,5—2,0
Діоксид азоту	И-подібна трубка Сорбційна трубка	б 0,1—0,2	0,25 0,25
Пил (завислі речовини — спалюють до золотодібного стану)	Фільтр АФА-ХП-18 Фільтр ФПП-15		1—50 1—100

Відбір проб аерозолів проводять за допомогою фільтруючих пристроїв типу « Тайфун ».

Певні особливості має методика відбору проб для визначення вмісту радіоактивних домішок. Проби доводять до необхідного об'єму і на у-спектрометрі визначають йод-131 ( $I^{131}$ ) та інші летючі радіонукліди. Потім проби озолують (спалюють до золотодібного стану) і визначають сумарну  $\beta$ -активність, після чого кожен добову пробу зберігають у спеціальних пакетах. Іноді комплектують пентадні проби — проби, що містять 5 добових проб. Місячні проби формують зсипанням усіх добових проб в окремий пакет. Їх супроводжують відповідною запискою, яка передбачає такі пункти: назва проби; назва пункту відбору; місяць, рік; дні, в які проби не відбиралися; кількість добових проб; об'єм повітря; загальна маса проби.

Охарактеризовані методи відбору проб дають змогу відібрати повітря для лабораторного аналізу за різноманітних умов. Вибір конкретного методу залежить від мети дослідження і якісного складу проби повітря. Правильний відбір проби впливає на достовірність лабораторних визначень концентрації забруднюючої речовини в повітрі.

## 7.2. Метеорологічні спостереження при відборі проб повітря

У зв'язку з тим, що метеорологічні чинники зумовлюють перенесення і розсіювання шкідливих речовин в атмосферному повітрі, відбір проб повітря

повинен супроводжуватися спостереженнями за димовими факелами джерел викидів і такими метеорологічними параметрами, як швидкість і напрям вітру, температура і вологість повітря, атмосферні явища, стан погоди і підстилаючої поверхні. Результати спостережень записують у робочий журнал гідрометео спостерігача, а оброблені результати — у книгу запису спостережень за забрудненням атмосферного повітря і метеорологічними елементами (КЗА-1).

**Спостереження за димовим факелом і станом погоди**, їх здійснюють, беручи під контроль найпотужніше джерело. При цьому фіксують колір і форму факела в місці виходу з джерела. Форму факела фіксують візуально і записують його шифр (1, 2, 3) відповідно до табл. 3.7.

Таблиця 3.7

Шифр і характеристика факела

Шифр	Характеристика факела
1	Факел має нестійкі контури, клуби диму то високо піднімаються, то різко опускаються; спостерігається вдень при позитивному градієнті температури і помірній швидкості вітру
2	Факел піднімається вгору і рівномірно розтікається у всі сторони; частіше спостерігається в літній період; в денний час може спостерігатися при слабкій швидкості вітру
3	Г-подібна форма факела: дим при виході з труби прямує у горизонтальному напрямку або спочатку піднімається вертикально при нульовому або негативному градієнті температури і при штилі

Стан погоди оцінюють візуально за характерними ознаками, вказаними в табл. 3.8. У КЗА-1 вносять відповідні записи і шифри.

Таблиця 3.8

## Характерні ознаки стану погоди

Сіруватий	Стан погоди, атмосферні явища	Характерні ознаки
0	Ясно	Немає хмар або окремі хмари закривають не більше 2/10 неба; сонце не закрите
1	Змінна хмарність	Хмари закривають менше 8/10 неба; сонце час від часу закривається хмарами
2	Імла	Помутніння повітря за рахунок зважених часток пилу, диму, гару. Повітря має синюватий відтінок
3	Серпанок	Слабке помутніння атмосфери за рахунок перенасичення повітря вологою. Повітря має сіруватий відтінок; горизонтальна видимість більша за 1 км
4 5	Дощ Мряка	Опади у вигляді дрібних крапель; їх падіння на землю непомітне для ока
6	Пилова 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 меншій 1 км
9	Похмуро	Небо вкрите хмарами на 8/10 і більше. Сонце не просвічує

Підстилаючу поверхню в радіусі до 100 м від місця спостереження визначають як суха запилена, суха не запилена, волога, мокра, зелена трава, поживкла трава, сніг.

**Вимірювання швидкості і напрямку вітру.** Повітряні маси в атмосфері весь час перебувають у русі, створюючи вітер — рух потоку повітря в горизонтальному напрямку. Виникає він унаслідок нерівномірного розподілу температури і тиску на земній поверхні. Вітер характеризується швидкістю і напрямком, які більшою або меншою мірою коливаються. Ці коливання називають поривчастістю вітру. При швидкостях 5—8 м/с вітер вважають помірним, понад 14 м/с — сильним; 20—30 м/с — штормом, понад 30 м/с — ураганом; різке короткочасне посилення вітру до 20 м/с — шквалом, повне безвітря — штилем.

Зміни швидкості й напрямку вітру фіксують за допомогою метеорологічної станції М-49 (рис. 3.4) (наприклад, в лабораторії типу «ПОСТ»), спеціальних метеорологічних приладів (вітромірів, анемометрів, флюгерів, вимпелів та ін.). Найпростіше метеорологічні параметри вимірювати на станції М-49, яка дає змогу визначати також температуру і вологість повітря.

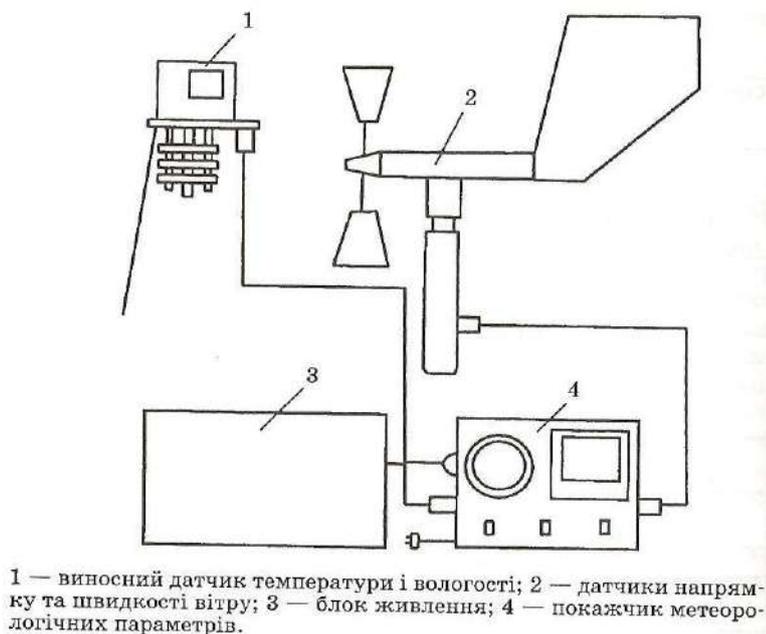


Рис. 3.4. Основні вузли станції М-49

Покажчик метеорологічних параметрів є настільним приладом, на передній панелі якого розміщені: показчик відносної вологості і напрямку вітру, показчик швидкості вітру і температури; ручки управління (живлення

(6 В, 220 В), швидкість вітру (у), установка напруги контролю, напрямок вітру (ер), вологість (%), контроль (К) температури (ТВ і ТН)).

Швидкість (м/с) і напрямок (градуси, румби) вітру вимірюють на початку, в середині і наприкінці терміну спостережень. Щоразу реєструють по десять значень показників приладу через 10 с, затративши на кожний відлік параметра, що вимірюється, 100 с. Потім визначається середнє значення відліку (10 вимірювань кожного відліку підсумовують і ділять на 10). Після цього підсумовують середні значення трьох відліків і ділять на 3. Отриманий показник засвідчує середню швидкість вітру і його середній напрямок у період проведення спостережень (тривалістю 20 хв.).

За відсутності вітру в журналі спостережень у графі «напрямок» пишуть «штиль», а «швидкість» — «0».

Швидкість вітру вимірюють вітроміром або ручним анемометром. Їх та інші метеорологічні і пробовідбірні прилади, пристрої закріплюють на тринозі на висоті 2 м від землі. Для визначення швидкості вітру анемометри включають на 10 хв. Початкові й кінцеві значення записують у журнал спостережень КЗА-1. Різницю відліків ділять на 600 і за графіком або таблицею, що додається до приладу, визначають швидкість вітру з точністю до 0,1 м/с (при використанні таблиць така точність досягається за допомогою методу інтерполяції). Напрямок вітру визначають протягом 2 хв. по 16 румбах — напрямках до точок видимого горизонту.

Результати вимірювань, отримані за допомогою станції М-49, вносять в журнал КЗА-1 з точністю щодо швидкості вітру 0,5 м/с, а щодо напрямку — 1°.

**Вимірювання вологості і температури повітря.** Вологість повітря (вміст в повітрі водяної пари) є важливою характеристикою погоди і клімату. Її вимірюють гігрометрами і психрометрами, температуру — термометрами. Вологість і температуру повітря визначають в лабораторіях типу «ПОСТ» з використанням метеостанції М-49. Для цього за 10 хв. до початку спостережень датчики температури і вологості за допомогою висувної

штанги виводять з павільйону «ПОСТ» на відстань 1,5 м (рукоятка штанги відводиться повністю). Для вимірювання температури перемикач переводять в положення «К» (контроль). За допомогою перемикача стрілка амперметра плавно встановлюється на праву крайню риску шкали, потім перемикач переводять в положення «ТН» або «ТВ» відповідно для плюсових або мінусових температур, що вимірюються, і записують показники верхньої шкали з точністю до  $0,5^{\circ}\text{C}$ .

Для вимірювання вологості перемикач переводять в положення «%» (вологість). За показниками внутрішньої шкали покажчика записують дані з точністю до 1 %.

Вимірювання вологості і температури в лабораторії типу «ПОСТ», яка обладнана станцією М-49, проводять тричі наприкінці спостережень. Суму трьох вимірювань ділять на три і вносять поправку на температуру, взятую з паспорту станції. Результати вимірювань записують в журнал спостережень КЗА-1.

За відсутності станції М-49 або несправності блоку температури і вологості можна використати аспірацій-ний психрометр. Перед проведенням вимірювань його горизонтально підвішують на триногу на висоті 1,5 м від землі подалі від будь-яких поверхонь (стіна, дерево, огорожа і т. п.). Підготовлений до спостережень психрометр потрібно винести з приміщення взимку за 30 хв., а влітку — за 15 хв. до початку спостережень.

Вимірювання психрометром проводять протягом 20 хв. тричі: на 10-й, на 12-й і на 14-й хвилини. За 4 хв. до першого вимірювання вмикають вентилятор психрометра. Після першого вимірювання необхідно знову увімкнути вентилятор. Перед тим (взимку за 30 хв., влітку за 4 хв. до початку спостережень) правий резервуар термометра, обгорнений батистом, змочують дистильованою водою. Для цього беруть гумову грушу з піпеткою, заздалегідь наповнену дистильованою водою, легким її стискуванням встановлюють рівень води в піпетці не вище ніж 1

см від її кінчика, і втримують його, закріпивши затискач на трубці між піпеткою і грушою.

Після цього кінчик піпетки вводять повністю у внутрішню трубку захисту правого термометра і змочують батист у його резервуарі. Через деякий час знімають затискач і прибирають надлишки води з внутрішньої трубки. Після цього піпетку прибирають. До значень температури, які показані сухим (лівим) і змоченим (правим) термометрами, вносять поправки з доданого до кожного термометра перевірного свідоцтва, знаходять середні значення і записують в книгу спостережень. За показниками сухого термометра визначають температуру повітря. За даними психрометричних таблиць розраховують значення абсолютної і відносної вологості повітря. Для визначення відносної вологості повітря за показниками психрометра можна використати психрометричний графік, особливо якщо не потрібне значення абсолютної вологості. Під час спостережень узимку необхідно зважати на наявність на батисті переохолодженої води або льоду.

Для зміни батисту (не рідше одного разу на 10 діб) відкручують трубку захисту правого резервуара термометра, виймають металевий екран, знімають з резервуара термометра старий батист, обмивають резервуар термометра дистильованою водою. Змочують новий шматочок батисту і щільно, без складок, обгортають ним резервуар термометра, але так, щоб вище резервуара було 3—4 мм батисту, а подвійний його шар покривав не більше 1/4 поверхні резервуара. Батист прив'язують ниткою спочатку вгорі, а потім внизу. Знизу батист відрізають, щоб він спускався нижче резервуара термометра не більше ніж на 2—3 мм.

**Вимірювання атмосферного тиску.** Вимірюють атмосферний гідростатичний тиск (тиск, що діє на предмети, які знаходяться в атмосфері, та на земну поверхню) за допомогою барометра в паскалях (Па). За нормальний атмосферний тиск прийнято 1013,25 гПа (760 мм рт.ст.). Приземний атмосферний тиск змінюється у просторі та у часі. Особливо сильні зміни спостерігаються при виникненні антициклонів — розвитку і

руйнуванні повільно рухомих областей високого тиску і циклонів — відносно величезних вихорів зі зниженим тиском, що швидко переміщуються. Сезонні і добові зміни атмосферного тиску пов'язані з добовими змінами температури.

Тиск атмосферного повітря на мережі спостережень і контролю забруднення атмосферного повітря вимірюють за допомогою спеціального барометра моделі МД-49-А. Для уникнення помилок внаслідок тертя перед кожним відліком по шкалі необхідно вмикати вібратор на 5—10 хв.; а внаслідок паралакса (видимої зміни положення предмета в результаті переміщення ока спостерігача) — відлік здійснювати в момент повного поєднання в одній площині показника стрілки і його відображення на дзеркальній поверхні до кільця шкали. Точність відліку становить до  $\pm 270$  ГПа. У кожний вимір за барометром повинні бути введені додаткові (шкалова і температурна) поправки з паспорта приладу.

Дані про тиск на момент спостережень можна отримати також на найближчій метеостанції.

Послідовність основних операцій, рекомендованих при відборі разових проб повітря, наведена у табл. 3.9.

Таблиця 3.9

Послідовність операцій при відборі разових проб повітря

Послідовність операцій	Час, що планується, і строки, хв.		
	До початку відбору проб, хв.	Під час відбору проб, хв.	Після відбору проб, хв.
1	2	3	4
Встановити штатив з необхідними приладами (для метеорологічних спостережень і відбору проб повітря поза лабораторією типу «ПОСТ»)	За 30—15		

Витягнути штангу з приладами для визначення вологості і температури повітря за межі «ПОСТу»	За 10		
Оцінити стан погоди і дати характеристику факела	За 5—10		
Провести попереднє визначення швидкості і напрямку вітру	За 5		
Вибрати насадку до труби; встановити фільтри, інші поглинальні прилади	За 1—5		
Перевірити і ввімкнути пирососи, аспіратори	За 1		
Провести відбір проб повітря		1—20	
Виміряти температуру повітря перед аспіратором	За 1—2	На 10-й	Через 1—2
Провести вимірювання: швидкості і напрямку вітру вологості і температури по М-49 за психрометром тиску		На 1—2-й На 11-й На 18-й На 10-й На 12-й На 14-й На 18— 20-й На 5-й	
Вимкнути пиросос і аспіратори Вимкнути поглинальні прилади, герметизувати їх, перекласти в ящик для транспортування в хімлабораторію Закрити штуцери гребінок			На 1-й На 5-й На 2-й На 5—40-й На 40—70-й

заглушками Прибрати всі прилади і підготуватися до спостережень в наступний термін Оформити записи спостережень і заповнити книгу КЗА-1			
---	--	--	--

Результати спостережень записують в робочий журнал гідрометео спостерігача, в якому повинні фіксуватися всі відхилення від нормативних й інструктивних вимог (не вмикається підігрівання повітря в зимовий час, нестійка робота ротаметра (сильно тремтить поплавки) та ін.). Про несправності повідомляють керівництво, але до їх усунення записи ведуть при кожному спостереженні. У робочому журналі гідрометео спостерігача перед кожним новим спостереженням роблять відмітки «відвезені» або «не відвезені» щодо поглинаючих приладів (в лабораторію для хімічного аналізу).

Записи в робочих журналах гідрометео спостерігача дають змогу підвищити ефективність контролювання якості результатів спостережень стану атмосферного повітря через відбраковування сумнівних результатів з низки даних; сприяють підвищенню відповідальності служб експлуатації і ремонту обладнання, наявного на постах спостережень.

## **Тема 8. Автоматизовані системи спостереження і контролю за атмосферним повітрям**

### 8.1 Газоаналізатори та їх характеристика

#### 8.2 Газоаналізатор ГКП-1

#### 8.3 Газоаналізатор 667ФФ

#### 8.4 Газоаналізатор ГМК-3

#### 8.5 Газоаналізатор 645-ХЛ

Автоматизовані системи спостереження і контролю атмосферного повітря (АСКНС-АГ) або (АНКОС-АГ) призначені для постійного контролю за змінними у часі та просторі характеристиками забруднення і метеорологічними параметрами повітряного простору. Залежно від характеру та об'єму робіт їх поділяють на такі типи:

1) промислові системи. Вони контролюють викиди промислових підприємств, ступінь забруднення промислових майданчиків і прилеглих до них територій. Оснащені датчиками для фіксування характерних інгредієнтів викидів підприємств, а також метеодатчиками, які розміщують з урахуванням шкідливості викидів, рози вітрів, особливостей розміщення житлових масивів. За звичай, такі системи функціонують у структурі підприємств;

2) міські системи. їх призначено для контролювання рівня забруднення повітря міста викидами підприємств, транспорту, для вимірювання метеопараметрів. Завдяки їх функціонуванню встановлюють розмір забруднення територій з урахуванням сезону року і кліматичних факторів, параметри і частку кожного джерела забруднення, прогнозують небезпечність ситуації. Системи формуються з двох рівнів. На I рівні здійснюють вимірювання концентрацій забруднюючих речовин і деяких метеопараметрів, перетворення виміряних значень фізичних величин, реєстрацію цих значень на машинних носіях, формування повідомлень і

збереження інформації. На цьому рівні типові автоматичні станції визначають основні забруднювачі: CO — оксид вуглецю ( $0 — 160 \text{ мг/м}^3$ );  $\text{SO}_2$  — діоксиду сірки ( $0 — 5 \text{ мг/м}^3$ );  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}$  та суму оксидів азоту ( $0 — 7,5 \text{ мг/м}^3$ ); суму вуглеводнів за винятком метану ( $0 — 45 \text{ мг/м}^3$ );  $\text{O}_3$  — озон ( $0 — 0,15 \text{ мг/м}^3$ ); метеопараметри: швидкість, напрямок вітру, температуру повітря. Завершується перший рівень передачею даних в центр обробки інформації.

На II рівень інформація надходить від пересувних постів, стаціонарних газоаналітичних лабораторій. На цьому рівні обробляють результати, прогнозують небезпечні ситуації, розраховують необхідні результати і передають споживачам.

Міська система автоматичного спостереження і центр оброблення даних забезпечують систематичне вимірювання заданих параметрів, автоматичний збір інформації з автоматизованих станцій, збирання інформації від неавтоматизованих ланок спостереження, оперативне оцінювання ситуації, короткостроковий прогноз.

Аналіз даних про концентрацію домішок триває не менше 20—30 хв., що відповідає терміну відбору проб в поглинальні прилади. Видавання автоматизованою системою інформації може тривати від кількох хвилин до кількох годин.

У міську систему включені промислові автоматизовані підсистеми;

3) регіональні системи. Переважно вони не мають своїх контрольно-замірювальних станцій, а отримують інформацію з міських і промислових систем. Призначені для статистичної обробки і аналізу даних про забруднення навколишнього природного середовища на значних територіях, на базі яких проводять дослідження та прогнозування, розробляють науково обґрунтовані рекомендації щодо його охорони;

4) загальнодержавні системи. Вони отримують відомості про забруднення та стан атмосферного повітря від регіональних систем, супутників Землі та космічних орбітальних станцій;

5) глобальні системи. їх використовують для досліджень атмосферних змін на основі міжнародних спостережень.

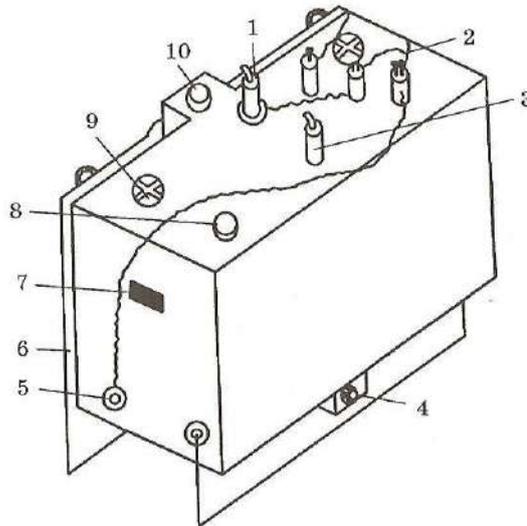
Автоматизовані системи спостереження і контролювання атмосферного повітря різних типів обов'язково оснащені автоматичними системами відбору проб та приладами автоматичного визначення забруднюючих речовин (газоаналізаторами).

### **8.1 Газоаналізатори та їх характеристика.**

На стаціонарних пунктах спостереження за забрудненням атмосферного повітря (ПСЗ) найчастіше використовують газоаналізатори (прилади для визначення якісного та кількісного складу газової суміші), які дають змогу в автоматичному режимі визначати і записувати на діаграмну стрічку концентрації певних речовин протягом доби. Найчастіше використовують газоаналізатори різних типів для визначення діоксиду сірки, оксиду вуглецю, оксидів азоту, вуглеводнів і озону.

**Газоаналізатор ГКП-1.** Автоматичний кулонополя-рографічний газоаналізатор ГКП-1 призначений для виявлення в повітрі концентрації діоксиду сірки. Основним його елементом є датчик, що містить такі вузли:

- систему забору й очищення повітря від пилу (забірний пристрій на корпусі датчика, протипиловий фільтр ФГ-6 на каретці, дві з'єднувальні фторопластові трубки);
- електрохімічну чарунку з оргскла (рис. 3.5);
- систему підтримки постійної витрати (( $50 \pm 4$ ) л/год або ( $0,83 \pm 0,07$ ) л/хв.), що забезпечує прокачування повітря через електрохімічну чарунку;
- систему термостатування, що забезпечує підтримку всередині датчика постійної температури 18—20°C при роботі в зимових умовах.



1 — вхідний штуцер; 2 — електроди; 3 — штуцер для виходу повітря; 4 — відвід для зливу кислоти; 5 — порівнювальні електроди; 6 — задня стінка чарунки; 7 — верхня мітка рівня кислоти; 8 — камера для запасного електроліту; 9 — вертикальний канал для заливання кислоти (3 % або 5 % водний розчин  $H_2SO_4$ ) та засипання електродної суміші (шпирозит с вугіллям); 10 — канал для засипання йоду (фракція 2—3 мм).

Рис. 3.5. Електрохімічна чарунка кулонополярографічного газоаналізатора

Перед початком роботи необхідно перевірити справність газоаналізатора. Після увімкнення його в мережу перемикач шкал встановлюють на діапазоні 0—10 мг/м<sup>3</sup>. При цьому можливі дві неробочі ситуації: зашкалювання стрілки потенціометра ліворуч, праворуч або встановлення на значеннях, близьких до крайніх праворуч (20—30 поділок). При зашкалюванні стрілки ліворуч необхідно поміняти місцями проводи робочого сигналу на затискачах чарунки, праворуч (датчик недавно заправлений реактивами) — залишити працювати прилад на 24—36 год., встановивши перемикач в положення «КЗ». Потім слід перевірити значення витрат повітря, фонового струму, герметичність датчика, достовірність значень газоаналізатора, систему термостатування (у зимовий період).

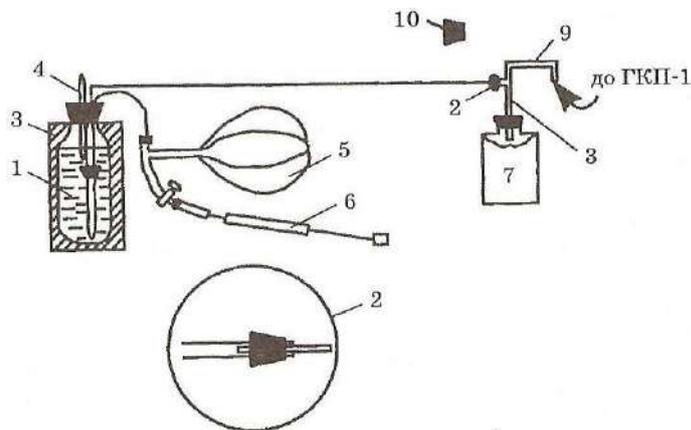
При перевірці обсягу витрати повітря і герметичності датчика користуються заздалегідь відкаліброваним ротаметром, який під'єднують до вхідного штуцера на верхній кришці датчика. Якщо витрата нижче за норму, ротаметр приєднують до вихідного штуцера чарунки. Нормативна витрата повітря на вихідному штуцері і занижена на вхідному свідчать про порушення герметичності внаслідок неповного з'єднання каретки і корпусу датчика. Якщо на вихідному штуцері також виявлено занижену витрату

повітря, потрібно приєднати ротаметр до вихідного штуцера тонкого очищення, від'єднавши повітровід. Нормативна витрата повітря свідчить про негерметичність системи «електрохімічна чарунка — фільтр грубого очищення», зумовлену посиленням опору чарунки внаслідок забруднення отвору вимірювального електрода або фільтра грубого очищення при відпрацюванні латунної стружки й осаду солі на ній. Ці дефекти можна усунути, промивши електрод етиловим спиртом і дистильованою водою та перезарядивши фільтр грубого очищення. Якщо витрата повітря виявилася заниженою і на вході фільтра тонкого очищення, слід перевірити, чи не забитий фільтр, чи немає тріщин в корпусі та ін. Не встановивши причин візуально, витрату повітря регулюють за допомогою регулювального гвинта «Р» на корпусі СРГ-5.

Контроль «нуля» приладу (значення фонового струму) є важливим елементом експлуатації ГКП-1. Фонівий струм справного приладу по шкалі 0—1 мг/м<sup>3</sup> повинен перебувати в інтервалі 3—30 поділок. При перевищенні 30 поділок (електрохімічна чарунка сильно забруднена) чарунку промивають і перезаряджають. Потім знов встановлюють «нуль».

Іноді внаслідок тривалої і безперервної роботи ГКП-1 чутливість електрохімічної чарунки погіршується, внаслідок чого занижуються значення концентрації ді-оксиду сірки в атмосферному повітрі. У цьому разі для перевірки справності приладу використовують дозатор діоксиду сірки (рис. 3.6), порівнюючи покази газоаналізатора ГКП-1 з показами контрольного приладу або з результатами хімічного аналізу.

Підключивши за допомогою з'єднувальної трубки 9 дозатор до датчика ГКП-1, визначають «нуль» приладу (спочатку це роблять при закритому заглушкою відводі трійника, а потім замість заглушки в газозмішувач вводить вихідний капіляр дозатора і через 15—20 хв. встановлюють покази. Абсолютне значення концентрації визначають шляхом обчислення нуля. Дозатор попередньо градуують або контрольним приладом, або хімічним методом.



1 — дифузійна чарунка (пробірка діаметром 20—30 мм, довжиною 100—200 мм, заповнена еквімолекулярною сумішшю кристалічних сульфїту натрію й щавлевої кислоти або насиченим водним розчином діоксиду сірки); 2 — дозатор — вихідний скляний капіляр, що вводять у трійник під час подачі діоксиду сірки при перевірці приладу (дозатор забезпечує витрату повітря 5 мл/хв.); 3 — термостат; 4 — термометр; 5 — джерело стиснутого повітря (камера гумова); 6 — ручний насос; 7 — фільтр; 8 — газозмішуюча лінія; 9 — з'єднувальна трубка; 10 — заглушка, що встановлюється замість дозатора 2 після перевірки приладу.

Рис. 3.6. Дозатор діоксиду сірки

Для градування дозатора хімічним методом (турбодиметричним) готують 5—7 пробірок з 5 мл поглинального розчину (пероксид водню або хлорат калію) в кожній. Капіляр від дозатора занурюють до самого дна в пробірку на 30—50 хв. У пробірку набирають 25—30 мкг діоксиду сірки. Відібрані проби аналізують і розраховують середнє значення оптичної щільності. Розбіжність отриманих значень концентрації в 5—7 пробірках не повинна перевищувати  $\pm 15\%$ . За градуйованим графіком знаходять середню кількість діоксиду сірки в пробі (м ісг) і визначають концентрацію в мкг/л або мг/м<sup>3</sup> за формулою:

$$C = y / (0,83 \cdot t), \quad (3.2)$$

Де  $y$  — кількість газу, мкг;  $t$  — час відбору проби, хв.; 0,83 л/хв. — витрата повітря газоаналізатором.

Покази газоаналізатора, що перевіряється, не повинні бути нижчі від отриманих хімічним методом, в іншому разі електрохімічну чарунку необхідно перезарядити. Перед перевіркою дозатор повинен бути увімкнений і працювати не менше 5—6 год. за безперервного пропуску повітря, тобто в холостому режимі відповідно до регламенту.

При експлуатації газоаналізатора ГКП-1 необхідно своєчасно проводити профілактичні роботи. Для цього КОЖНІ 2—3 дні оглядають його ззовні,

контролюють нульову лінію, корегують час просування стрічки. Один раз на тиждень дозоправляють чарунки електролітом, досипають суміш піролюзита з вугіллям, перевіряють Витрати повітря і правильність показників. Щомісяця, її влітку двічі на місяць, здійснюють:

- промивання допоміжних електродів і засипання 0ВІЖОЇ суміші. Йод засипають маленькими порціями через спеціальний канал доти, поки його шар не торкнеться нижньої поверхні електрода, а дистильовану воду доливають в камеру із запасним електродом до верхньої помітки. Оскільки після цього фоновий струм може зрости, перевіряють нульове значення приладу. Якщо воно більше **20 малих поділок шкали «0—1»**, прилад вмикають вхолосту на кілька годин до зменшення нульового значення (перемикач поставити в положення «КЗ»). Після установки постійної нульової лінії необхідно перевірити чутливість чарунки за допомогою дозатора;
- повне перезарядження чарунки і перевірка її фонового струму, перезарядження фільтра грубого очищення, профілактичний ремонт потенціометра.

Крім того, один раз у квартал перезаряджають фільтр тонкого очищення і промивають зовнішні і внутрішні забірні лінії розчином будь-якого синтетичного миючого засобу, гарячою водою, спиртом, холодною водою.

Концентрації діоксиду сірки, що вимірюють за допомогою ГКП-1, записують на стандартній спеціальній стрічці самописця. Для діапазону вимірювань 0—10 мг/м<sup>3</sup> ціна поділки на стрічці дорівнює 0,01 мг/м<sup>3</sup>, для діапазону 10—100 мг/м — 0,1 мг/м<sup>3</sup>.

Для того щоб обробити стрічку самописця, її треба відрізати. На ній повинні бути зафіксовані: найменування міста, номер поста спостережень, рік, місяць, число. Ці дані записуються у сітки, які вказують початок доби, між ординатами в 24 або 01 год. Операції по обробці стрічки самописця і форма заповнення журналу аналогічні до таких процедур для ГМК-3.

Метрологічне обслуговування ГКП-1 здійснюється відповідно до вимог «Тимчасової інструкції по організації обслуговування газоаналізатора ГКП-1 на мережі спостережень Держкомгідромету».

## 8.2 Газоаналізатор 667ФФ.

Автоматичний газоаналізатор 667ФФ призначений для забезпечення інструментального контролю за концентрацією діоксиду сірки. Принципом його роботи є флюоресцентний метод, суть якого полягає в реєстрації флюоресцентного випромінювання молекул діоксиду сірки, яке виникає під дією ультрафіолетового випромінювання. Збудження молекул діоксиду сірки відбувається в спектральній області 220—240 нм, яка виділяється за допомогою первинного світлофільтра із спектра випромінювання імпульсної ксенонової лампи ІСК 20-1. У спектральній області 220—240 нм молекули води й оксидів азоту не впливають на флюоресценцію. Процес збудження описується формулою:



де  $h$  — постійна Планка,  $\nu_1$  — частота коливань збуджуючого випромінювання.

Збуджена молекула переходить в основний стан після випромінювання кванта світла:



де  $\nu_2$  — частота коливань випромінювання при флюоресценції в діапазоні довжини хвиль 200—400 нм. Інтенсивність випромінювання пропорційна концентрації діоксиду сірки.

Реєструють флюоресцентне випромінювання молекул діоксиду сірки за допомогою фотоелектронного помножувача (ФЕД) у спектральній області 260—370 нм, що виділяється повторним світлофільтром. Для зменшення впливу засвічування ФЕД збуджуючим випромінюванням, а отже, зменшення адитивної похибки реєстрація флюоресценції здійснюється під кутом  $90^\circ$  до напрямку збуджуючого випромінювання. Повну компенсацію

фонового випромінювання ФЕД забезпечує циклічний режим роботи газоаналізатора. Періодично (через 30 с) підпалюють лампи ІСК 20—1. При відсутності підпалу реєструють тільки фоновий сигнал, який виникає за рахунок темного струму ФЕД; під час підпалу реєструють фоновий сигнал ФЕД плюс сигнал флюоресценції. Різниця сигналів дає інформацію, вільну від похибки, яка може бути спричинена темновим струмом ФЕД.

Градуюють газоаналізатор за допомогою вбудованого мікродозатора на основі термостатної ампули з рідким діоксидом сірки (градуваний газ) і атмосферного повітря, очищеного від діоксиду сірки за допомогою спеціального фільтра (нульовий газ).

Допоміжним, але необхідним, вузлом газоаналізатора є осушувач газової проби. Волога, що знаходиться в повітрі, спричиняє часткове гасіння флюоресценції, що зумовлює зниження чутливості приладу, а отже, збільшення основної приведенної похибки. Осушення газової суміші відбувається в дифузійному осушувачі.

Для забезпечення функціонування дифузійного осушувача і створення необхідної витрати проби, що проходить через реакційну камеру, в газових трактах блоку аналізу розрідження становить до 400 гПа. Постійне розрідження підтримують за допомогою регулювальника тиску.

Газоаналізатор 667ФФ01 вимірює масову концентрацію діоксиду сірки в діапазонах: 0—0,5; 0—1,5; 0—5,0 мг/м<sup>3</sup> (допустима основна похибка приладу не перевищує ±20 %).

Вимоги до експлуатації газоаналізатора й обробки результатів вимірювань викладені в «Методичних вказівках експлуатації автоматичних газоаналізаторів діоксиду сірки на мережі Держкомгідромету РД 52.04—138—87».

### **8.3 Газоаналізатор ГМК-3.**

Автоматичний оптико-акустичний газоаналізатор ГМК-3 (рис.3.7) призначений для визначення в повітрі концентрації оксиду вуглецю.

Оптико-акустичний метод вимірювання оксиду вуглецю ґрунтується на фізичному принципі поглинання випромінювання інфрачервоного діапазону хвиль з центром смуги поглинання 4,7 мкм приймачем—замкнутою камерою, заповненою сумішшю оксиду вуглецю з аргоном. При поглинанні випромінювання оксиду вуглецю в приймачі виникають пульсації температури і тиску, які сприймаються мікрофоном і перетворюються на електричні сигнали. Пульсації тиску виникають внаслідок модуляції випромінювання механічним об'єктором. При цьому амплітуда коливань пропорційна вмісту оксиду вуглецю в газовій суміші, що аналізується.

Коефіцієнт поглинання  $\epsilon$  визначається за формулою:

$$\epsilon = \epsilon_0 \cdot (P/P_0)^m (T_0/T)^n \quad (3.1)$$

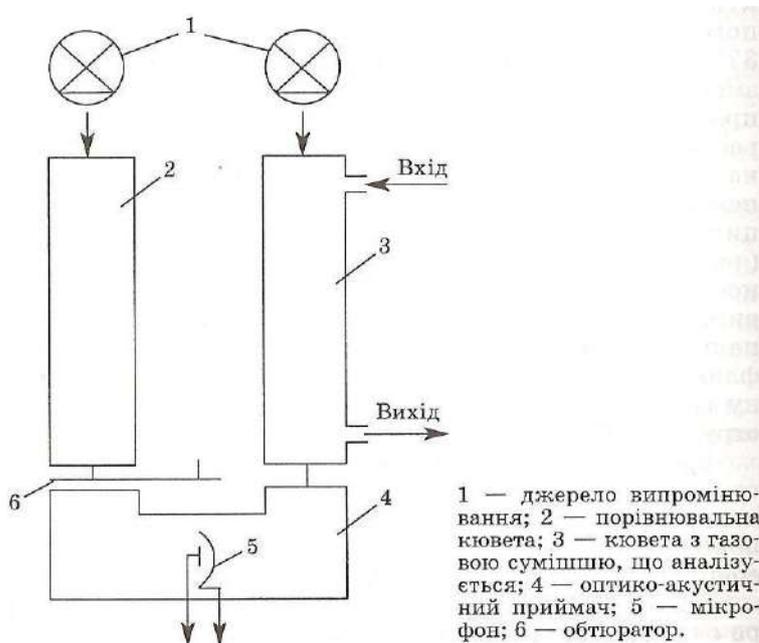


Рис. 3.7. Принципова схема оптико-акустичного газоаналізатора

де  $P$  і  $T$  — тиск і температура;  $m$ ,  $n$  — коефіцієнти, що залежать від умов вимірювання і газу, що аналізується;  $T_0$ ,  $P_0$  і  $\epsilon_0$  — температура, тиск і коефіцієнт поглинання за нормальних умов.

Оскільки коефіцієнт поглинання залежить від тиску і температури, то для зменшення ймовірності помилок, зумовлених впливом температури, внутрішній об'єм газоаналізатора термостатують. На результати вимірювань впливають також діоксид вуглецю (вуглекислий газ) і пари води, оскільки їх спектри поглинання перекривають спектри поглинання оксиду вуглецю. З

газової суміші вологу видаляють за допомогою пристрою підготовки проб (рис. 3.8).

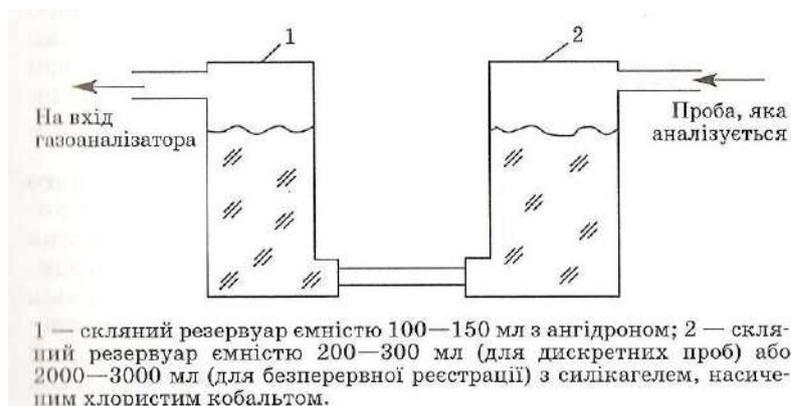


Рис. 3.8 Пристрій підготовки проб

Перед початком вимірювань необхідно встановити системи осушування повітря, що досліджується, і виставити нульові значення; перевірити вплив пристроїв підготовки проб і каталізатора на покази газоаналізатора.

Для отримання нульової газової суміші замість продування азотом іноді використовують фільтруючі коробки від спеціальних протигазів (типу «СО» або «М»), заповнені гопкалитом (гопкалитові патрони), які встановлюють між фільтрами 1 і 2 на період перевірки нульового значення. Підключають пристрої підготовки проб і гопкалитові патрони за допомогою поліхлорвінілової трубки (якомога коротшої).

Необхідною процедурою є перевірка герметичності газових систем. Для цього вихід системи, що перевіряється, закривають заглушкою, до входу підключають манометр і балон з азотом. У системі створюють тиск приблизно 29,4 кПа. Якщо протягом 30 хв. перепад тиску не перевищує 0,49 кПа, то система герметична, в іншому разі вона вважається не герметичною. За таких обставин необхідно знайти за допомогою мильного розчину місце витіку газу й усунути розгерметизацію стиків системи.

Для перевірки впливу пристроїв підготовки і каталізатора на покази газоаналізатора слід після прогрівання подати на його вхідний отвір нульову суміш і встановити на реєструючому приладі нульове значення; за наявності каталізатора перекрити порівняльну кювету, подати на вхід газоаналізатора

контрольну суміш оксиду вуглецю (за ТУ 6—21—31—78) з балона і зняти покази  $I_{УХ}$ , відтак відкрити порівняльну кювету і через 5 хв. зняти покази  $I_{У''_2}$ . Якщо різниця цих показів ( $I^{\wedge}-I^{\wedge}$ ) перевищує половину межі основної похибки газоаналізатора ( $\pm 2 \text{ мг/м}^3$ ), слід провести регламентні роботи з каталізатором.

З метою контролювання впливу повітрязаборного тракту на покази газоаналізатора необхідно подати по чергово контрольну суміш з оксидом вуглецю з балона на вхід газоаналізатора і на вхід повітрязаборного тракту з пристроєм пробопідготовки. Якщо різниця показів перевищує половину межі допустимої основної приведенної похибки газоаналізатора, промивають газовий тракт, перевіряють герметизацію системи або вдаються до інших заходів щодо зниження різниці показів ( $I^{\wedge}-I^{\wedge}$ ).

Для визначення нестабільності напруги джерела живлення (220 В) протягом тижня по три рази на добу (всього 21 вимірювання) за допомогою вольтметра вимірюють рівень напруги в мережі. Якщо її зміни перевищують встановлені значення ( $220 \pm 22/33\text{В}$ ), то необхідно встановити стабілізатор напруги.

Газоаналізатор ГМК-3 можна використовувати для аналізування дискретних (разових) проб повітря і для безперервної реєстрації рівня забруднення атмосферного повітря оксидом вуглецю (діапазон його вимірюваних концентрацій:  $0\text{—}40 \text{ мг/м}^3 (\pm 10\%)$ ;  $0\text{—}80 \text{ мг/м}^3 (\pm 5\%)$ ) в районі розташування лабораторії «ПОСТ», за умови, що температура навколишнього середовища для датчика приладу становить  $10\text{—}35^\circ\text{C}$ , вміст вологи в аналізованому повітрі —  $1 \text{ г/м}^3$ , вміст механічних домішок —  $1 \text{ г/м}^3$ . Аналізують дискретні проби повітря у такій послідовності:

- 1) приєднання до робочої кювети пристрою пробо підготовки, перекриття (з метою зменшення об'єму проби) порівняльної кювети;
- 2) продування газоаналізатора азотом (з балона) або повітрям (через пристрій) з метою отримання нульової газової суміші;

- 3) встановлення за допомогою ручки «Встановлення нуля» стрілки реєструючого приладу на поділку 1—2 мг/м<sup>3</sup>. Це значення приймають за нульове;
- 4) приєднання пробовідбірника з пробою, що аналізується (наприклад, з камерою, яка містить приблизно 1,5 л повітря, що аналізується);
- 5) пропущення аналізованої газової суміші протягом 3—4 хв. через газоаналізатор, проведення вимірювання;
- 6) від'єднання пробовідбірника, продування робочої кювети азотом (з балона) або повітрям, заздалегідь пропущеним через пристрій отримання нульової газової суміші;
- 7) підключення наступного пробовідбірника після повернення стрілки вимірювального приладу у вихідне нульове положення;
- 8) фіксування номера проби, місця (номер поста), дати і часу її відбору, концентрації оксиду вуглецю в пробі на діаграмній стрічці (праворуч від лінії вимірної концентрації);
- 9) розрахування концентрації домішки множенням ціни поділки шкали на кількість поділок. Результат заокруглюють до десятих мг/м<sup>3</sup> і записують на стрічці самописця. Ціну поділки визначають за даними останнього калібрування приладу. Наприклад, при продуванні газоаналізатора перетворювальною газовою сумішшю концентрацією 37 мг/м<sup>3</sup> відхилення пера самописця становило 90 поділок. Звідси ціна поділки становить:  $37: 90=0,41$  мг/м<sup>3</sup>.

Під час аналізу дискретних проб атмосферного повітря необхідно дотримуватися таких рекомендацій:

- вимикати збудник витрати при продуванні робочої кювети азотом;
- продувати порівняльну кювету азотом перед початком вимірювань (але не рідше одного разу на добу);
- якщо наступні вимірювання планується провести раніше ніж через 24 год., після аналізу проб повітря не вимикати прилад з мережі, оскільки час його нагрівання перед аналізом становить не менше 3 год.;

– замкнути вихід системи із входом пристрою пробопідготовки, а стрічкопротяжний механізм вимкнути, якщо прилад залишився увімкнутим.

За безперервної роботи газоаналізатора (найтефективніший і найдоцільніший режим) на його діаграмній стрічці записують назву газу, що вимірюється, вказують номер поста, його місцезнаходження, тип і заводський номер приладу, швидкість протягування стрічки, дату і час встановлення стрічки. Під час регламентних робіт на стрічці самописця роблять відмітки про їх початок і закінчення, записують дані перевірки і настройки нульового значення і чутливості, зауваження до роботи приладу. Ці дані дублюють у журналі спостережень, в який заносять також відомості про перелік виконаних при відвідуванні поста робіт.

Обробляють результати безперервної реєстрації концентрації оксиду вуглецю на стаціонарних постах у такій послідовності: проведення лінії нуля; розмітка часу; визначення концентрацій, усереднених за 20 хв.; визначення максимального значення концентрації; визначення часу існування концентрацій вище за 1,5 і 10ГДК.

При проведенні лінії нуля з'єднують дві найближчі нульові помітки. Якщо лінія концентрації перетинається з лінією нуля, то покази, які лежать нижче лінії нуля, вибраковуюють. При обробленні стрічок потрібно відняти нульові значення. Якщо відмітки часу збігаються з відмітками на стрічці, кожний часовий інтервал буде відповідати відстані на стрічці в сантиметрах після розподілу добового запису на стрічці на 24 частини. Середні значення концентрації оксиду вуглецю (за 20 хв.) обчислюють як середнє арифметичне з  $n$  даних. Максимальне значення концентрації оксиду вуглецю вибирають з 20-хвилинних інтервалів, записують на стрічці і підкреслюють червоним олівцем.

Усі значення концентрації відмічають на діаграмній стрічці з точністю до  $1 \text{ мг/м}^3$  у середині інтервалу, до якого вони належать. Визначають інтервал часу з концентрацією оксиду вуглецю, вищою ГДК, за піками, які

перетинають лінію відповідного значення ГДК. Для цього до піків прикладається палетка з прозорої плівки. Час перевищення рівня ГДК визначають з точністю до 5 хв. Якщо таких випадків кілька, їх підсумовують за кожним п'ятихвилинним інтервалом (1,5 і 10 ГДК) за добу, дані записують на діаграмній стрічці. Палетку прикладають до діаграмної стрічки так, щоб вертикальні лінії 0, 1, 2, 3 збігалися з часовими поділками, а осьова лінія поділяла площу під кривою на дві рівні частини.

#### 8.4 Газоаналізатор 645-ХЛ.

Автоматичний хемілюмінесцентний газоаналізатор 645-ХЛ всіх модифікацій призначений для інструментального контролю оксиду азоту  $\text{NO}$ , діоксиду азоту  $\text{NO}_2$  і суми оксидів азоту  $(\text{NO}_x)$ .

Метод ґрунтується на вимірюванні кількості виділеного світла в хімічній реакції фотографічним методом. Використовують реакцію озону з оксидом азоту, внаслідок якої утворюється діоксид азоту в збудженому стані:



Необхідний для перебігу цієї реакції озон виникає в генераторі озону газоаналізатора внаслідок реакції кисню, очищеного від пилу, і вологи атмосферного повітря при високовольтному розряді. Із збудженого діоксид азоту переходить в основний стан з віддачею енергії інфрачервоного випромінювання, яке знаходиться в області спектра 620—2500 нм з максимумом при 1200 нм:



Приймачем випромінювання є фотоелектронний помножувач ФЕД. Інтенсивність випромінювання пропорційна кількості взаємодіючих молекул, тобто концентрації оксиду азоту.

Першим етапом визначення концентрації діоксиду азоту в суміші, що аналізують, є відновлення діоксиду азоту до оксиду азоту в спеціальному конверторі газоаналізатора на каталізаторі, нагрітому до  $200^\circ\text{C}$ . У цьому режимі роботи конвертора вимірюється випромінювання сумарної

концентрації оксидів азоту ( $\text{NO} + \text{NO}_2$ ). Потім концентрація діоксиду азоту визначається за різницею електричних сигналів:

$$(\text{NO} + \text{NO}_2) - \text{NO} > \text{NO}_2$$

Отже, газоаналізатор 645-ХЛ дає змогу трьома каналами вимірювати концентрації оксиду азоту, діоксиду азоту та суми оксиду і діоксиду азоту. З метою підвищення його чутливості в реакційній камері створюється оптимальне розрідження (600—800гПа).

Газоаналізатори 645-ХЛ можуть працювати в складі автоматичних станцій контролю забруднення атмосферного повітря, в автономному режимі у лабораторіях типу «ПОСТ» та інших лабораторних приміщеннях. При виконанні вимірювань температура навколишнього середовища повинна бути 10—35°C. Різкі зміни температури, що зумовлюють конденсацію вологи, недопустимі. Для уникнення коливань напруги в мережі живлення необхідно встановити стабілізатор СИ-500М АЕЗ. 232.002 ТУ.

Установлення й експлуатація газоаналізатора 645-ХЛ повинні відбуватися згідно з вимогами «Технічного опису й інструкції по експлуатації Ра 2.840.138 ТО» і методичних вказівок «Експлуатація автоматичних газоаналізаторів оксидів азоту на мережі ДержкомгідрометуРД 52.04-141 87».

Обробляють стрічку газоаналізатора відповідно до загальних вимог.

## **8.5 Газоаналізатор 623НН.**

Автоматичний газоаналізатор 623НН призначений для забезпечення інструментального контролювання суми вуглеводнів. Його робота ґрунтується на полуменево-йонізаційному методі. Концентрацію вуглецю в повітрі визначають за зміною струму полуменево-йонізаційного детектора (ПД), який збільшується при введенні в полум'я водню органічних речовин. Високоомний вимірювальний перетворювач перетворює струм іонізації на вихідну напругу.

Газоаналізатор зроблений за двоканалною схемою: потік атмосферного повітря, що аналізується, ділиться на дві однакові частини. На один ПД, де реєструється загальна сума вуглеводнів, повітря надходить без змін. Інша частина потоку проходить через пристрій розділення вуглеводнів, де відбувається відокремлення метану від інших вуглеводнів. Другий ПД реєструє тільки метан. Значення концентрації суми вуглеводнів за вирахуванням метану є різницею електричних сигналів з обох датчиків. Вимоги до експлуатації газоаналізатора й обробки результатів вимірювань викладені в методичних вказівках

«Експлуатація автоматичних газоаналізаторів вуглеводнів на мережі Держкомгідромету. РД 52.04-139 — 87».

Отже, методи відбору проб повітря, їх аналізу в хімічній лабораторії, без сумніву, важливі і необхідні для ефективного функціонування системи спостережень за забрудненням атмосферного повітря. Однак при отриманні інформації про стан забруднення атмосферного повітря цілодобово ефективніше застосовувати газоаналізатори, які вимірюють в автоматичному режимі концентрації певних забруднюючих речовин, фіксують їх максимальні й мінімальні значення, формують базу даних про місячне, кварталне, річне забруднення атмосферного повітря, що є основою для оцінювання і прогнозування стану приземного шару повітря.

## Тема 9. Оцінювання стану атмосферного повітря за результатами спостережень

### 9.1. Характеристики забруднення атмосфери

#### 9.2. Екологічне нормування якості атмосферного повітря

### 9.1. Характеристики забруднення атмосфери

Систематизація, опрацювання і узагальнення результатів спостережень дає змогу визначити статистичні характеристики забруднення атмосфери, за допомогою яких виявляють динамічні зміни в забрудненні атмосфери певною речовиною. До таких характеристик належать:

1. Середнє арифметичне значення концентрації домішки (забруднюючої речовини) ( $\bar{q}_c$ ) — середньодобові, середньомісячні, середньорічні, середні багаторічні концентрації забруднюючих речовин ( $\bar{q}$ ), обчислені за сумарними даними стаціонарних, пересувних, під факельних постів спостережень. Цей показник визначають за формулою:

$$\bar{q}_c = \sum_{i=1}^n q_i / n, \text{ мг/м}^3, \quad (3.5)$$

де  $n$  — кількість разових концентрацій, які були визначені за відповідний період.

2. Середнє квадратичне відхилення результатів вимірювань від середнього арифметичного: середньорічних концентрацій на постах від середньорічної і середньорічної багаторічної концентрації по місту; разових концентрацій від середньорічної концентрації по місту (району); середньорічних концентрацій для міста від середньорічної концентрації для групи міст; максимальних концентрацій домішки для міста за рік від середньої з максимальних концентрацій домішки за рік; разових (середньодобових) концентрацій від середньомісячної та середньорічної, середньомісячної — від середньорічної та середньої багаторічної; середньорічної — від середньої багаторічної:

$$\sigma_i = \sqrt{\sum_{i=1}^n (q_i - \bar{q})^2 / (n - 1)}, \text{ мг/м}^3. \quad (3.6)$$

3. Коефіцієнт варіації вказує на ступінь змінності концентрації домішки (забруднюючої речовини) і обчислюється за формулою:

$$V = \sigma / \bar{q}, \quad (3.7)$$

де  $\bar{q}$  — середня концентрація.

4. Максимальне значення концентрації домішки обчислюють, вибираючи максимальну концентрацію (найбільше значення) домішки з разових, середньомісячних, середньодобових, середньорічних концентрацій з невеликої кількості спостережень, а також максимальну з разових концентрацій за даними підфакельних спостережень та обчислюють середню з максимальних концентрацій за рік по групі міст за формулою:

$$\bar{q}_M = \frac{1}{L} \sum_1^L q_M, \quad (3.8)$$

де  $L$  — кількість міст, що розглядаються.

5. Максимальну концентрацію домішки із заданою вірогідністю її перевищення визначають з припущення логарифмічно нормального розподілення концентрацій домішок в атмосфері для заданої вірогідності її перевищення:

$$q_M^P = \bar{q} \exp z \sqrt{\ln(1 + V^2)} / \sqrt{1 + V^2}, \quad (3.9)$$

де  $\bar{q}$  — середня концентрація; при  $P=0,1\%$ ,  $z=3,08$ ;  $P=1\%$ ,  $z=2,33$ ;  $P=5\%$ ,  $z=1,65$ .

6. Індеси забруднення атмосфери (ІЗА) кількісно характеризують рівень забруднення атмосфери окремою домішкою, що враховує різницю в швидкості зростання ступеня шкідливості речовин, приведенного до ступеня шкідливості діоксиду сірки, зі зростанням перевищення ГДК:

$$I_i = (q_i : \text{ГДК}_i)^{C_i} \quad (3.10)$$

де  $C_i$  — константа, що набуває значень 1,7; 1,3; 1,0; 0,9, відповідно, для 1, 2, 3 та 4-го класів небезпечності речовин і дає змогу привести ступінь шкідливості  $i$ -тої речовини до ступеня шкідливості діоксиду сірки.

7. Комплексний індекс забруднення атмосфери міста (КІЗА) є кількісною характеристикою рівня забрудненості атмосфери, що створюється д-речовинами, які присутні в атмосфері міста (чи району міста):

$$I_n = \sum_{i=1}^n I_i, \quad (3.11)$$

де  $n$  — кількість домішок, що розглядаються (може включати всі забруднюючі речовини, що присутні в атмосфері міста, або тільки

пріоритетні речовини, які визначають її стан). Його широко використовують для порівняння ступеня забруднення атмосфери в містах та регіонах.

Для оцінювання змін стану атмосферного повітря отримані середні концентрації забруднюючих речовин порівнюють з фоновими концентраціями.

Фонова концентрація — статистично вірогідна максимальна концентрація ( $C_f$ , мг/м<sup>3</sup>), яка характеризує забруднення атмосфери.

її визначають як значення концентрації, перевищене не більше ніж у 5 % випадків від загальної кількості спостережень. Фонова концентрація характеризує утворену всіма джерелами, розташованими на даній території, сумарну концентрацію. За відсутності необхідних даних спостережень фонова концентрація може бути обчислена. Визначення  $C_f$  для кожного поста спостережень здійснюють за даними, отриманими протягом періоду від 2 до 5 років. З метою підвищення вірогідності розрахунку  $C_f$  необхідно вибрати такий період спостережень, протягом якого суттєво не змінювався характер забудови в районі поста спостережень, характеристики промислових викидів у радіусі 5 км від поста, розташування самого поста, а відбір та аналіз проб здійснювалися за однаковими методиками. При цьому кількість спостережень повинна бути не меншою 200 на рік щодо кожної речовини, а загальна їх кількість за певний період — не менше 800.

Для визначення  $C_f$  можуть бути використані дані стаціонарних і підфакельних постів спостережень. В результаті обробки даних для кожного поста з усіх результатів спостережень знаходять значення  $C_{fi}$ , де  $i = 0; 1; 2; 3; 4$ , які відповідають різним градаціям напрямку та швидкості вітру ш (табл. 3.10).

Таблиця 3.10

**Значення і в залежності від швидкості та напрямку вітру**

а	Румби	Будь-який	Півн.	Схід	Півд.	Зах.
	Десятки градусів	Будь-які	32—4	5—13	14—22	23-31
і <sub>ю</sub> , м/с		0--2	3-ю*			
і		0	1	2	3	4

Верхню межу швидкості вітру  $ю^*$  визначають за умовою, що швидкість вітру в підконтрольній місцевості  $и) > ш^*$  переважає в 5% випадків. При визначенні її для кожної з 5 градацій швидкості та напрямку вітру значення концентрацій  $д_{г}$  ( $к$  — номер концентрації в  $і$ -тій градації) вписують в таблицю, після чого з'ясовують кількість спостережень в кожній градації  $/г$ , яка при подальшій обробці повинна бути не менше 100. Якщо  $/г, < 100$ , то значення  $С_{фi}$  вважається орієнтовним.

Дані під факельних спостережень групують зони за критерієм відстані від джерела викидів. Кількість спостережень в кожній зоні повинна бути не менше 200. Дані для кожної з них поділяють на дві градації за швидкістю вітру. При швидкості вітру 0—2 м/с  $і$  становить 0; при швидкостях вітру від 3 до  $ш^*$  м/с — від 1 До 4.

Віддають перевагу  $С_{ф}$ , отриманим за під факельними вимірами для тих районів міста, де їхні значення більші ніж  $С_{ф}$ , розраховані за даними спостережень на стаціонарних постах.

Фонову концентрацію  $С_{фi}$  можна визначити одним із статистичних розрахункових методів або графічно.

При оцінюванні величини різниць  $С_{ф}$  для п'яти градацій розраховують значення  $С$  і  $С$  — відповідно середнє за всіма градаціями та середнє за всіма градаціями значення фонової концентрації, крім  $і = 0$ :

$$\bar{C} = \sum_{i=0}^4 C_{\phi i} n_i / \sum_{i=0}^4 n_i, \quad (3.12)$$

де  $\bar{C} = \sum_{i=0}^4 C_{\phi i} n_i$  — сума п'яти добутків  $C_{\phi i}$  для кожної градації на кількість вимірювань у даній градації  $n_i$ ;

$$\tilde{C} = \sum_{i=1}^4 C_{\phi i} n_i / \sum_{i=1}^4 n_i. \quad (3.13)$$

Якщо максимальне та мінімальне значення  $C_{\phi}$  при  $i = 0; 1; 2; 3; 4$  задовольняють нерівність:

$$|C_{\phi i} - \bar{C}| \leq 0,25\bar{C}, \quad (a) \quad (3.14)$$

то для даного поста деталізація  $C_{\phi}$  за напрямком вітру не виконується і за  $C_{\phi i}$  в градації швидкості вітру 0—2 м/с приймають значення  $C_{\phi 0}$ , а в градації швидкості вітру ВІД 3 м/с до ю\* — значення  $C$ .

Коли умови (а) та (б) не виконуються,  $C_{\phi}$  представляють п'ятьма значеннями.

Для з'ясування шкідливої дії кількох забруднювачів визначають величину  $C_{\phi}$  за цими речовинами. При ЦЬОМУ для кожного пункту спостережень та моменту час у концентрація п речовин приводиться до концентрації найпоширенішої з них.

Наприклад, при сумарній впливу  $SO_2$  і  $NO_2$ :

$$q_{SO_2 + NO_2} = q_{SO_2} + q_{NO_2} \text{ГДК}_{SO_2 \text{ м.р.}} / \text{ГДК}_{NO_2 \text{ м.р.}}. \quad (3.16)$$

Отримані результати обробляють так само, як і щодо Однієї речовини.

При проектуванні промислових підприємств і встановленні гранично допустимих викидів (ГДВ) дані про розподіл фонові концентрації по території населеного пункту представляють в табличній формі.

В окремих випадках можна обмежитись середнім значенням/<sup>^</sup> по місту. Для цього розраховують середнє значення  $C_{\phi i}$  по місту для кожної градації швидкості і напрямку вітру. Для тих постів, де у градації, що розглядається,  $C_{\phi i}$  відрізняється від середнього по місту менш ніж на 25%, воно замінюється на середнє по місту значення  $C_{\phi i}$ .

При встановленні ГДВ для реконструйованих або діючих підприємств, їх частка виключається із  $C_{\phi}$  за формулою:

$$C'_{\phi} = C_{\phi}(1 - 0,4C/C_{\phi}) \text{ при } C \geq C_{\phi}; \quad (3.17)$$

$$C'_ф = 0,2 C_ф \text{ при } C > C_ф, \quad (3.18)$$

де  $C'_ф$  — фонові концентрації без урахування підприємства, що розглядається;  $C$  — максимальна концентрація, яка створюється підприємством в точці розміщення поста.

За результатами спостережень і оцінювання стану атмосферного повітря визначають середні та максимальні концентрації забруднюючих речовин, а також фонові, які особливо важливі при прогнозах обчисленнях.

## 9.2. Екологічне нормування якості атмосферного повітря

З метою обмеження і контролювання антропогенних впливів на навколишнє середовище запроваджують екологічне нормування — комплекс заходів для встановлення граничних меж, в яких можуть коливатися параметри показників, які характеризують стан природного середовища. Екологічному нормуванню підлягають усі небезпечні речовини. До них належать речовини, що надходять до навколишнього середовища як продукти чи супутні утворення людської діяльності і становлять пряму чи опосередковану загрозу суспільству або довкіллю загалом, знешкодження яких у поточний момент часу може бути здійснено тільки завдяки значним техніко-економічним та організаційним витратам.

Кількісну оцінку вмісту речовин в атмосфері позначають поняттям «концентрація» — кількість речовини, яка міститься в одиниці об'єму повітря, приведеного до нормальних умов.

Якість атмосферного повітря — сукупність властивостей повітря, яка визначає ступінь впливу фізичних, хімічних і біологічних факторів на людей, рослинний та тваринний світ, а також на матеріали, конструкції і довкілля загалом.

Оцінюють рівень забруднення середовища та його якість, використовуючи показники гранично допустимих концентрацій.

За прямої дії забрудниш людина відчуває загальне погіршення стану, яке виражається різними симптомами; накопичення в організмі шкідливих

речовин понад визначену дозу може спричиняти патологічні зміни окремих органів або організму в цілому. Опосередковано впливають такі зміни на довкілля: вони не діють на живі організми, але погіршують звичні умови життєдіяльності (пошкоджують зелені насадження, збільшують кількість туманних днів і т.д.)

Отже, основним критерієм встановлення нормативів ГДК для оцінювання якості атмосферного повітря є обсяг і особливості дії наявних у повітрі забруднюючих речовин на організм людини. Для визначення якості атмосферного повітря послуговуються двома ГДК — максимально разовою (ГДК<sub>м.р.</sub>) і середньодобовою (ГДК<sub>с.д.</sub>).

Максимально разова гранично допустима концентрація (ГДК<sub>м.р.</sub>) — основна характеристика небезпечності шкідливої речовини, яка встановлюється для попередження рефлекторних реакцій у людини (відчуття запаху, світлової чутливості, біоелектричної активності головного мозку) при короткотривалому впливі атмосферних домішок.

Максимально разові ГДК застосовують, оцінюючи умови праці у забруднених приміщеннях.

Середньодобова гранично допустима концентрація (ГДК<sub>с.д.</sub>) — характеристика небезпечності шкідливої речовини, встановлена для попередження загально токсичного, канцерогенного, мутагенного та інших впливів речовин на організм людини.

Речовини, які оцінюють за цим нормативом, здатні тимчасово або постійно накопичуватися в організмі людини.

ГДК<sub>м.р.</sub> встановлюють для промислових підприємств, а ГДК<sub>с.д.</sub> — для зон житлової забудови. Різниця між цими показниками зумовлена тим, що на підприємствах до роботи допускають, як правило, здорових людей, які пройшли медичний огляд і стійкіші до дії на організм шкідливих речовин. Отже, ГДК<sub>м.р.</sub> більші, ніж ГДК<sub>с.д.</sub> На основі ГДК інженерні служби розраховують розміри гранично допустимих викидів (ГДВ) речовин в атмосферу. Зазвичай у різних країнах використовують два показники: ГДК та

гранично допустиме екологічне навантаження (ГДЕН) на природні об'єкти. Санітарно-гігієнічне оцінювання якості атмосферного повітря здійснюють, дотримуючись таких необхідних вимог:

- 1) Допустимою може бути тільки така концентрація, яка не спричиняє прямої, побічної шкідливої або неприємної дії на людський організм, не знижує працездатності, не впливає на настрій, забезпечує фізіологічний оптимум життя.
- 2) Звикання до шкідливих речовин є неприйнятним, і концентрація, яка може його викликати, не допускається.
- 3) Недопустимі такі концентрації шкідливих речовин, які негативно впливають на рослини, клімат, прозорість атмосфери.

В Україні запроваджуються заходи, спрямовані на попередження забруднення атмосферного повітря та зниження вмісту шкідливих домішок:

- поліпшення наявних та впровадження нових технологічних процесів, які виключають поширення шкідливих речовин;
- поліпшення складу палива, апаратів карбюрації та зменшення надходження викидів в атмосферу за допомогою очисних споруд;
- запобігання забрудненню атмосфери за допомогою раціонального розміщення ймовірних джерел шкідливих викидів та розширення площ зелених насаджень.

Комплексне застосування цих заходів сприяє поліпшенню стану атмосферного повітря над містами. За чистотою повітря та його змінами постійно стежать органи санітарного контролю санітарно-епідеміологічної служби Міністерства охорони здоров'я України.

## **Тема 10. Моніторинг поверхневих вод**

10.1. Сучасний стан поверхневих вод. Джерела і види їх забруднення

10.2. Основні завдання і організація роботи системи моніторингу поверхневих вод

Вода є однією з найпоширеніших речовин у природі. Вона входить до складу всіх мінералів, живих організмів. Складні процеси у тваринних або рослинних організмах можуть відбуватися тільки за наявності води. Хоча запаси води на планеті загалом залишаються незмінними, проте в окремих регіонах внаслідок діяльності людини вони можуть зазнавати значних кількісних і якісних змін, що призводить до істотних порушень у природних процесах, негативно впливає на живу природу та людину. Тому водні ресурси потребують суворої охорони як в якісному, так і в кількісному аспектах.

### **10.1 Сучасний стан поверхневих вод. Джерела і види їх забруднення**

Вода відіграє вирішальну роль у підтриманні життя людини. Її наявність і способи використання нерідко визначають долі народів і країн. Особливої гостроти набуває ця проблема на сучасному етапі, оскільки лише невелика частина загальних запасів води — це прісні, придатні для використання в народному господарстві води. Саме вони, зокрема поверхневі води, зазнають найбільшого антропогенного впливу.

**Поверхневі води — води суходолу, що постійно або тимчасово перебувають на земній поверхні у формі різних водних об'єктів у рідкому (водотоки, водойми) і твердому (льодовики, сніговий покрив) станах.**

Найважливішими шляхами переміщення води є загальна циркуляція в атмосфері, морські течії і річковий стік. Її безперервний обіг утворює замкнуту систему: океан — атмосфера — суходіл — океан. Циркуляція охоплює усі водні ресурси — придатні для використання води Землі (річкові, озерні, морські, підземні, вологість ґрунту, водяні пари атмосфери та ін.).

Забезпеченість країни водними ресурсами, наявність суднохідних рік, виходу до морів тощо значною мірою зумовлюють темпи її соціального і економічного розвитку. З цієї точки зору Україна розташована у досить сприятливих умовах: її омивають Чорне та Азовське моря, на території України зареєстровано 71 тис. річок, що мають загальну довжину 243 тис. км. Більшість із них належить до басейнів Чорного та Азовського морів. В Україні є 3 тис. озер із загальною площею водного дзеркала 2 тис. км<sup>2</sup>, 23 тис. ставків та водосховищ, особливо багато їх у районі середнього та нижнього Дніпра. Однак їх наявність не означає, що водні ресурси невичерпні.

Раціональне використання й охорона природних ресурсів — запорука виживання людей. Натепер особливу занепокоєність викликають проблеми водокористування. Загроза полягає не тільки в кількісному зменшенні природних вод, а й у погіршенні їх якості. Тому ця проблема стає загальнодержавною у більшості країн світу, зокрема в Україні.

Якість води обумовлена як природними, так і антропогенними факторами. Внаслідок інтенсивного використання водних ресурсів змінюються якість і кількість води, складові водного балансу, гідрологічний режим водних об'єктів. Це відбувається тому, що більшість річок і озер є одночасно джерелами водопостачання й приймачами господарсько-побутових, промислових і сільськогосподарських скидів. На якісні та кількісні зміни водних ресурсів впливають такі основні види господарської діяльності: водоспоживання для промислових і комунальних потреб, скидання відпрацьованих вод, урбанізація, утворення водосховищ, зрошення і осушування земель, агроеліоративні заходи тощо. При цьому кожний водозбір може одночасно використовуватися для більшості із вказаних видів діяльності. У зв'язку з цим при водогосподарському плануванні і регулюванні якості води необхідно брати до уваги вплив кожного з цих факторів окремо і всіх разом.

Вода скидна — вода, що відводиться від зрошуваних сільгоспугідь, присадибних ділянок, а також з територій, на яких застосовується гідромеханізація.

Господарсько-побутові, промислові сільськогосподарські скиди зумовлюють хімічне, фізичне, біологічне і теплове забруднення гідросфери.

**Хімічне забруднення води** відбувається внаслідок надходження у водойми зі стічними водами шкідливих домішок неорганічного та органічного походження: сполук миш'яку, свинцю, ртуті, міді, кадмію, хрому, фтору тощо. Вони поглинаються фітопланктоном і передаються далі харчовим ланцюжком більш високоорганізованим організмам, що супроводжується кумулятивним ефектом, який полягає в прогресуючому збільшенні вмісту шкідливих сполук у кожній наступній ланці харчового ланцюжка. Більшість цих домішок є токсичними для мешканців водойм.

Згубно впливають на стан водойм стічні води, що містять розчинені органічні речовини або суспензії органічного походження, оскільки сприяють зниженню вмісту кисню у воді.

**Вода стічна** — вода, що утворюється у процесі господарсько-побутової і виробничої діяльності (крім дренажної і скидної вод), а також при відведенні із забудованої території стоку атмосферних опадів.

Особливої шкоди завдають нафта та нафтопродукти, які утворюють на поверхні води плівку, що перешкоджає газообміну між водою і атмосферою та зменшує вміст кисню у воді. Осідаючи на дно водойм, органічні суспензії замулюють його і затримують або повністю припиняють життєдіяльність донних мікроорганізмів, які беруть участь у самоочищенні води. Основними постачальниками органічних речовин у стічні води є підприємства целюлозно-паперової промисловості, нафтопереробні заводи, великі тваринницькі комплекси тощо.

Велику кількість органічних сполук, яких раніше не було в природі, містять стоки хімічних підприємств. Більшість з цих речовин біологічно активні, дуже стійкі до біодеградації й важко видаляються зі стоків. Останнім

часом особливо згубно діють синтетичні миючі засоби — детергенти, які часто містять фосфор. Зростання кількості фосфатів у річках, озерах і морях спричинює інтенсивний розвиток синьо-зелених водоростей, «цвітіння» водойм, що супроводжується різким зниженням вмісту у воді кисню, загибеллю риб та інших водних тварин. Детергенти ускладнюють роботу каналізаційних споруд, уповільнюють процеси коагуляції під час очищення стічних вод.

Кількість хімічних забруднювачів постійно зростає. Про шкідливу дію деяких з них ще мало відомо, оскільки вони мають пролонгований вплив, тобто шкідливі мутації, генетичні розлади тощо виявляються в наступних поколіннях живих істот.

**Фізичне забруднення води** зумовлює зміни фізичних властивостей — прозорості, вмісту суспензій та інших нерозчинних домішок, радіоактивності і температури тощо. Суспензії (пісок, намул, глинисті частки) потрапляють у водойми здебільшого внаслідок поверхневого змиву дощовими водами із сільськогосподарських полів, особливо тоді, коли розорюються водозахисні смуги вздовж річок і орні ділянки наближаються до самої межі води. Багато суспензій з діючих підприємств гірничодобувної промисловості заносять у водойми сильні вітри (пил). Тверді частки знижують прозорість води, пригнічуючи процеси фотосинтезу водяних рослин, забиваючи зябра риб, органи дихання водних тварин, погіршують смакові якості води. Особливу небезпеку для всього живого становлять радіоактивні відходи, які потрапляють у водойми внаслідок викидів з АЕС, з частками золи від працюючих ТЕС тощо. Саме вони найбільше загрожують природним водам і живим організмам. Тому при оцінюванні впливу господарської діяльності на водні ресурси необхідно враховувати не тільки їх кількісні, а й якісні зміни.

**Теплове забруднення водойм** є окремим видом забруднення гідросфери, яке спричинене спусканням у водойми теплих вод з різних енергетичних установок. Тепло, що надходить з такими водами в ріки й озера, істотно змінює їх термічний і біологічний режими. Основними

тепловими забруднювачами є АЕС. Як свідчать спостереження, у ріках, розташованих нижче діючих ТЕС та АЕС, порушуються умови нересту риб, гине зоопланктон, риби уражуються хворобами і паразитами.

**Біологічне забруднення водного середовища** полягає у надходженні зі стічними водами до водойм різних видів мікроорганізмів, рослин і тварин (віруси, бактерії, грибки, черви), невластивих водній екосистемі, яка забруднюється. Більшість з них хвороботворні для людей, рослин і тварин. Найшкідливішими є комунально-побутові стоки, особливо коли вони надходять у водойми без очищення. Проте навіть за наявності очисних споруд певна кількість бактерій, вірусів тощо не затримується фільтрами і потрапляє у водойми. Промисловими біологічними забруднювачами є підприємства шкірообробної промисловості, м'ясокомбінати, цукрові заводи.

В Україні з 1998 р. спостерігається тенденція до зниження об'ємів забору та використання води, основна причина якої полягає у спаді виробничої діяльності. Вплинуло на їх зменшення також запровадження в країні плати за спеціальне використання прісних водних ресурсів. Найбільше води забирають з басейну Дніпра. Зменшуються об'єми використання води і в системах оборотного та повторно-послідовного водопостачання. Основними споживачами води залишаються промисловість, сільське та житлово-комунальне господарства. Починаючи з 1995 р., щорічно зменшується скид забруднюючих речовин у поверхневі водні об'єкти України, що дещо поліпшило їх якість.

Науково-технічний прогрес, розвиток промисловості вимагають залучення у виробничі цикли усе більшої кількості водних ресурсів у глобальному планетарному масштабі.

#### **4.2. Основні завдання і організація роботи системи моніторингу поверхневих вод**

Зростаючі темпи розвитку промисловості зумовлюють не лише збільшення об'ємів використання води, а й її забруднення. Якість і кількість

загальних запасів води на планеті, особливо прісної, уже зараз є важливою проблемою, а в деяких регіонах ситуація переростає у екологічну катастрофу. Тому контролювання стану водних об'єктів є необхідною складовою моніторингу довкілля.

Моніторинг поверхневих вод — система послідовних спостережень, збирання, оброблення даних про стан водних об'єктів, прогнозування їх змін та розроблення науково обґрунтованих рекомендацій для прийняття управлінських рішень, які можуть позначитися на стані вод.

До основних завдань моніторингу поверхневих вод належать контролювання, спостереження, оцінювання та прогнозування стану якості води. Система моніторингу виконує інформаційну роль і не охоплює елементів управління, оскільки є складовою загальної системи управління навколишнім середовищем і регулювання його якості.

Спостереження за водними об'єктами тісно пов'язані з прогнозуванням їх стану. У процесі моніторингу необхідно отримати дані про джерела забруднення, склад і характер забруднень, реакції гідробіонтів (організмів, які живуть у водному середовищі) і зміни стану водних об'єктів. Інформацію, отриману внаслідок спостережень, порівнюють з даними про природний стан водних об'єктів до початку помітного антропогенного впливу, тобто з фоновими характеристиками якості і кількості водних об'єктів.

Основною метою налагодження системи спостережень і контролю за забрудненням водних об'єктів є отримання інформації про природну якість води та оцінка змін якості води внаслідок дії антропогенних факторів.

Служба спостереження та контролювання (моніторингу) розв'язує такі завдання:

- спостереження і контролювання рівня забруднення водного середовища за хімічними, фізичними та гідробіологічними показниками;
- вивчення динаміки вмісту забруднюючих речовин і виявлення умов, за яких відбуваються коливання рівня забруднення;

- дослідження закономірностей процесів самоочищення та накопичення забруднюючих речовин у донних відкладеннях;
- вивчення закономірностей виносу речовин через гирлові створи річок у водойми.

Перші оцінки ступеня забрудненості вод були зроблені ще на початку ХХ ст. Вони ґрунтувалися на дослідженні гідробіологічних показників — так званій системі сапробності Кольквітця і Марсона (1909 р.) — встановленні вмісту у воді органічних речовин, що розкладаються, і фізико-хімічних (класифікація водних об'єктів розроблена Королівською комісією зі стічних вод в Англії у 1912 р.). Спостереження здійснювались тільки за впливом на водні об'єкти основного на той час джерела забруднення — господарсько-побутових стічних вод. Необхідність проведення систематичних спостережень за станом поверхневих вод, їх зміною внаслідок дії природних і особливо антропогенних факторів була усвідомлена тільки наприкінці 60-х років минулого століття. З цією метою почали створюватись національні системи моніторингу довкілля, складовою яких є система моніторингу поверхневих вод.

За головними структурними ознаками національні системи моніторингу вод в різних країнах належать до трьох типів: першого — якщо у країні діє єдина загальнонаціональна мережа гідрологічних і гідрохімічних станцій та постів; другого — коли паралельно діють кілька рівноцінних мереж збору інформації; третього — у разі, коли пріоритетними є одна-дві мережі контролю якості води, а їх доповнюють регіональні структури. Країнами з першим видом моніторингу вод є Велика Британія, Канада, Нідерланди, Японія; з другим — Швеція; з третім — США, Україна та деякі інші пострадянські країни.

За кордоном у 1977 р. розпочалися роботи за міжнародною програмою щодо спостережень за станом прісних вод, яка входить до системи глобального моніторингу навколишнього середовища (табл. 4.1). Систему моніторингу прісних вод формують на 344 станціях (з них 240 — на річках,

43 — на озерах, 61 — на джерелах підземних вод). Станції розташовані у такий спосіб, щоб вести спостереження як на незабруднених, так і на забруднених територіях. Усі дані спостережень акумулюються в Канадському центрі континентальних вод (м. Барлінгтон, провінція Онтаріо) з метою вивчення стану забруднення прісних вод та розроблення світових стандартів чистої води. До цієї програми не приєдналися країни колишнього Радянського Союзу, Східної Європи та Африки.

Таблиця 4.1

Мережа пунктів контролю поверхневих вод у різних країнах світу

Країна	Площа, тис. км	Кількість пунктів (станцій, постів)	Густота мережі, км <sup>2</sup> на один пункт
Австрія	84	700	120
Білорусь	208	130	1600
Велика Британія	244	250	877
Індія	3288	302	10 889
Італія	301	489	615
Канада	9976	1116	8939
Китай	9597	3189	3009
Нідерланди	41,2	260	158
Німеччина	357	1122	318
Норвегія	324	607	534
Польща	313	690	453
Росія	17 075	3470	4920
США	9363	60 000	156
Фінляндія	337	595	566
Франція	551	1005	548
Швейцарія	41,3	332	124
Швеція	450	590	763
Японія	372	4200	89

На основі моніторингових досліджень зроблено загальні висновки щодо забруднення прісних вод світу:

- у слаборозвинутих країнах забруднення води здійснюється в основному побутовими водами;
- країни, що розвиваються, максимально забруднюють води стоками усіх видів;
- у розвинутих країнах кількість забруднених вод починає зменшуватися, а пік забруднення припадає на 30—50-ті роки ХХ ст.

Функції і завдання моніторингу в СРСР покладалися на Загальнодержавну службу спостережень і контролю за рівнем забруднення навколишнього природного середовища, організовану наприкінці 1972 р., проте єдиного управлінського центру національного моніторингу, як і єдиної методичної бази з організації та проведення цих спостережень, створено не було. Саме тому з отриманням Україною статусу незалежної держави постало завдання розробки та впровадження власної державної системи екологічного моніторингу.

Згідно з державний моніторинг вод є невід'ємною складовою державної системи моніторингу навколишнього середовища. На основі цих двох урядових документів розроблена «Єдина міжвідомча інструкція по організації та здійсненню державного моніторингу вод» (ЄМІ), затверджена наказом Міністерства екології та природних ресурсів природного середовища України № 485 від 24.12.2001 р. Цей документ встановлює єдині вимоги до організації та проведення спостережень за станом поверхневих вод, прибережних зон водосховищ, підземних вод, джерел забруднення вод; за гідрологічними, фізико-хімічними, біологічними, радіологічними показниками якості вод. Виконання вимог ЄМІ обов'язкове для всіх підрозділів суб'єктів державного моніторингу вод, а також відповідальних водокористувачів, які здійснюють спостереження за кількісним та якісним станом вод.

До провідних суб'єктів державного моніторингу належать: Міністерство екології та природних ресурсів, у т. ч. Головдержекоінспекція та Держуправління охорони навколишнього природного середовища в областях; організації гідрометеорологічної служби; геологічні територіальні організації; Міністерство з питань надзвичайних ситуацій; Міністерство охорони здоров'я; Міністерство аграрної політики; Державний комітет України з водного господарства; Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України. Натепер основними завданнями цих установ (крім Держвод-госпу України) за предметними напрямками моніторингу кількості і якості вод є:

- моніторинг джерел скидів стічних вод щодо контролювання вмісту забруднюючих речовин, у т.ч. радіонуклідів, моніторинг поверхневих вод та водних об'єктів у межах природоохоронних територій щодо фонові кількості забруднюючих речовин, зокрема радіонуклідів (Головдержекоінспекція і Держуправління Мінеко-ресурсів України);
- моніторинг річкових, озерних, морських вод (гідрохімічні та гідробіологічні визначення, вміст забруднюючих речовин, у т. ч. радіонуклідів), радіаційної обстановки (на пунктах стаціонарної мережі та за результатами обстежень), стихійних та небезпечних природних явищ (повені, паводки, селі і т.п.), що можуть впливати на якість вод (організації гідрометеорологічної служби Мінекоресурсів України);
- моніторинг підземних вод щодо гідрологічних та гідрохімічних визначень їх складу і властивостей, включаючи визначення залишкових кількостей пестицидів і агрохімікатів та оцінку ресурсів цих вод (геологічні територіальні організації Мінекоресурсів України);
- моніторинг поверхневих вод суші і питної води, а також морських вод в місцях проживання і відпочинку населення (хімічні, бактеріологічні, радіологічні, вірусологічні визначення) (МОЗ України);

– моніторинг поверхневих вод сільськогосподарського призначення (токсикологічні та радіологічні визначення, залишкові кількості пестицидів, агрохімікатів, важких металів) (Мінагрополітики України).

Незалежний спеціалізований або цільовий моніторинг вод здійснюють також Міністерство з надзвичайних ситуацій України (на територіях, підпорядкованих адміністрації зони відчуження і зони безумовного відселення, а також в інших зонах радіоактивного забруднення внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС щодо контролювання забруднюючих речовин, у т.ч. радіонуклідів у поверхневих та підземних водах) і Держбуд України (контроль за вмістом забруднюючих речовин у питній воді централізованих систем водопостачання, а також у стічних водах міських каналізаційних мереж та очисних споруд).

Починаючи з 1960 р. на території України в межах Держкомгидромету діють 11 басейнових управлінь з 27 спеціальними гідрохімічними лабораторіями, які регулюють використання та контролюють рівень забруднення поверхневих вод.

Основний обсяг робіт з моніторингу річок виконують пункти спостережень гідрометеослужби (табл.4.2), де проводяться дослідження гідрометричних і гідрологічних характеристик водотоків та водойм, а також визначаються гідрохімічні та гідробіологічні показники якості поверхневих вод. Ці пункти розподілені по 10 річкових басейнах України. Найбільше пунктів спостережень за кількісними і якісними показниками розташовано в басейні Дніпра, розвинена мережа спостережень в басейнах Дунаю та Дністра.

Таблиця 4.2

**Розподіл пунктів спостережень гідрометеослужби на головних річкових басейнах станом на 1.01.2005 р.**

№ п/п	Басейн	Кількість постів					
		Рівен- них	3 витратних	3 гідрохімічним поділом роботи			
				I категорії	II категорії	III категорії	IV категорії
1	Дніпра	109	100	0	1	26	55
2	Дністра	64	62	0	0	9	17
3	Південного Бугу	23	22	0	0	6	12
4	Західного Бугу	10	10	0	0	5	4
5	Сіверського Донця	36	35	1	0	17	10
6	Приазов'я	19	19	0	0	5	8
7	Дунаю	77	56	0	0	8	29
8	Криму	33	33	0	0	3	21
9	Межиріччя Дунаю і Дністра	1	1	0	0	0	1
10	Межиріччя Дністра і Південного Бугу	2	2	0	0	0	2
	Разом	374	340	1	1	79	159

Основою розміщення гідрологічних пунктів спостережень є принцип отримання основних характеристик (з визначеною точністю) водного режиму — рівня води і річкового стоку. Кількість і щільність розташування пунктів

спостережень визначаються природно-кліматичними факторами, а також запитами народного господарства і служби прогнозів.

Більшість постів виконує спостереження у терміни від 51 до 100 років, трохи менше — від 31 до 50 років (рис. 4.1). Отже, періоди спостережень мають достатню тривалість і можуть використовуватись для різних необхідних обчислень.

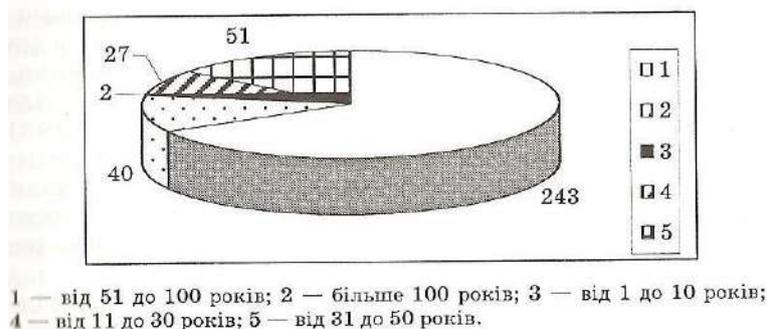


Рис. 4.1. Розподіл гідрологічних постів (шт.) за тривалістю спостережень

За останні 25 років відбулися зміни в кількісному складі гідрологічної мережі. Так, якщо в 1975 р. нараховувалося 510 гідрологічних постів, з яких на 472 вивчався стоковий режим річок, а на 198 — стік наносів, тобто твердий, то в 1985 р. вивченням елементів гідрологічного режиму рік України займалося 477 постів, із яких 448 вивчали рідкий стік і 204 — твердий стік. Наприкінці 80-х років ХХ ст. відділом гідрології УкрГМЦ були проведені дослідження і виконані розрахунки з метою обґрунтування необхідної кількості реперних (опорних) постів та їх раціонального розміщення. Динаміка чисельності постів гідрологічної річкової мережі представлена в табл. 4.3.

Сучасна гідрологічна мережа України налічує 374 пости, з яких на 339 вимірюють витрати води, а на 119 — вивчають твердий стік. Озерна мережа нараховує 60 постів.

**Динаміка чисельності гідрологічних постів на річках України  
за 1975—2005 рр.**

Рік	1975	1985	1995	2005
Кількість гідрологічних річкових постів	510	477	371	374

Програми-спостережень на гідрологічних станціях і постах регламентовані нормативними документами, які підготовлені ще Державним гідрологічним інститутом (тепер Російський гідрологічний інститут).

Кількість пунктів спостережень у зв'язку з проблемами у загальному економічному становищі країни була дещо зменшена. В УкрНДГМІ в 1996—1999 рр. були виконані науково-дослідні роботи по оптимізації мережі гідрологічних спостережень (за твердим і рідким стоками) на річках України. Натепер вона реалізує основні завдання і функції щодо забезпечення органів державної влади і управління, галузей господарства, прогностичних організацій гідрометеослужби оперативною і режимною інформацією.

Знання багаторічних характеристик елементів гідрометеорологічного режиму і даних поточних спостережень дають змогу розв'язувати конкретні завдання, пов'язані з інформуванням і прогнозуванням, а також з гідрологічними розрахунками.

## **Тема 11. Контроль якості поверхневих вод**

11.1. Принципи організації спостереження і контролювання якості поверхневих вод. Пункти спостережень, контрольні створи

11.2. Програми спостережень за гідрологічними і гідрохімічними показниками, терміни проведення гідрохімічних робіт на пунктах спостереження

11.3. Методи і терміни відбору проб

### **11.1. Принципи організації спостереження і контролювання якості поверхневих вод. Пункти спостережень, контрольні створи**

Моніторинг якості поверхневих вод передбачає організацію стаціонарної мережі пунктів спостережень за природним складом і забрудненням поверхневих вод; спеціалізованої мережі пунктів спостережень за забрудненими водними об'єктами; тимчасової експедиційної мережі пунктів спостережень. Мережі спостережень створюють з дотриманням певних вимог:

- надання переваги вивченню і контролюванню антропогенної дії на поверхневі води;
- систематичність і комплексність спостережень за фізичними, хімічними та біологічними показниками та проведення відповідних гідрологічних вимірів;
- узгодження строків спостережень з характерними гідрологічними ситуаціями;
- визначення показників якості води єдиними методами;
- оперативність одержання інформації про якість води.

Основним принципом організації спостережень є їх комплексність, яка передбачає узгоджену програму робіт з гідрохімії, гідрології, гідробіології та забезпечує моніторинг якості води за фізичними, хімічними, гідробіологічними показниками.

Найважливішим етапом організації робіт є вибір місця розташування пункту спостереження.

Моніторинг забруднення вод проводиться на постійних та тимчасових пунктах спостереження, які розміщують у місцях, де наявний або відсутній вплив господарської діяльності.

Пункт спостереження за якістю поверхневих вод — місце на водоймищі або водотоці, де проводять комплекс робіт для одержання даних про якісні й кількісні характеристики води.

Основними об'єктами, які потребують моніторингу, є: місця скиду стічних і дощових вод міст, селищ, сільськогосподарських комплексів; місця скиду стічних вод окремих підприємств, ТЕС, АЕС; місця скиду колекторно-дренажних вод, які відводяться зі зрошуваних або осушуваних земель; кінцеві створи великих і середніх річок, які впадають в моря, внутрішні водоймища; кордони економічних районів, республік, країн, що перетинають транзитні річки; кінцеві гідрологічні створи річкових басейнів, за якими складають водогосподарські баланси; гирлові зони забруднених приток головної річки.

Пункти стаціонарної мережі спостереження поділяють на чотири категорії. Пункти спостережень першої категорії розміщують на водотоках і водоймищах, що мають особливо важливе народногосподарське значення, коли існує ймовірність перевищення концентрації певних показників. Пункти спостереження другої категорії розташовують на водних об'єктах, які знаходяться в районах промислових міст, селищ з централізованим водопостачанням, у місцях відпочинку населення, в місцях скиду колекторно-дренажних вод з сільськогосподарських полів, на граничних і кінцевих створах рік. Пункти спостереження третьої категорії розміщують на водних об'єктах, що характеризуються помірним або слабким навантаженням (в районах невеликих населених пунктів та промислових підприємств). Пункти спостереження четвертої категорії формують на незабруднених водних об'єктах (фонових ділянках).

Пункти спостереження розташовують з урахуванням стану та перспектив використання водних об'єктів на підставі попередніх досліджень, які передбачають:

- збирання та аналізування відомостей про водокористувачів, джерела забруднення вод, аварійні скиди забруднюючих речовин, що відбувалися раніше, даних про режимні, фізико-географічні морфометричні ознаки водойми або водотоку;
- обстеження водойми або водотоку та прибережних водоохоронних смуг з метою визначення їх стану, виявлення додаткових джерел забруднення, визначення зон забрудненості та переліку специфічних забруднюючих речовин, виокремлення характерних біотопів.

На пунктах спостереження досліджують один або кілька створів.

Створ пункту спостереження — умовний поперечний переріз водоймища або водотоку, де проводиться комплекс робіт для одержання інформації про якість води.

Створи спостережень розміщують з урахуванням гідрометричних умов і морфологічних особливостей водоймища або водотоку, наявності джерел забруднення, об'єму та складу стічних вод, зокрема зворотних.

Вода зворотна — вода, яка повертається за допомогою технічних споруд і господарських засобів до природних ланок кругообігу води (річкової, озерної, морської, літогенної) у вигляді стічної, скидної або дренажної.

На водотоках у разі відсутності організованого скиду зворотних вод, у гирлах забруднених приток, на незабруднених ділянках водотоків, на передгреблевих ділянках річок, на кінцевих ділянках річок і в місцях перетину державного кордону України встановлюють один створ.

На водотоках при наявності організованого скиду зворотних вод встановлюють два і більше створів. Перший (фоновий) створ рекомендовано розміщувати на відстані 1 км вище від джерела забруднення. Другий створ призначений для контролю за зміною якості води водотоку поблизу випуску стічних вод, тобто в зоні забруднення. Відповідно до санітарних нормативів

бажано розташувати його на відстані 1 км вище від найближчого місця водозабору. На річках, що використовуються для рибогосподарських потреб, цей створ встановлюють на відстані 0,5 км нижче по течії від місця скиду стічних вод, а на водоймищах — 0,5 км в бік найвираженної течії. У містах та селищах, де є численні скиди, контрольний створ розміщують на відстані 0,5—1 км нижче від останнього колектора. Третій створ розміщують у такий спосіб, щоб дані спостережень характеризували якість води, водного потоку загалом, тобто у місці достатнього змішування стічних вод з водами річки.

При спостереженнях за водоймою загалом встановлюють не менше трьох створів, по можливості рівномірно розподілених її акваторією з урахуванням конфігурації берегової лінії. У разі спостережень за окремими ділянками водойми створи розташовують у такий спосіб:

- на водоймах з інтенсивним водообміном: один створ вище джерела забруднення і решта створів (не менше двох) нижче джерела забруднення на відстані 0,5 км від місця скиду зворотних вод та безпосередньо за межею зони забруднення;
- на водоймах з помірним та уповільненим водообміном — один створ поза зоною впливу джерела, другий створ суміщають зі створом скиду зворотних вод, решту створів (не менше двох) розташовують по обидва боки від останнього на відстані 0,5 км від місця скиду та безпосередньо за межею зони забрудненості.

Кожний створ має кілька вертикалей та горизонталей, їх розташування в кожному створі визначається характером скидів, особливостями течії водоймища або водотоку, рельєфом дна.

Вертикаль створу — умовна вертикальна лінія від поверхні води до дна водоймища або водотоку, на якій здійснюють дослідження для отримання інформації про якість води.

Кількість вертикалей в створі на водотоці визначають з урахуванням умов змішування вод водотоку із зворотними водами, а також з водами приток. При неоднорідному хімічному складі води в створі встановлюють не менше

трьох вертикалей: на стрижні (лінія найбільших поверхневих швидкостей течії річки, на прямих ділянках розташована, зазвичай, на середині водотоку, на вигині — ближче до увігнутого берега) та на віддалі 3—5 м від берегів, а при однорідному хімічному складі — одну вертикаль на стрижні водотоку.

Кількість вертикалей у створі на водоймах зумовлена шириною зони забруднення. Першу вертикаль розміщують на відстані не більше 0,5 км від берега або від місця скиду зворотних вод, останню — безпосередньо за межею зони забруднення.

Горизонт створу — зона на вертикалі (в глибину), де виконують комплекс досліджень для отримання інформації про якість води.

Кількість горизонтів на вертикалі визначають з урахуванням глибини водного об'єкта. За глибини до 5 м встановлюють один горизонт біля поверхні води (влітку — 0,3 м нижче поверхні, взимку — біля нижньої поверхні льоду). Якщо глибина становить від 5 до 10 м, виокремлюють два горизонти: біля поверхні і поблизу дна (на відстані 0,5 м від дна). У разі, коли глибина більша 10 м, встановлюють три горизонти: біля поверхні, посередині та поблизу дна. При глибині більше 100 м встановлюються горизонти біля поверхні, на глибинах 10, 20, 50, 100 м та біля дна. Крім цього, необхідно виокремити додаткові горизонти в кожному шарі зміни густини води.

Раціональне розміщення пунктів спостережень, систематичність, комплексність і точність при здійсненні моніторингу поверхневих вод дають змогу отримати достовірну інформацію, яка може бути використана як з практичною, так і з теоретичною метою.

## **11.2. Програми спостережень за гідрологічними і гідрохімічними показниками, терміни проведення гідрохімічних робіт на пунктах спостереження**

Загальна мета, завдання різних досліджень, типи водотоків, водоймищ зумовлюють кількість і методи аналізів, час відбору проб природних вод.

Відповідно до цього розробляють програми спостережень за гідрологічними та гідрохімічними показниками.

Програма спостережень — теоретично і експериментально визначена оптимальна кількість показників і послідовність досліджень, які дають змогу отримати повну і достовірну інформацію про якість води в певному місці у визначений час.

Вибір програми залежить від категорії пункту спостережень. Ці програми поділяють на обов'язкову, скорочену-1, скорочену-2, скорочену-3.

Здійснення обов'язкової програми передбачає:

- гідрологічні спостереження: витрата води ( $\text{м}^3/\text{с}$ ), тобто кількість води, що протікає через живий переріз за одиницю часу, швидкість течії ( $\text{м}/\text{с}$ ) при опорних вимірах витрати на водотоках або рівень води ( $\text{м}$ ) на водоймищах;
- гідрохімічні спостереження: візуальні спостереження, температура ( $^{\circ}\text{C}$ ), колірність (градуси), прозорість ( $\text{см}$ ), запах (бали), концентрація розчинених у воді газів — кисню, діоксиду вуглецю ( $\text{мг}/\text{дм}^3$ ,  $\text{мг}/\text{л}$ ); концентрація завислих речовин ( $\text{мг}/\text{дм}^3$ ,  $\text{мг}/\text{л}$ ); водневий показник рН; окисно-відновний показник Еп ( $\text{мВ}$ ); концентрація головних іонів — хлоридних, сульфатних, гідрокарбонатних, кальцію, магнію, натрію, калію, суми іонів ( $\text{мг}/\text{дм}^3$ ,  $\text{мг}/\text{л}$ ); хімічне споживання кисню (ХСК) ( $\text{мг}/\text{дм}^3$ ,  $\text{мг}/\text{л}$ ); біохімічне споживання кисню за 5 діб (БСК<sub>5</sub>) ( $\text{мг}/\text{дм}^3$ ,  $\text{мг}/\text{л}$ ); концентрація біогенних елементів — амонійних, нітритних, нітратних йонів, фосфатів, загального заліза, кремнію ( $\text{мг}/\text{дм}^3$ ,  $\text{мг}/\text{л}$ ); концентрація поширених забруднюючих речовин — нафтопродуктів, синтетичних поверхнево активних речовин (СПАР), летючих фенолів, пестицидів і з'єднань металів ( $\text{мг}/\text{дм}^3$ ,  $\text{мг}/\text{л}$ ).

За програмою скорочена-1 виконують:

- гідрологічні спостереження: витрата води ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) на водотоках або рівень води ( $\text{м}$ ) на водоймищах;

- гідрохімічні спостереження: візуальні спостереження, температура ( $^{\circ}\text{C}$ ), концентрація розчиненого кисню ( $\text{мг/дм}^3$ ,  $\text{мг/л}$ ), питома електропровідність ( $\text{См/см}$ ).

Виконання програми скорочена-2 передбачає:

- гідрологічні спостереження: витрата води ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) на водотоках або рівень води ( $\text{м}$ ) на водоймищах;
- гідрохімічні спостереження: візуальні спостереження, температура ( $^{\circ}\text{C}$ ), водневий показник рН, питома електропровідність ( $\text{См/см}$ ), концентрація завислих речовин ( $\text{мг/дм}^3$ ,  $\text{мг/л}$ ), БСК<sub>5</sub> ( $\text{мг/дм}^3$ ,  $\text{мг/л}$ ); концентрація двох-трьох забруднюючих речовин, основних для води в даному пункті ( $\text{мг/дм}^3$ ,  $\text{мг/л}$ ).

При здійсненні програми скорочена-3 проводять:

- гідрологічні спостереження: витрата води ( $\text{м}^3/\text{с}$ ), швидкість течії ( $\text{м/с}$ ) при опорних вимірах витрати на водотоках або рівень води ( $\text{м}$ ) на водоймищах;
- гідрохімічні спостереження: візуальні спостереження, температура ( $^{\circ}\text{C}$ ), концентрація завислих речовин ( $\text{мг/дм}^3$ ,  $\text{мг/л}$ ); водневий показник рН; концентрація розчиненого кисню ( $\text{мг/дм}^3$ ,  $\text{мг/л}$ ); ХСК ( $\text{мг/дм}^3$ ,  $\text{мг/л}$ ); БСК<sub>5</sub> ( $\text{мг/дм}^3$ ,  $\text{мг/л}$ ); концентрація речовин, що забруднюють воду в пункті спостережень ( $\text{мг/дм}^3$ ,  $\text{мг/л}$ ).

До основних показників, що зумовлюють швидкість процесу самоочищення водного середовища, належать: температура ( $^{\circ}\text{C}$ ), водневий показник рН, концентрація розчиненого кисню ( $\text{мг/дм}^3$ ,  $\text{мг/л}$ ), вміст органічних речовин ( $\text{мг/дм}^3$ ,  $\text{мг/л}$ ). Контролювання цих показників передбачено всіма програмами.

Температура водного середовища є основним регулятором природних процесів у воді. Вона впливає на швидкість хімічних реакцій, функції білків всередині і між фізіологічними системами та органами тварин, тому її вимірювання обов'язкове.

Показник рН визначають як від'ємний логарифм концентрації йонів водню. З його значенням пов'язаний фотосинтез у воді та багато хімічних і фізичних процесів. З'ясування електропровідності дає змогу оцінити концентрації деяких електролітів або загальних розчинених твердих частинок.

Обсяг концентрації розчиненого кисню є важливим показником, оскільки цей газ виконує основну роль при процесах обміну речовин в живих організмах, а також при утворенні та розчиненні вапна, гнитті органічних речовин.

Концентрація органічних речовин характеризує перебіг хімічних та біологічних процесів у воді.

У пунктах першої категорії проводять спостереження щоденно за програмою скороченою-1 в першому створі після скиду стічних вод. Крім того, в цьому створі щоденно відбирають проби об'ємом не менше 5 л, які зберігають протягом 5 діб на випадок надзвичайних ситуацій (загибель риби, аварійні викиди). На цих пунктах спостереження проводять відбір проб щодакдно за програмою скорочена-2, щомісячно за програмою скорочена-3, протягом основних фаз водного режиму — за обов'язковою програмою.

У пунктах другої категорії візуальні спостереження проводять щоденно, щодакдно — за програмою скорочена (1), щомісячно — за програмою скорочена-3, в основні фази водного режиму — за обов'язковою програмою.

У пунктах третьої категорії спостереження проводяться щомісячно за програмою скорочена-3, протягом основних фаз водного режиму — за обов'язковою програмою.

У пунктах четвертої категорії спостереження проводяться в основні фази водного режиму за обов'язковою програмою.

Програми спостережень були розроблені для визначення якісного стану поверхневих вод на основі вимірювання певних параметрів якості води у контрольних створах і проведення її фізико-хімічного аналізу. Якість води оцінюють через порівняння гідрохімічних показників, визначених у пункті

спостережень, зі встановленими нормами якості води. На основі отриманих даних можна визначити рівень забрудненості водного об'єкта і придатність води для використання.

### **11.3. Методи і терміни відбору проб**

Режим моніторингу гідрологічних та гідрохімічних показників за обов'язковою програмою спостережень зумовлюється водним режимом ріки. На більшості водотоків відбір проб проводять 7 разів на рік: під час повені — на підйомі, максимумі, спаді; під час літньої межені — при найменшій витраті та при проходженні дощового паводка, восени перед льодоставом та під час зимової межені.

Повінь — фаза водного режиму річок, яка характеризується найбільшою водністю, значним, відносно тривалим підвищенням рівня води і спостерігається щороку в один і той же сезон.

Протилежне природне явище — межень — спостерігається влітку у мало дощову суху погоду і взимку.

Межень — фаза водного режиму річок, яка характеризується малою водністю, тривалим збереженням низького рівня води і виникає внаслідок зменшення живлення водотоку.

Кількість проб, що відбирається для аналізу за обов'язковою програмою, може змінюватися залежно від особливостей водного режиму окремих водотоків:

- на водотоках з довгим паводком (більше місяця) проби води відбирають на підйомі, максимумі, на початку та наприкінці спаду паводка (8 разів на рік);
- на водотоках зі стійкою літньою меженню та слабо вираженим осіннім підйомом води спостереження здійснюють 5—6 разів на рік;
- на тимчасових водотоках кількість спостережень не перевищує 3—4 на рік;

- на водотоках у гірських районах, залежно від типу водотоку, кількість спостережень коливається від 4 до 11.

Гідрохімічну інформацію про озера та водосховища збирають посезонно, тобто 4 рази на рік. Спостереження за хімічним складом води водоймищ поділяють на стандартні (обов'язкові) та спеціальні.

До стандартних спостережень належать регулярні спостереження за хімічним складом води в постійних пунктах, які характеризують стан водоймища за природних умов; регулярні спостереження за рівнем забруднення води в контрольних пунктах, які розміщені в районах найбільших випусків стічних вод.

До спеціальних спостережень відносять гідрохімічні зйомки водоймища для оцінки поширення забруднювачів, вивчення процесів самоочищення, визначення запасів речовин в об'єкті, балансових розрахунків.

Правильність оцінки якості води забезпечує виконання таких умов:

- правильний відбір проб води належної кількості;
- репрезентативність проб, тобто відповідність до поставленого завдання як за якістю та об'ємом, так і за вибраними точками та часом відбору, а також технікою відбору, попередньої обробки, умов зберігання та транспортування.

Проба повинна характеризувати водоймище, водотік і якість води за певний проміжок часу. Ступінь характерності одиначної проби великій водній масі залежить від низки чинників: однорідності відібраної водної маси; кількості точок пробовідбору; розмірів окремих проб; способів відбору.

Попередня обробка, транспортування та зберігання проб повинні проводитися у такий спосіб, щоб склад води майже не змінювався.

Проби поділяють на прості та змішані.

Прості проби характеризують якість води у певному пункті відбору, відбираються у визначений час у необхідному об'ємі.

Змішані проби об'єднують кілька простих проб з метою характеристики якості води за певний період часу або певної ділянки досліджуваного об'єкта.

Залежно від мети дослідження вдаються до разового або регулярного відбору проб.

Разовий відбір проб застосовують, коли вимірювані параметри несуттєво змінюються в просторі (глибина, акваторія) водоймища і в часі; закономірності зміни параметрів, що визначаються, попередньо відомі; необхідні лише найзагальніші уявлення про якість води у водоймищі.

Регулярний відбір проб означає, що кожен пробу відбирають у часовій і просторовій взаємозалежності з іншими.

Стаціонарні спостереження передбачають відбір проб води для хімічного аналізу на стрижні потоку з глибиною 0,2—0,5 м. Якщо русло глибоке, а течія слабка, доцільніше брати проби на різних глибинах. Проби переважно відбирають емальованим відром об'ємом 10 л. З відра водою наповнюють посудини для визначення рН, вмісту у воді кисню, діоксиду вуглецю, фіксують відсоток насичення води киснем, а також наповнюють водою пляшки для визначення біохімічного споживання кисню за 5 діб (БСК<sub>5</sub>) і для подальшого аналізу в лабораторії. Проби для визначення концентрацій нафтопродуктів, фенолів, синтетичних поверхнево активних речовин (СПАР), важких металів, пестицидів відбирають в окремі пляшки. Для відбору проб використовують також спеціальні пристрої — батометри різних типів.

Батометр — прилад для відбору проб води з певної глибини з метою визначення її фізичних властивостей та вмісту розчинених і завислих речовин, а також гідробіонтів.

Батометр має відповідати таким вимогам: вода, що проходить крізь нього, не повинна в ньому затримуватися; він повинен щільно закриватися; матеріал пробовідбірника повинен бути хімічно інертний. На практиці широко використовують горизонтальні, перекидні та автоматичні батометри. За допомогою батометра Мол чанова проводять відбір проб води для визначення вмісту пестицидів. Відбір проб на значних глибинах (20-30 м) проводиться за допомогою батометра Рутнера.

Для зберігання проб використовують поліетиленовий і скляний посуд. Перед використанням його миють концентрованою кислотою та споліскують водопровідною водою. Основні вимоги до посуду — міцність, стійкість до розчинення, щільність закривання.

Консервування необхідне при відборі проб для визначення нестійких компонентів. Їх аналізують не пізніше ніж через 3 дні після відбору. Проби зберігають при температурі 3—5°C в холодильнику. Взимку при температурі нижче 0°C відібрану пробу переносять у тепле приміщення, де проводять аналіз.

Аналіз якості поверхневих вод України свідчить, що в багатьох басейнах, особливо Дунаю, Дністра, Південного Бугу, Дніпра, Сіверського Дінця, залишається високим вміст сполук важких металів, у деяких басейнах — сполук азоту, нафтопродуктів, фенолів. Майже всі водні об'єкти, на яких проводяться спостереження, належать до забруднених та дуже забруднених. Порівняно задовільний стан річок гірського Криму, однак і в цьому басейні збереглися високі концентрації азоту амонійного на річках Ускют і Таракташ.

Дослідження свідчать, що суттєвого поліпшення якості поверхневих вод за гідрохімічними показниками не відбувається, хоча окреслилась незначна тенденція до зниження рівня забрудненості. Деяке зменшення вмісту азоту амонійного, азоту нітритного спостерігалось на річках басейнів Дунаю і Дністра. У воді Дніпровських водосховищ і річок Західного Бугу зменшився вміст сполук міді, однак він зріс у воді річок басейну Південного Бугу, вміст сполук цинку підвищився в річках басейну Дніпра.

Те, що процес моніторингу поверхневих вод здійснюється переважно за допомогою традиційних фізико-хімічних аналізів проб води, утруднює визначення рівнів впливу мікрозабруднювачів (важких металів, пестицидів, хлорованих вуглеводнів), шкідливих навіть за низьких концентрацій. Моніторинг таких забруднювачів доцільно було б здійснювати за допомогою аналізу біологічних показників і проб донних відкладень.

## **Тема 12. Організація гідробіологічних спостережень**

### 12.1. Гідробіологічні спостереження

### 12.2. Прилади і системи контролювання забруднення водного середовища

#### **12.1. Гідробіологічні спостереження**

У водному середовищі зосереджені складні комплекси різноманітних хімічних сполук, вплив яких на живі організми відрізняється від дії їх складових. У результаті перетворення забруднюючих речовин, а також їх взаємодії у водному середовищі утворюються хімічні з'єднання, які важко піддаються аналізу. Багатьом з них притаманні молекулярна стійкість і висока токсичність з вираженим мутагенним ефектом, тому контроль за забрудненням водного об'єкту лише фізичними та хімічними чинниками недостатній. З 1974 р. здійснюється систематичний моніторинг поверхневих вод за гідробіологічними показниками.

#### **Основні гідробіологічні показники якості води**

Спостереження за гідробіологічними показниками поверхневих вод здійснюють з метою одержання об'єктивних даних, накопичення яких необхідне для виявлення довготривалих змін у водних екосистемах.

Гідробіологічні показники — кількісні та якісні характеристики різних груп водного населення, що використовуються для оцінки еколого-санітарного стану водних екосистем.

Гідробіологічні показники дають змогу:

- визначати екологічний стан водних об'єктів;
- оцінювати якість поверхневих вод як середовища життя організмів, що населяють водоймища, водотоки;
- визначати сумарний ефект дії забруднюючих речовин;
- визначати специфічний хімічний склад води та її походження;
- перевіряти наявність або відсутність повторного забруднення вод;
- виявляти довгострокові зміни, що відбуваються у водних об'єктах.

Вони також є допоміжною інформацією при визначенні умов скиду, характеру та меж: поширення стічних вод; при дослідженні біотрансформації забруднюючих речовин; при боротьбі з цвітінням води та заростанням водоймищ вищими рослинами; при проектуванні гідротехнічних споруд тощо.

Натепер усереднюючого гідробіологічного показника не існує. Якість води визначають, оцінюючи реакцію гідробіонтів на забруднення. Індикаторами-гідробіонтами є зообентос, перифітон, зоопланктон і фітопланктон.

Зообентос — сукупність донних тварин, що живуть на дні або в ґрунті морських і прісних водойм.

Зообентос формують представники майже всіх груп водних організмів — починаючи від найпростіших і закінчуючи рибами. Деякі тварини можуть постійно або тимчасово прикріплюватися до ґрунту, інші — живуть або плавають біля самого дна. Зообентос морів утворюють форамініфери, губки, кишковопорожнинні, плечоногі, молюски, ракоподібні. У прісних водоймищах він представлений найпростішими, губками, війковими та малоцетинковими червами, п'явками, молюсками, ракоподібними.

Стан зообентосу характеризує зміни водного середовища протягом тривалого часу. Вивчення зообентосу, відібраного в різних місцях водоймища, дає змогу одержати інтегральні оцінки якості води та ступеня забруднення донних відкладень.

Перифітон — поселення водних рослин і тварин на підводних скелях, камінні, річкових суднах, сваях та інших об'єктах.

Основою перифітону є прикріплені гідробіонти, ву-соногі ракоподібні, двостулкові молюски, губки, черви, водорості. Дослідження перифітону використовують для оцінювання усередненої якості води водного об'єкта протягом довготривалого періоду часу, а також встановлення фактів забруднення водного об'єкта (за рахунок накопичення токсикантів) у тому разі, коли в момент спостереження вода уже повністю самоочистилася.

Зоопланктон — сукупність тварин, що населяють водну товщу та пасивно переносяться течіями.

У прісноводному зоопланктоні переважають веслоногі, коловертки; у морському — ракоподібні, найпростіші, кишковопорожнинні (медузи, гребневики), крилоногі молюски, яйця та личинки риб. Зоопланктон є достатньо надійним індикатором якості води в малопроточних водоймищах, озерах, водосховищах та ставках. Його досліджують для отримання характеристик якості води в пунктах спостереження за порівняно короткий період часу.

Фітопланктон — сукупність рослинних організмів, які населяють товщу води морських та прісних водоймищ і пасивно переносяться течіями. Морський фітопланктон утворюють переважно діатомові водорості, перідіней і коколитофоріди; прісноводний — діатомові, синьо-зелені та деякі групи зелених водоростей. Фітопланктон характеризує якість водних мас, де проходив його розвиток, тому на водотоках забирають проби фітопланктону, які використовують для одержання інформації про рівень забруднення на ділянках, розміщених за течією вище від пунктів спостережень.

За допомогою аналізування гідробіологічних показників можна встановлювати рівень забруднення водного об'єкта як на окремій досліджуваній ділянці, так і поза нею (вище і нижче пункту спостережень). Вивчаючи вміст мікрозабруднювачів, що накопичилися у тканинах риб, молюсків, водяного моху, на дні озер, водосховищ і рівнинних річок, можна встановити динаміку надходження забруднення до водного об'єкта.

Гідробіологічні спостереження за якістю води і донними відкладеннями. Повна і скорочена програми спостережень. Правила відбору проб

Моніторинг гідробіологічного стану водотоків здійснюють на стаціонарній гідрометричній мережі за програмами, зумовленими категорією пункту спостереження. Комплекс гідробіологічних показників якості поверхневих вод визначається насамперед еколого-зональним типом водного

об'єкта, складом і об'ємом стічних вод, їх токсичністю, потребами споживачів води. З'ясування гідробіологічних показників обов'язкове для всіх пунктів спостереження. Моніторинг проводять за скороченою та повною програмами.

У пунктах I та II категорій спостереження за гідробіологічними показниками рекомендують проводити щомісячно за скороченою програмою, щоквартально за повною програмою; в пунктах III категорії спостереження проводять щомісячно за скороченою програмою тільки у вегетаційний період та щоквартально за повною програмою; в пунктах IV категорії спостереження слід проводити щоквартально за повною програмою.

Повна програма гідробіологічних спостережень передбачає визначення таких показників:

- щодо фітопланктону: загальна кількість клітин ( $10^3$  клітин/см<sup>3</sup>, клітин/мл); загальна кількість видів; загальна біомаса (мг/дм<sup>3</sup>, мг/л); кількість основних груп ( $10^3$  клітин/см<sup>3</sup>, клітин/мл); біомаса основних груп (мг/дм<sup>3</sup>, мг/л); кількість видів у групі; масові види та ви-ди-індикатори сапробності (найменування, частка в загальній кількості, сапробність — насиченість природної води та донних відкладень водойм і водотоків органічними речовинами, здатними розкладатися);
- щодо зоопланктону: загальна кількість організмів (екз/м<sup>3</sup>); загальна кількість видів; загальна біомаса (мг/м<sup>3</sup>); чисельність основних груп (екз/м<sup>3</sup>); біомаса основних груп (мг/м<sup>3</sup>); кількість видів у групі; масові види та види-індикатори сапробності (найменування, частка у загальній кількості, сапробність);
- щодо зообентосу: загальна чисельність (екз/м<sup>3</sup>); загальна кількість видів; загальна біомаса (г/м<sup>2</sup>); кількість груп за стандартним розбором; кількість видів у групі; чисельність основних груп (екз/м<sup>2</sup>); біомаса основних груп (мг/м<sup>2</sup>); масові види та види-індикатори сапробності (найменування, доля в загальній чисельності, сапробність);

- щодо перифітону: загальна кількість видів; масові види, частота повторюваності, сапробність; мікробіологічні показники; загальна кількість бактерій ( $10^6$  клітин/см<sup>3</sup>, клітин/мл).

Скорочена програма спостережень за гідробіологічними показниками охоплює з'ясування таких показників:

- щодо фітопланктону: загальна чисельність клітин ( $10^3$  клітин/см<sup>3</sup>, клітин/мл); загальна кількість видів; масові види та види-індикатори сапробності (найменування, доля в загальній чисельності, сапробність);
- щодо зоопланктону: загальна чисельність організмів (екз/м<sup>3</sup>); загальна кількість видів;
- щодо зообентосу: кількість груп за стандартним розбором; кількість видів у групі; чисельність основних груп (екз/м<sup>2</sup>);
- щодо перифітону: загальна кількість видів; масові види, частота повторюваності, сапробність.

Точність і якість спостережень забезпечує правильний відбір проб. Для кількісного обліку фітопланктону проби відбирають батометром послідовно з горизонтів: поверхня води, 1; 2,5; 5; 10; 20 м і т.д. Відібрані з кожного горизонту проби зливають у чисте відро, перемішують і відбирають пробу об'ємом 0,5 л. Її консервують, додаючи 5 мл формаліну. На малих ріках та на мілководних ділянках відбір проб проводять простим зачерпуванням 0,5 л води з верхнього горизонту (0,2 м).

Для якісного обліку фітопланктону проби відбирають планктонною сіткою. У глибоких місцях проводиться тотальний лов від дна до поверхні, а на міліні фітопланктон відбирають, проціджуючи крізь сітку не менше 30 л води. Після закінчення вилову осад зливають в окремий посуд і консервують. Відбір проб зообентосу для якісного аналізу проводять з поверхні або товщі донного ґрунту, а також на доступній глибині з водною рослинністю в прибережній зоні водного об'єкта на ділянці довжиною 50 м в один та другий бік від створу. Живі організми з водних рослин збирають сачком або скребачкою. Відібрану пробу фіксують 4 % розчином нейтралізованого

формаліну (1 частина 40 % розчину формаліну на 3 частини води). Збір зообентосу з ґрунту здійснюється за допомогою скребка. На доступній глибині зрізають шар ґрунту і переносяться у відро. Обсяг проби становить половину відра. Для відокремлення тварин від ґрунту використовують сачок-промивач. При промиванні частина ґрунту проходить крізь сітку, а залишок змивається в центральну частину мішка. Вміст мішка зливають у банку. Обсяг ґрунту з тваринами повинен становити не більше половини банки. Пробу консервують 4 % розчином формаліну.

Відбір проб перифітону з поверхні свай, дамб, мостів та інших споруд здійснюють за допомогою ножа, пінцета, ложки. Відібрані проби вміщують у банки, заливають на 2/3 водою і консервують за допомогою 1 мл 40 % розчину формаліну.

Гідробіологічні спостереження доповнюють інформацію, отриману за допомогою гідрохімічних і хімічних спостережень. Отримані комплексні дані дають змогу з достатньою точністю і повнотою охарактеризувати стан досліджуваних об'єктів водного середовища, сприяють достовірності прогнозування і виробленню заходів для зниження рівня забруднень.

## **12.2. Прилади і системи контролювання забруднення водного середовища**

Точність, достовірність, комплексність оцінювання забруднень водного середовища забезпечує використання нових, сучасних приладів моніторингу. Останнім часом у всьому світі впроваджуються автоматизовані системи контролю. Вони поки що виконують не всі необхідні функції, однак їх перевагою є безперервність вимірювань.

Автоматизовані системи дають змогу автоматично здійснювати відбір проб води, вимірювання, оброблення та передавання інформації. Прискорення і практично безперервне одержання інформації про якість води за допомогою автоматизованих систем контролю зумовлює необхідність їх широкого використання при моніторингу якості вод суши.

Технічні засоби оперативного контролювання якості природних вод. Оперативне контролювання хімічного складу природних вод забезпечує автоматизована система контролю якості води АСЯНС-ВГ (автоматизовані спостереження якості навколишнього середовища — водний горизонт), створена вченими Гідрохімічного інституту Держкомгідромету.

**Автоматизована система контролювання якості води** — комплекс технічних засобів, що вимірюють у часі і просторі фізичні, хімічні і біологічні показники якості води, передають інформацію на центральний пункт управління і попереджають про порушення норм водокористування. Єдину систему моніторингу формують три рівні — засоби оперативного автоматичного контролю забруднення вод; пересувні і стаціонарні гідрохімічні лабораторії; центр опрацювання інформації, отриманої від автоматичних станцій, пересувних і стаціонарних лабораторій.

Засоби оперативного автоматичного контролювання забруднення вод. Їх поділяють на дві групи — автоматичні станції контролю якості води (АСКЯВ), або монітори, і аналізатори. За їх допомогою визначають низку показників якості води таких, як катіони та аніони, а також мінеральні речовини, специфічні (нафтопродукти, важкі метали, пестициди та ін.) та органічні забруднювачі. У табл. 4.4, 4.5 наведено показники якості води, які можуть бути рекомендовані для автоматичних визначень, а в табл. 4.6 — методи, які використовують для автоматизації аналізу поверхневих вод.

Таблиця 4.4

Показники якості води, які можуть бути рекомендовані для автоматизованих визначень

Характерні показники	Властивості води та інгредієнти, що вимірюються
Мінеральні речовини	$\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{Ia}^+$ , $\text{Cl}$ , $\text{SO}_4^{2-}$ , $\text{HCO}_3^-$
Органічні речовини	Загальний органічний вуглець, БСК, розчинений кисень

Показники евтрофікації	Первинна продукція та деструкція або хлорофіл; розчинений кисень; N1-14 , N03", N02" ^ <sub>ар</sub> , PO4", Pзаг
Показники токсичності	Специфічні біологічні тести (водні організми, ферментативні реакції)
Специфічні забруднюючі речовини	Важкі метали (Н£, РЬ, Сої та інші), пестициди, нафтопродукти, феноли, СПАР
Загальні показники	Температура, рН, електрична провідність, окисно-відновний потенціал, завислі речовини

Таблиця 4.5

Показники якості поверхневих вод, які можна визначити автоматичним методом контролю

Характерні показники	Властивості води та інгредієнти, що вимірюються
Органічні речовини	Сума органічних речовин
Показники евтрофікації	Хлорофіл, сума мікрободоростей, NH <sub>4</sub> , N03, N02, PO <sub>4</sub> ~
Специфічні забруднюючі речовини	Нафтопродукти (плівка)
Загальні показники	Температура, електрична провідність, завислі речовини

Таблиця 4.6

Методи, які використовуються для автоматизації аналізу поверхневих вод

Метод	Показники, що вимірюються
Електрохімічні методи	
Потенціометрія (нонометрія)	pH, Eh, Cl,F,Na, NO <sup>+</sup> , N03", S <sub>2</sub> ~ та ін.

Кулонометрія (кулоно-метричне титрування)	$\text{NH}_4, \text{N}_{\text{заг}}$ , As, Se, Sb, U, Ce, органічні сполуки
Кондуктометрія (кондуктометричне титрування)	Питома електрична провідність води, загальна мінералізація, деякі йони ( $\text{SO}_4^{2-}$ , Cd, Pb, Si, Sb, Bi, As та ін.), Oг
Полярографія (хронопотенціометрія)	(розчинений кисень, первинна продукція та деструкція ВСК); органічні речовини (пестициди, феноли)
Спектрометрія	
Фотоколориметрія	Головні йони ( $\text{Ca}_2^+$ , $\text{Mg}_2^+$ , $\text{Na}^+$ , Si, 1 $\text{SO}_4^{2-}$ ), біогенні речовини, важкі метали, феноли, ХСК
УФ-спектроскопія	Загальний органічний вуглець
ІЧ-спектрофотометрія	Органічні речовини (лігнін, нафтопродукти та ін.)
Люмінесценція (флюорисценція)	Органічні речовини (гумусові речовини, хлорофіл та продукти його розпаду, нафтопродукти), канцерогенні речовини
Атомна абсорбція	Важкі метали (Si, Zn, Ni, Co, Fe, Cd, Bi, Hg), лужні та лужноземельні метали
Рентген-спектрометрія	As, Se, Te, Bi та ін.
Хроматографія	
Газорідинна хроматографія	Органічні речовини (пестициди, вуглеводні, органічні кислоти, аміни та ін.)
Комбіновані органічні речовини	
Хроматомас-спектрометрія	Органічні речовини
Газова (колоночна, тонкостінна) хроматографія +УФ- (ІЧ-,	Нафтопродукти

люмінесцентна) спектрометрія.	
Фотохімічне (хімічне) спалювання + 14 — спектрометрія (кулонометрія)	Загальний органічний вуглець
Фотохімічне (хімічне) спалювання + фотоколориметрія	Загальний органічний фосфор, загальний органічний азот

**Автоматична станція контролю якості води (АСЕЯВ).** Це комплексний багатофункціональний пристрій, що дає змогу без участі людини швидко отримувати, опрацьовувати, зберігати і передавати в центр інформацію про фізичні властивості і хімічний склад поверхневих вод. Типовий перелік показників, які визначаються АСКЯВ, наведено в табл. 4.7.

Таблиця 4.7

Типовий перелік показників, що визначаються ланками автоматизованої системи контролю якості води

Показник	АСКЯВ	ПГХЛ	СГХЛ
1	2	3	4
h (глибина)	+		
T, °C	+	+	
Мутність	+	+	
X	+	+	
pH	+	+	
Eh	+	+	
O <sub>2</sub>	+	+	+
Cl	+	+	+
SO <sub>4</sub>			+
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	+	+	+
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	+	+	+
PO <sub>4</sub>	+	+	+
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		+	+

CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>		+	+
F <sup>-</sup>	+	+	+
УФ-світлопропус- кання	+		
S <sup>2-</sup>			+
CN <sup>-</sup>		+	+
Na <sup>+</sup>	+	+	+
K <sup>+</sup>	+		+
Ca <sup>2+</sup>	+		-i-
Mg <sup>2+</sup>			+
NH <sup>4+</sup>	+	+	+
Fe <sub>заг</sub>	+	+	+
Cu <sup>2+</sup>	+	+	+
Zn <sup>2+</sup>		+	+
Cr <sup>3+</sup>		+	+
Sr <sup>2+</sup>			+
Cd <sup>2+</sup>	+		+
Hg <sup>+</sup>	+		+
Pb <sup>2+</sup>	+		+
Mn			+
As <sup>3+</sup>			+
SiO	+		+
ХСК		+	+
C <sub>орг</sub>	+	+	+
N <sub>орг</sub>		+	+
Жири			+
БСК			+
СПАР			+
Феноли			+

Нафтопродукти		+	+
Сума органічних кислот			+
Пестициди			+
P <sub>орг</sub>			+

**Аналізатори.** До них відносять прилади, що дають змогу отримувати дані про хімічний склад води в умовах лабораторій або безпосередньо на місці біля водного об'єкта автоматичним або напівавтоматичним способом.

**Пересувні гідрохімічні лабораторії (ПГХЛ).** Вони забезпечують оперативне контролювання якості води, яке неможливо здійснити за допомогою АСКЯВ, одержують інформацію безпосередньо на водному об'єкті й одночасно доставляють проби для детального аналізу в стаціонарних лабораторіях.

**Стаціонарна гідрохімічна лабораторія (СГХЛ).** У постійній, непересувній гідрохімічній лабораторії можна робити хімічний аналіз води, визначати багато компонентів її хімічного складу, отримувати ту інформацію про якість води, яку неспроможні надати АСКЯВ і ПГХЛ.

**Центр оброблення гідрохімічної інформації.** Завданням центру є опрацювання, систематизація і інтерпретація інформації, одержаної від АСКЯВ, ПГХЛ, СГХЛ; організація зв'язку з усіма ланками АСЯНС-ВГ і споживачами інформації; технічне обслуговування засобів; збирання, перевірка на достовірність, опрацювання, збереження і надання користувачам різноманітних видів інформації, зокрема оперативних короткострокових прогнозів стану водного об'єкта.

Кількість спостережень, які здійснюються на різноманітних рівнях АСЯНС-ВГ залежно від поставлених завдань, коливається від 1—4 на місяць до 12 за добу. Їх доцільно виконувати в басейнах річок, де є напружений водний баланс. При цьому АСЯНС-ВГ стають частиною загальної системи управління якістю води, що сприяє оптимізації водоохоронних заходів.

## **Будова і принцип дії автоматичних систем контролю якості води**

Практично усі автоматичні системи контролювання якості поверхневих вод, як закордонні, так і вітчизняні, діють за однаковим принципом. Система складається з датчикової частини, яка розміщується в різних точках підконтрольного водного середовища, апаратури для передавання інформації і центральної станції для прийому та реєстрації аналогових і цифрових сигналів. Різниця між системами полягає в способі дії та особливостях будови окремих блоків, ступені автоматизації одержання та оброблення інформації та остаточного результату.

Найпоширенішими є способи розміщення блоку датчиків:

- безпосередньо у водоймі, коли на тросі спускають блок, з'єднаний з приладом, розміщеним на березі. Перевага способу полягає в тому, що інформація надходить у визначену точку без транспортного запізнення та пов'язаних з ним похибок. Однак експлуатація такого блоку утруднена, бо його необхідно часто виймати для очистки від організмів, якими він обростає у воді, та перевірки. Цей метод практично не застосовується на ріках зі складним гідрологічним режимом та в районах із суворим кліматом;
- у нижній частині автоматичної станції в спеціальному відсіку, куди воду подають із заданої точки водоймища зануреним насосом. Цей спосіб конструктивно простіший та надійніший. Його недоліками є транспортне запізнення одержання інформації і похибки внаслідок можливого обростання водними організмами внутрішньої поверхні шланга, яким подають воду. Метод застосовують в більшості закордонних конструкцій.

Для передавання інформації про виміряні параметри на центральну станцію застосовують аналоговий та цифровий методи. Перший метод є зручним та простим в реалізації, другий — забезпечує високу точність, але потребує додаткових витрат на апаратуру перетворення аналогових сигналів на цифрові. Передавати інформацію можна телефоном, телеграфом, радіо та електронною поштою. Реєструють і зберігають інформацію за допомогою

самописців, перфтораторів, записів на магнітних або електронних носіях. Для управління роботою всіх систем використовують ЕОМ.

В Україні найширше застосовують автоматичну станцію контролю поверхневих вод (АСКПВ) і автоматичну станцію контролю забруднення вод (АСКЗВ-Г).

**Автоматична станція контролю поверхневих вод (АСКПВ).** Вона складається з таких функціональних частин: насосно-гідравлічної системи (НГЧ), вимірювальної частини (ВЧ), електронно-перетворюючої частини (ЕПЧ), апаратури передавання даних (АПД), центральної станції (ЦС).

Основою станції є насосно-гідравлічна частина (НГЧ), яка забезпечує забір контрольованої води на одному або двох рівнях (в глибину) і її доставку (без зміни фізико-хімічних показників) до первинного перетворювача вимірювальної частини. НГЧ компонується з водозабірних пристроїв, занурених насосів з електроприводами та трубопроводів.

Вимірювальна частина (ВЧ) забезпечує одержання нормованих електричних сигналів, які несуть інформацію про виміряні фізико-хімічні показники: температуру, рівень води, концентрацію розчиненого кисню, рН, окисно-відновний потенціал, електропровідність, концентрацію завислих речовин, йони міді та сульфідів. Її утворюють блок первинних і блок нормованих перетворювачів.

Електронно-перетворююча частина (**ЕПЧ**) забезпечує програми вимірювання, первинної обробки даних, подання інформації у формі, зручній для використання на місцях та передавання каналами зв'язку. **ЕПЧ** забезпечує дотримання заданих алгоритмів функціонування усіх пристроїв автоматизованої системи контролю води, виконує функції контролю технічного стану пристроїв, аварійного захисту та сигналізації.

Апаратуру передачі даних (АПД) використовують для інформування центральної станції, яка, в свою чергу, оперативно реагує на зміни якості води.

АСКПВ дає змогу проводити аналіз води з періодичністю 30 хв., 1, 2, 3, 6, 12 год., а також згідно з вказівками диспетчерського пункту. Періодичність включення станції встановлюється відповідно до необхідної частоти замірів. Періодичне вимкнення ВЧ станції проводиться через коливання напруги за командами ЕПЧ. Розміщують ВЧ станції в опалюваних приміщеннях на березі водного об'єкта, на свайних опорах, опорах гідротехнічних споруд. ВЧ станції нормально функціонує при температурі повітря 5—40°C.

**Автоматична станція контролю забруднення вод (АСКЗВ-Г).** Ця станція комплектується з вимірю-вально-пробовідбірної частини (ВПЧ), обладнання збирання та оброблення інформації (ОЗОІ), апаратури передавання даних (АПД).

Вимірювальна пробовідбірна частина (ВПЧ) забезпечує автоматичне вимірювання фізичних властивостей і хімічного складу поверхневих вод, передавання результатів вимірювання на станцію у вигляді уніфікованих сигналів. Ця частина складається з 17 приладів та пробовідбірного пристрою, який розрахований на розміщення 24 проб (об'ємом 1л кожна). Прилади дають змогу вимірювати 7 загальних показників — температуру, рН, окислювально-відновний потенціал, концентрацію розчиненого кисню, електропровідність, мутність, рівень води; визначати забруднюючі речовини за допомогою йоноселективних електродів з пристроями фізико-хімічної підготовки проби рН, рCl<sup>-</sup>, рNO<sub>3</sub><sup>-</sup>, рF<sup>-</sup>, рNa<sup>+</sup>; визначати забруднюючі речовини Ca<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Cr<sup>6+</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup> за допомогою автоматичних фотоколориметрів та УФ-світлопоглинання природної води. Вимірювання проводять в діапазоні від 30 хв. до 12 год.

Обладнання для збирання та оброблення інформації (ОЗОІ) слугує для узагальнення даних про вимірювані параметри і визначення фізико-хімічного складу поверхневих вод. За допомогою ЕОМ, яка входить до його складу, реалізуються такі функції: цифрова фільтрація сигналів датчиків; програмна корекція характеристик первинних перетворювачів та автоматичний вибір робочого діапазону. За заданою програмою вхідні сигнали вимірюються,

масштабуються та усереднюються залежно від алгоритму оброблення інформації. Після закінчення циклу усереднення, який може змінюватися в межах 0,5, 1, 2, 3, 6, 12 год., оброблена інформація переписується в буферну пам'ять і виводиться на регулюючий пристрій (перфоратор, телетайп). Записана інформація каналами зв'язку через АПД за командою з центральної станції передається в центр обробки інформації.

Обидві системи можуть контролювати від 2 до 50 створів.

За кордоном розроблені різноманітні автоматичні системи контролю забруднення водного середовища. Аналіз закордонних розробок свідчить, що найпоширенішими є автоаналізatori, основані на дискретному методі аналізу. Загальним для всіх систем є модульна побудова, простота обслуговування та сумісність вихідних сигналів з ЕОМ. Відрізняються системи кількістю та складом параметрів, які підлягають контролюванню.

**Аналізатори контролю якості води.** Сучасні аналізатори ґрунтуються на використанні фізико-хімічних методів аналізу — спектрофотометричних, потенціометричних, кондуктометричних, полярографічних, а також низки інших методів та їх різноманітних комбінацій. Кількість показників, які здатні обробити аналізатори, коливається в межах 30—40. У вітчизняній практиці найпоширеніші аналізатори АМА-201 та АМА-201А.

Аналізатор АМА-201 вимірює до 11 фізико-хімічних показників як повністю автоматизована ланка системи контролю. Він є багатофункціональним комплексом отримання та передавання на центральну станцію обробки інформації оперативних даних про фізико-хімічні показники контрольованого об'єкта. Періодичність вимірювання коливається в межах 1; 1,5; 2; 3; 4 год. Обслуговування персонал проводить 1 раз у 15 діб під час профілактичного огляду або після ремонтних робіт.

Аналізатор АМА-201А відрізняється від попереднього досконалішою структурою, поліпшеною елементною та конструктивною базами. Він здатен контролювати 19 параметрів, при одночасному вимірі — 16.

Використовують також аналізатори контролю якості води для роботи в автоматичному режимі в лабораторних умовах. Так, аналізатори МБХА-1, АПВ-102, ІВА-1, КАП-105 дають змогу визначати від 5 до 25 інгредієнтів з продуктивністю від 60 до 240 вимірювань за годину.

Використовуючи автоматизовану або автоматичну станції контролю якості води, можна контролювати водні об'єкти за кількома параметрами одночасно. Ці пристрої і прилади забезпечують відбір проб води безперервно або через певні проміжки часу. У разі виникнення надзвичайної ситуації (перевищення норми концентрації забруднювача) станції переходять у аварійний режим роботи, тобто фіксують вимірювані параметри у визначені проміжки часу з одночасним відбором проб, а також сигналізують про таку ситуацію на центральну станцію.

## **Тема 13. Оцінювання і прогнозування якості води**

### **13.1 Оцінювання і прогнозування якості води**

#### **13.1 Оцінювання і прогнозування якості води**

Для вирішення багатьох водоохоронних завдань необхідна узагальнена інформація про стан водних об'єктів, яка дає змогу комплексно оцінювати як ступінь їх забрудненості, так і здатність до самоочищення. Оцінювання і класифікація якості води базуються на системі контрольних показників, з якими порівнюється якість досліджуваної води. Застосовують одиничні, опосередковані (непрямі) та комплексні оцінки забрудненості поверхневих вод за гідрохімічними показниками. Саме комплексні оцінки дають точнішу і об'єктивнішу інформацію про якість поверхневих вод.

Комплексне оцінювання забрудненості поверхневих вод — інформація про забруднення або про якість води, виражена за допомогою певних систем показників або обмеженої сукупності характеристик її складу і властивостей, які порівнюються з критеріями якості води чи нормами для певного виду водокористування чи водоспоживання.

Оцінювання проводять не тільки з метою встановлення ступеня забрудненості вод або аналізу придатності їх для певних видів водокористування, а і з метою прогнозування змін її хімічного складу.

Прогнозування якості поверхневих вод — наукова діяльність, спрямована на виявлення і вивчення можливих альтернатив майбутнього розвитку загального стану та змін якісних і кількісних характеристик води.

Прогнозування хімічного складу природних вод має надзвичайно важливе значення для розвитку усіх галузей водогосподарського комплексу, промисловості, сільського господарства, рекреаційних зон, екологічних заходів.

## **Оцінювання природної якості води в період маловодної фази стоку**

Природна якість води річок і озер є тим фоном та основою, на яких відбуваються якісні зміни стану водного об'єкта, спричинені антропогенними діями. Кількісну оцінку хімічних інгредієнтів здійснюють за результатами аналізу одиночних проб води в пунктах гідрометричних вимірів. Дані гідрохімічного аналізу дають змогу одержати відомості про якість води лише в пунктах відбору проб води. Загальну інформацію про якість води недостатньо вивчених рік можна отримати на основі дослідження даних гідрохімічних характеристик місцевого стоку, тобто хімічних інгредієнтів, які утворюються в результаті розчинення неорганічних і органічних сполук у товщі ґрунтів, що утворюють водозбори малих річок. Хімічний склад води великих та середніх рік є наслідком змішування різних за складом вод, які формуються на малих річках.

Досліджуючи природну якість води, звертають увагу також на її генезис (походження), зважаючи на те, що:

- у період повені або суттєвих паводків у ріці переважають води, які формуються на поверхні водозбору та в ґрунтовій товщі;
- на спаді повені або великих за об'ємом паводків річкова мережа заповнюється водами ґрунтового походження;
- у період межені в русловій мережі переважають підземні води.

Отже, природна якість води змінюється протягом року. На основі досліджень проводять картування (переведення натурного оригіналу у графічну модель) хімічних характеристик вод різного походження. Це дає змогу отримати інформацію про кількість хімічних інгредієнтів місцевого стоку мало досліджених річок в різні фази водності, а також про їх гідрохімічний режим.

Оскільки малі річки найлегше забруднюються, то для оцінки фонового стану якості води необхідно ретельно аналізувати вихідні дані та не брати до уваги при аналізі створи із суттєво порушеним гідрохімічним режимом.

При визначенні хімічного складу місцевого стоку малих річок необхідно дотримуватися певних умов:

- поверхня водозбору має бути однорідною за рельєфом, з малими перепадами висоти;
- басейн водотоку повинен бути сформований породами одного літологічного складу і не мати суттєвого притоку підземних вод з-поза меж водозбору;
- ґрунтовий покрив водозбору мусить бути однорідним за ступенем засоленості хлоридами, сульфатами;
- переважаюча рослинність повинна займати 70—75 % площі водозбору;
- формування фаз водності має відчуватися одночасно на всьому водозборі.

Карти складаються за даними середніх багаторічних значень хімічних інгредієнтів, які характерні для певної фази стоку. При аналізі мінералізації та хімічного складу вод дані про мінералізацію позначаються на карті ізолініями. Крок ізоліній залежить від діапазону коливань мінералізації та масштабу карти. Переважно його приймають кратним 10 або 100 мг/л. Дані про хімічний склад води наносять на карту у вигляді значень вмісту аніонів і катіонів, виражених у відсотковому еквіваленті. Межі районів визначають границями коливань значень в відсотковому еквіваленті. В один район переважно об'єднують значення, які відрізняються від середнього по району на 10—15 % .

Крім карт, для оцінки якості природних вод використовують статистичні методи, які базуються на побудові емпіричних кривих та встановленні кореляційних залежностей між різними хімічними інгредієнтами складу води. Математичні розрахунки дають змогу за визначеним показником оцінювати і деякі інші.

**Оцінювання якості води в річках і водоймищах в умовах антропогенної дії** При використанні водного об'єкта з конкретною метою необхідно оцінити властивості та склад води з точки зору їх придатності для водокористування, тобто оцінити кількість та якість води. Багаторічні та

сезонні коливання річкового стоку і запасів прісних вод у водоймах зумовлюють нерівномірність розподілу в часі обсягу водних ресурсів. Проблеми з водозабезпеченням виникають у маловодні періоди, коли на річках спостерігається різке зменшення витрат води, а на озерах — падіння рівня. Меженний період на річках може продовжуватись протягом літньо-осінньо-зимового періодів, що становить 6—8 місяців. Меженний стік у десятки і навіть сотні разів менший від стоку повені і паводків. Мінімальний стік територією розподіляється дуже нерівномірно. Це лімітує водоспоживання, що разом зі збільшенням об'єму стічних вод зумовлює необхідність комплексного вирішення проблеми водозабезпечення, тому інформація про формування якості води в період низького стоку особливо важлива.

Відповідно до Водного кодексу України оцінка якості води здійснюється на основі нормативів екологічної безпеки водокористування та екологічних нормативів якості води водних об'єктів.

**Оцінка якості води на основі нормативів екологічної безпеки водокористування.** Діючі нормативи дають змогу оцінити якість води, яка використовується для комунально-побутового, господарсько-питного та рибогосподарського водокористування. До комунально-побутового водокористування належить застосування водних об'єктів для купання, занять спортом та відпочинку. Господарсько-питне водокористування охоплює використання водних об'єктів як джерел господарсько-питного водопостачання та для водопостачання підприємств харчової промисловості. До рибогосподарського водокористування відносять експлуатацію водних об'єктів як середовища існування риб та інших водних організмів. Водні об'єкти рибогосподарського призначення поділяють на об'єкти вищої категорії — місця розміщення нерестилищ, масового нагулу та зимувальних ям особливо цінних видів риб та інших промислових водних організмів, а також охоронні зони господарств будь-якого типу для штучного розведення та вирощування риб, інших водних рослин і тварин; об'єкти першої категорії

— водні об'єкти для збереження і відтворення цінних видів риб, що мають високу чутливість до вмісту кисню та об'єкти другої категорії — водні об'єкти, що використовуються для інших водогосподарських цілей. Різні ділянки одного водного об'єкта можуть належати до різних категорій водокористування.

Придатність води для забезпечення народногосподарських потреб визначається через оцінювання її хімічного, фізичного та біологічного показників. Ці показники є диференційованими, оскільки вимоги до якості води визначаються видом водокористування. Найбільш жорсткі норми якості води передбачені при використанні її для питних потреб.

Нормативна база оцінки якості води формується на основі загальних вимог до складу та властивостей води і значень гранично допустимих концентрацій речовин у воді водних об'єктів. Загальні вимоги визначають допустимі склад та властивості води, які оцінюються найважливішими фізичними, бактеріологічними та узагальненими хімічними показниками. Вони можуть задаватися у вигляді певної величини, зміни значення показника в результаті впливу зовнішніх факторів або у вигляді якісної характеристики показника.

Гранично допустима концентрація (ГДК) — рівень концентрації речовин у воді, за перевищення якого вона вважається непридатною для певного виду водокористування.

Усі речовини за характером негативного впливу поділяють на 5 груп. Кожна група об'єднує речовини однакової ознаки впливу, яку називають ознакою шкідливості. Одна і та ж сама речовина у різних концентраціях може спричинювати різні ознаки шкідливості.

Лімітуюча ознака шкідливості (ЛОШ) — ознака шкідливості, яка з'являється при найменшій концентрації речовини.

До I групи віднесені речовини, до яких висуваються загальні вимоги щодо обсягу розчиненого кисню, БСК<sub>5</sub>, зважених речовин, водневого показника (рН), мінералізації; ознака шкідливості — загальносанітарна. У II групу

увійшли речовини із санітарно-токсикологічними лімітуючими ознаками шкідливості:  $SO_4$ ,  $Cl$ ,  $Ca$ ,  $Mg$ ,  $Ka$ ,  $K$ ,  $NO_3$ ,  $Cr$ ; ознака шкідливості — санітарно-токсикологічна. До III групи належать речовини токсикологічної ЛОШ ДО — №Я<sub>4</sub>, N —  $KO_2$ , СПАВ, Си, 2п, Ш); ознака шкідливості — токсикологічна. До IV групи відносять речовини рибогосподарських ЛОШ: феноли, нафтопродукти; ознака шкідливості — рибогосподарська. V група охоплює речовини з органолептичними ЛОШ:  $Pe_{зар}$  та ін.; ознака шкідливості — органолептична.

Оцінюючи якість води у водоймах комунально-побутового та господарсько-питного водокористування, з'ясовують також клас шкідливості речовини. Його визначають залежно від токсичності, кумулятивності, мутагенності та ЛОШ речовини. Розрізняють чотири класи шкідливості речовин: перший — надзвичайно шкідливі; другий — високошкідливі; третій — шкідливі; четвертий — помірно шкідливі.

При оцінюванні якості води використовують принцип адитивності — односпрямованої дії, відповідно до якого належність кількох речовин до однієї і тієї самої ЛОШ виявляється у підсумовуванні їх негативного впливу. Оцінювання якості води з точки зору екологічної безпеки для різних потреб водокористування здійснюється за певною методикою, а саме: водні об'єкти вважають придатними для комунально-побутового та господарсько-питного водокористування, якщо одночасно виконуються такі умови:

- не порушуються загальні вимоги до складу та властивостей води для відповідної категорії водокористування;
- щодо речовин, які належать до третього та четвертого класу шкідливості, виконується умова:

$$C < ГДК,$$

де  $C$  — концентрація речовини у водному об'єкті,  $г/м^3$ ;

- щодо речовин, які належать до першого та другого класів шкідливості, виконується умова:

$$\sum \frac{C_i}{ГДК_i} \leq 1,$$

де  $C_i$  та  $ГДК_i$ , — відповідно, концентрація і  $ГДК$   $i$ -тої речовини першого чи другого класів шкідливості.

Водні об'єкти вважають придатними для рибогосподарського водокористування, якщо одночасно виконуються такі умови:

- не порушуються загальні вимоги до складу і властивостей води для відповідної рибогосподарської категорії;
- для речовин, які належать до однакових ЛОШ, виконується умова:

$$\sum \frac{C_i}{ГДК_i} \leq 1,$$

де  $C_i$  та  $ГДК_i$  — відповідно концентрація і  $ГДК$   $i$ -тої речовини, яка належить до певної ЛОШ.

Норми якості води повинні виконуватись:

- для водотоків комунально-побутового та господарсько-питного водокористування — на ділянках від пункту водокористування до контрольного створу, який розташований на відстані не менше одного кілометра вище за течією від цього пункту водокористування;
- для водойм комунально-побутового та господарсько-питного водокористування — на акваторії в радіусі не менше одного кілометра від пункту водокористування;
- для водотоків рибогосподарського водокористування — в межах всієї рибогосподарської ділянки водо-току, починаючи з контрольного створу, який розташований не далі 500 метрів нижче по течії від джерела надходження домішок;
- для водойм рибогосподарського призначення — на всій рибогосподарській ділянці, починаючи з контрольного пункту, який розташований в радіусі не більше 500 метрів від місця надходження домішки.

Основними факторами, які спричиняють зміни природного складу води, є скиди промислових, комунально-побутових та інших стічних вод, однак якість води у водоймах формується під впливом багатьох чинників: надходження та винос хімічних речовин із стічними водами; переміщення та

розбавлення забруднень, що надійшли до водойм; хімічні процеси трансформації та взаємодії забруднюючих речовин з природними компонентами води; біохімічних, біологічних, фізико-хімічних і фізичних процесів, що відбуваються у водних середовищах.

Водні маси, до яких надходять стічні води, забруднюються, тобто відбувається процес зміни їх складу та властивостей, який призводить до погіршення якості води. Залежно від інтенсивності впливу стічних вод на водні маси річок або водойм виділяють зони забруднення і зони впливу забруднюючих скидів.

Зона забруднення — частина потоку, в якій при надходженні забруднюючих речовин порушуються природні біологічні і біохімічні процеси, а концентрація забруднюючих речовин перевищує прийняті норми за санітарними, рибогосподарськими та іншими показниками.

Ґрунти в цій зоні також забруднені.

Зона впливу забруднення — частина потоку, в яку надходять стічні води із зони забруднення або безпосередньо зі скиду, але внаслідок невисокої концентрації забруднюючих речовин або короткотривалого забруднення в ній зберігається природний перебіг біологічних та біохімічних процесів.

У забруднених водних об'єктах відбуваються фізико-хімічні та інші процеси, спрямовані на відновлення природного стану вод, тобто їх самоочищення. Основними з них є процеси розбавлення (зниження концентрації забруднюючих речовин, які входять до складу стічних вод за рахунок змішування з водою річки або водоймища) та трансформації (перетворення) забруднюючих речовин.

Розрахунок розбавлення стічних вод в річці або водоймищі може бути використаний для оцінки всього комплексу явищ, які визначають самоочищення, при введенні числових характеристик фізико-хімічних та біохімічних процесів. Найчастіше застосовують методи обчислення розбавлення, оснований на використанні рівнянь турбулентної дифузії. У

результаті розрахунків можна одержати значення максимальної концентрації забруднюючої речовини на будь-якій відстані від місця скиду стічних вод. Якість води у визначеній точці оцінюють, порівнюючи максимальну концентрацію забруднюючої речовини з її гранично допустимим значенням. Максимальна концентрація лімітуючої речовини в річці нижче стоку стічних вод змінюється в межах  $C_{п} < C_{макс} < C_{ст}$ , Де  $C_{п}$  — середня концентрація речовини, яка визначається за формулою:

$$C_{п} = \frac{Q_p C_p + Q_{ст} C_{ст}}{Q_p + Q_{ст}}, \text{мг/л, (а)}$$

де  $Q_p, Q_{ст}$  — відповідно витрата води в річці та витрата стічних вод,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $C_p, C_{ст}$  — відповідно концентрація речовини у воді річки та в стічних водах,  $\text{мг/л}$ .

При обчисленні розбавлення користуються зведеними значеннями концентрації забруднюючих речовин

( $C_{звед}$ )-  $C_{п}^0$  величину визначають як перевищення над природним фоном. Якщо  $C$  — дійсна концентрація забруднюючої речовини в зоні забруднення, то

$$C_{звед} = C - C_p$$

Зведена концентрація забруднюючих речовин в стічних водах становитиме:

$$C_{ст.звед} = C_{ст} - C_p.$$

Для зручності розрахунки виконують у відносних величинах концентрації, наприклад у відсотках від  $C_{ст.звед}$  приймаючи, що  $C_{ст.звед} = 100\%$ . Істинні значення концентрації забруднюючих речовин в будь-якій точці розрахункового поля одержують шляхом переходу від відносних величин до абсолютних з подальшим підсумовуванням розрахункової та фонові концентрацій.

При оцінюванні розбавлення води використовують показник розбавлення  $n$  та коефіцієнт змішування  $u$ . Розбавлення  $n$  є універсальною характеристикою, яка показує, у скільки разів знизилася концентрація

забруднюючої речовини в стічних водах на певній ділянці річки. Величина показника визначається за формулою:

$$n = (C_{ст} - C_p) / (C_{мак} - C_p).$$

Коефіцієнт змішування  $n$  показує, яка частина витрати води змішується зі стічними водами. Розбавлення та коефіцієнт змішування пов'язані між собою залежностями:

$$n = (Q_{ст} + \gamma Q_p) / Q_{ст};$$

$$y = (n - 1) Q_{ст} / Y_p$$

Коефіцієнт змішування обчислюють тільки у тому випадку, коли стічні води поширюються в розрахунковому створі не по всій ширині потоку.

Зниження концентрації забруднюючих речовин у стічних водах одночасно з розбавленням зумовлюють біохімічні та фізико-хімічні процеси, які відбуваються у водних об'єктах. Одним із способів кількісної оцінки зниження концентрації внаслідок цих процесів є коефіцієнт неконсервативності  $k_n$ , який сумарно враховує швидкість перетворення речовин. Його значення визначають за даними лабораторних досліджень. Значення цього коефіцієнту є від'ємними, а його розмірність  $\text{доб}^{-1}$  (1/доб),  $\text{с}^{-1}$  (1/с). Наприклад, у Невській Губі такі значення коефіцієнта неконсервативності при  $0^\circ\text{C}$ : нафтопродукти —  $2 \cdot 10^{-7}$ , феноли —  $1,5 \cdot 10^{-8}$ , СПАР —  $2,1 \cdot 10^{-7}$ , фосфор мінеральний — 0, БСК<sub>5</sub> —  $4 \cdot 10^{-7}$ .

У загальному вигляді процес біохімічного перетворення може бути описаний рівнянням першого порядку:

$$C_t = C_0 \exp(-k_1 + k_2 + \dots + k_n) i),$$

де  $C_0$ ,  $C_t$  — концентрація речовини, відповідно, в початковий момент та в момент часу  $i$ ;  $k_n$  — коефіцієнти, які належать певному процесу, що враховують перетворення речовин у водному об'єкті.

На практиці можна також вести розрахунок за основним процесом трансформації речовини, нехтуючи процесами, що мають другорядні значення:

$$C_t = C_0 \exp(-k_1 i).$$

Отже, якість води оцінюють шляхом порівняння вмісту певних речовин з показниками, встановленими «Правилами охорони поверхневих вод від забруднення стічними водами».

Екологічна оцінка якості поверхневих вод суші та естуаріїв України. Екологічні нормативи якості води для оцінки стану водних об'єктів визначають на основі екологічної класифікації поверхневих вод. Залежно від значень параметрів якості води поверхневі води відносять до певної категорії та класу якості води, які з'ясовують за певною методикою.

В Україні у 1994 р. Міністерством охорони навколишнього природного середовища та ядерної безпеки України було розроблено і запроваджено «Екологічну оцінку якості поверхневих вод суші та естуаріїв України» (КНД 211.1.4.010-94). Цей документ є основою для оцінки якості поверхневих вод суші та естуаріїв (ділянок гідросфери, які є перехідними зонами між поверхневими водами суші та морями) України з екологічних позицій і отримання інформації про стан екосистем водних об'єктів.

Екологічна оцінка якості вод — віднесення води до певного класу, категорії згідно з екологічною класифікацією на підставі аналізу значень показників її складу і властивостей.

Екологічна оцінка якості вод дає інформацію про воду як складову водної екосистеми, життєве середовище гідробіонтів і важливу частину природного середовища людини.

Водна екосистема — екологічна система водного об'єкта, в якій нерозривно поєднуються неживе середовище та біота (складний комплекс угруповань і популяцій рослин, тварин, мікроорганізмів).

Екологічну характеристику якості поверхневих вод суші та естуаріїв України надають за екосистемним принципом, її об'єктивність забезпечує широкий комплекс показників, які характеризують абіотичну і біотичну складові водних екосистем.

Екологічна оцінка якості є основою для з'ясування тенденцій її змін в часі і просторі, визначення впливу антропогенного навантаження на

екосистеми водних об'єктів, оцінки змін стану водних ресурсів, вирішення економічних і соціальних питань, пов'язаних із забезпеченням охорони довкілля, інформування громадськості, а також оцінювання обсягів впливу людської діяльності на навколишнє середовище, визначення певних водоохоронних регламентів і застережень (стосовно кожного водного об'єкта окремо), планування і здійснення водоохоронних заходів та оцінки їх ефективності.

Комплекс показників для оцінки якості поверхневих вод формують загальні та специфічні показники. Загальні показники, до яких належать показники сольового складу і трофо-сапробності вод (еколого-санітарні), характеризують звичайні властиві водним екосистемам інгредієнти, концентрації яких можуть змінюватися під впливом господарської діяльності. Специфічні показники характеризують вміст у воді забруднюючих речовин токсичної і радіаційної дії.

Система оцінки якості поверхневих вод суші та естуаріїв України охоплює три блоки показників:

- блок показників сольового складу;
- блок трофо-сапробіологічних (еколого-санітар-них) показників;
- блок специфічних показників токсичної і радіаційної дії.

Оцінка сольового складу поверхневих вод передбачає:

- 1) визначення мінералізації, або галинності (від гр. паїв — сіль) вод (табл. 1);
- 2) визначення класу, групи і типу вод за йонним складом (співвідношенням основних йонів) (табл. 2); Таблиця 1

Ступінь мінералізації вод, г/дм

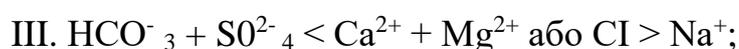
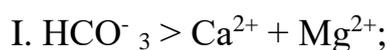
Прісні води				Солонуваті води		Солоні води, %		
гапогалинні		олігогалиніші		мезогалиїпіі		поліга- линні	евга- линні	ультра- галинні
<b>P</b>	a	<b>P</b>	a	<b>P</b>	a			
< 0,10	0,10— 0,50	0,51 — 0,75	0,76 — 1,00	1,01 — 5,00	5,01 — 18,00	18,01— 30,00	30,01 — 40,00	> 40,0

Таблиця 2

## Класифікація води за іонним складом

Клас	Гідрокарбонатні (С)						Сульфатні (S)						Хлоридні (Cl)					
	Ca		Mg		N3		Ca		Mg		N3		Ca	Me	N3			
Тип	I	II	III	I	II	III	I	II	III	II	III	IV	I	III	IIIIV	IIIIV	I	III

3) клас води визначають за переважаючими аніонами, групу — за переважаючими катіонами, тип води — за співвідношенням між йонами (в еквівалентах):



4) оцінку якості прісних вод за вмістом компонентів сольового складу, що відображає ступінь їх антропогенного забруднення хлоридами, сульфатами та іншими йонами (табл. 3).

Таблиця 3

## Оцінка якості прісних вод за вмістом компонентів сольового складу

Показник, мг/дм	Категорія якості води							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Сума йонів	< 300	300— 500	501 — 750	751 — 400	901 — ,1250	1251— 1750	1751— 2000	> 2000
Хлориди	< 25	25— 50	51— 75	76— 100	101 — 150	151— 250	251— 500	> 500
Сульфати	< 25	25— 50	51— 75	76— 100	101 — 150	151— 200	201— 400	> 400

Екологічна класифікація якості поверхневих вод за трофосапробіологічними (еколого-санітарними) критеріями (табл. 4.11) включає такі групи показників:

1) гідрофізичні — завислі речовини, прозорість;

- 2) гідрохімічні — рН, концентрації азоту амонійного, нітритного, нітратного, фосфору фосфатів, розчиненого кисню, перманганатна та біхроматна окисності (ХСК), БСК;
- 3) гідробіологічні — біомаса фітопланктону, індекс самоочищення/самозабруднення (А/К) — відношення величини валової первинної продукції фітопланктону до величини деструкції органічної речовини у планктоні; самозабруднення вод — погіршення їх якості внаслідок функціонування водних екосистем, зокрема надмірного продукування органічної речовини водними рослинами (насамперед фітопланктоном);
- 4) бактеріологічні — чисельність бактеріопланктону та сапрофітних бактерій;
- 5) біоіндикація сапробності — індекси сапробності за системами Пантле-Букка і Гуднайта-Уітля.

Для забезпечення обґрунтованих висновків загальна кількість показників цього блоку повинна бути не менша 10.

Екологічну оцінку якості поверхневих вод суші та естуаріїв України за специфічними показниками токсичної дії визначають на підставі наявності й вмісту у воді низки інгредієнтів (ртуті, кадмію, міді, цинку, свинцю, хрому, нікелю, арсену, заліза, марганцю, фторидів, ціанідів, нафтопродуктів, фенолів (летючі), СПАР, хлорорганічних та фосфорорганічних пестицидів. Оцінку важких металів дають за їх загальним вмістом у воді.

Оцінку якості поверхневих вод за специфічними показниками радіаційної дії виконують за такими показниками: сумарна р-активність, концентрація стронцію-90 та цезію-137, керуючись даними табл. 4.12.

Конкретні гідрофізичні, гідрохімічні, гідробіологічні та специфічні кількісні показники є елементарними ознаками якості води. Комплексні кількісні ознаки, що побудовані на інтегруванні елементарних ознак, використовуються як узагальнюючі ознаки якості води. На основі елементарних і узагальнюючих ознак визначають класи, категорії та індекси

якості води, зони і підзони сапробності, категорії і підкатегорії трофності (табл. 4.13).

Таблиця 4.11

## Трофо-сапробіологічні (еколого-санітарні) показники

Показник	Категорія якості води								
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Гідрохімічні									
Завислі речовини, мг/дм <sup>3</sup>	< 5	5—10	11—20	21—30	31—50	51—100	101—200	> 200	
Прозорість, м (по диску Секкі)	> 1,50	1,00—1,50	0,65—0,95	0,50—0,60	0,35—0,45	0,25—0,30	0,15—0,20	< 0,15	
Гідрохімічні									
РН	6,9—7,0 7,1—7,5	6,7—6,8 7,6—7,9	6,5—6,6 8,0—8,1	6,3—6,4 8,2—8,3	6,1—6,2 8,4—8,5	5,9—6,0 8,6—8,7	5,5—5,8 8,8—9,0	< 5,5 > 9,0	
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мгN/дм <sup>3</sup>	< 0,10	0,10—0,20	0,21—0,30	0,31—0,50	0,51—1,00	1,01—2,50	2,51—5,00	> 5,00	
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , мгN/дм <sup>3</sup>	< 0,002	0,002—0,005	0,006—0,01	0,011—0,020	0,021—0,050	0,051—0,100	0,101—0,300	> 0,300	
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мгN/дм <sup>3</sup>	< 0,20	0,20—0,30	0,31—0,50	0,51—0,70	0,71—1,00	1,01—2,50	2,51—7,50	> 7,5	
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , мгN/дм <sup>3</sup>	< 0,015	0,015—0,030	0,031—0,050	0,051—0,100	0,101—0,200	0,201—0,300	0,301—0,600	> 0,600	
O <sub>2</sub> , мгO <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	> 8,0	7,6—8,0	7,1—7,5	6,1—7,0	5,1—6,0	4,1—5,0	2,0—4,0	< 2,0	
% насичення	96—100 101—105	91—95 106—110	81—90 111—120	71—80 121—130	61—70 131—140	41—60 141—150	20—40 151—160	< 20 > 160	
Перманганатна окислюваність, мгO/дм <sup>3</sup>	< 4,0	4,0—6,0	6,1—8,0	8,1—10,0	10,1—15,0	15,1—20,0	20,1—25,0	> 25	
Біхроматна окис- люваність, мгO/дм <sup>3</sup>	< 12	12—18	19—25	26—30	31—40	41—60	61—80	> 80	

1	2	3	4	5	6	7	8	9
ВСК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	< 0,7	0,7—1,2	1,3—1,6	1,7—2,1	2,2—4,0	4,1—7,0	7,1—15,0	> 15,0
Гідробіологічні								
Біомаса фітопланктону, мг/дм <sup>3</sup>	< 0,5	0,5—1,0	1,1—1,2	2,1—5,0	5,1—10,0	10,1—50,0	50,1—100,0	> 100,0
Індекс самоочищення/самозабруднення (A/R)	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,2—0,4	< 0,2
Бактеріологічні								
Чисельність бактеріопланктону, млн.кл./мл	< 0,5	0,5—1,5	1,6—2,5	2,6—5,0	5,1—7,0	7,1—10,0	10,1—20,0	> 20,0
Чисельність сапрофітних бактерій, тис. кл./мл	< 0,5	0,6—1,0	1,1—3,0	3,1—5,0	5,1—10,0	10,1—25,0	25,1—100,0	> 100,0
Біоіндикація сапробності (індекс сапробності)								
За Пангле-Букком	< 1,0	1,0—1,5	1,6—2,0	2,1—2,5	2,6—3,0	3,1—3,5	3,6—4,0	> 4,0
За Гуднайтом-Уілсєм	1—20	21—35	36—44	45—50	51—57	58—65	66—85	86—100
Зони сапробності	Олігосапробна	α-олігосапробна	β-мезосапробна	β''-мезосапробна	α-мезосапробна	α''-мезосапробна	полісапробна	α-полісапробна
Категорії трофності (переважаючий тип)	β-олігосапробна	α-олігосапробна	β'-мезосапробна	β''-мезосапробна	α'-мезосапробна	α''-мезосапробна	β-полісапробна	α-полісапробна
	Оліготрофна	Мезотрофна	Мезотрофна	Евтрофна	Евтрофна	Політрофна	Політрофна	Гіпертрофна
	Олігоме-зотрофна	Мезотрофна	Мезоев-трофна	Евтрофна	Евполі-трофна	Політрофна	Полігіпер-трофна	Гіпер-трофна

Специфічні показники токсичної ( $\text{мкг}/\text{дм}^3$ ) і радіаційної ( $\text{Кі}/\text{дм}^3$ ) дії

Показник	Категорії якості води							
	I-II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
Ртуть	< 0,1	0,1-0,2	0,3-0,5	0,6-1,0	1,1-2,5	2,6-5,0	> 5,0	
Кадмій	< 0,1	0,1-0,2	0,3-0,5	0,6-1,5	1,6-5,0	5,1-10,0	> 10,0	
Мідь	< 1	1-2	3-10	11-25	26-50	51-100	> 100	
Цинк	< 1,0	10-20	21-50	51-100	101-200	201-300	> 300	
Свинець	< 2	2-10	11-20	21-50	51-100	101-200	> 200	
Хром	< 2	2-5	6-10	11-25	26-50	51-100	> 100	
Нікель	< 1	1-10	11-20	21-50	51-100	101-200	> 200	
Арсен	< 1	1-5	6-15	16-25	26-35	36-50	> 50	
Залізо	< 50	50-100	101-500	501-1000	1001-2500	2501-5000	> 5000	
Марганець	< 10	10-50	51-100	101-500	501-1250	1251-2500	> 2500	
Фториди	< 100	100-150	151-200	201-500	501-1000	1001-3000	> 3000	
Ціаніди	0	< 10	10-25	26-50	51-100	101-150	> 150	
Нафтопродукти	< 10	10-50	51-100	101-200	201-300	301-750	> 750	
Феноли (летючі)	0	< 1	1-2	3-5	6-20	21-100	> 100	
СПАР	0	< 20	20-50	51-100	101-250	251-1000	> 1000	
Хлорорганічні пестициди	0	< 1	1-5	6-10	11-50	50-250	> 250	
Фосфорорганічні пестициди (тіофос)	0	< 1	1-3	4-10	11-25	26-50	> 50	
Сумарна $\beta$ -активність	< $0,44 \cdot 10^{-11}$	$(0,44-0,75) \cdot 10^{-11}$	$(0,76-1) \cdot 10^{-11}$	$(1,1-15) \cdot 10^{-11}$	$(15,1-27) \cdot 10^{-11}$	$(27,1-50) \cdot 10^{-11}$	> $50 \cdot 10^{-11}$	
$^{90}\text{Sr}$	< $6,2 \cdot 10^{-13}$	$(6,2-9,9) \cdot 10^{-13}$	$(1-3) \cdot 10^{-12}$	$(3,1-40) \cdot 10^{-12}$	$(4,1-8,9) \cdot 10^{-11}$	$(9-40) \cdot 10^{-11}$	> $4 \cdot 10^{-10}$	
$^{137}\text{Cs}$	< $1,2 \cdot 10^{-13}$	$(1,2-5) \cdot 10^{-13}$	$(5,1-50) \cdot 10^{-13}$	$(5,1-150) \cdot 10^{-12}$	$(1,6-15) \cdot 10^{-10}$	$(1,6-15) \cdot 10^{-9}$	> $1,5 \cdot 10^{-8}$	

Таблиця 4

## Класи та категорії якості поверхневих вод суші

Клас якості води	I	II		III		IV	V
Категорія якості води	1	2	3	4	5	6	7
Назва класів і категорій якості вод за ступенем їх чистоти (антропогенної забрудненості)	Дуже чисті	Чисті		Забруднені		Брудні	Дуже брудні
	Дуже чисті	Чисті	Достатньо чисті	Слабо забруднені	Помірно забруднені	Брудні	Дуже брудні
Трофність	Оліготрофні	Мезотрофні		Евтрофні		Політрофні	Гіпертрофні
	Олігомезотрофні	Мезотрофні	Мезоевтрофні	Евтрофні	Евполітрофні	Політрофні	Гіпертрофні
Сапробність	Олігосапробні		р-мезосапробні		а-мезосапробні		Полісапробні
	Олігосапробні	Мезосапробні	р-мезосапробні	Мезосапробні	а-мезосапробні	Полісапробні	Полісапробні

За системою екологічної оцінки якості поверхневих вод суші та естуаріїв України виокремлюють вісім категорій якості води, які базуються на узагальнюючих ознаках: I — відмінна; II — добра; III — досить добра; IV — задовільна; V — посередня; VI — погана; VII — дуже погана; VIII — занадто погана.

Категорії якості води відображають природний стан, а також ступінь антропогенного забруднення поверхневих вод суші. За ступенем забруднення якість води поділяють на такі категорії: I — дуже чиста; II — чиста; III —

досить чиста; IV — слабо забруднена; V — помірно забруднена; VI — сильно забруднена; VII — брудна; VIII — дуже брудна.

За трофо-сапробіологічними (еколого-санітарними) показниками вони відповідають певним підкатегоріям трофності і підзонам сапробності:

I — олігомезотрофна,  $\beta$ -олігосапробна; II — мезотроф-на,  $\alpha$ -олігосапробна; III — мезоевтрофна,  $\beta$ -мезосапробна; IV — евтрофна,  $\beta$ -мезосапробна; V — евполітрофна,  $\alpha$ -мезосапробна; VI — політрофна,  $\alpha$ -мезосапробна; VII — полігіпертрофна,  $\beta$ -полісапробна; VIII — гіпер-трофна,  $\alpha$ -полісапробна.

Основою для екологічної оцінки якості поверхневих вод є таблиці з градаціями величин усіх показників, що відповідають категоріям якості води. Екологічна оцінка якості води в певному водному об'єкті може бути орієнтовною і ґрунтовною.

Орієнтовна екологічна оцінка є необхідною з розвідувальною (рекогносцирувальною) метою для вироблення попередніх висновків та рішень і з'ясування на основі разових вимірів окремих показників якості води.

Ґрунтова узагальнююча оцінка необхідна для переконливих, відповідальних висновків і рішень. Процедура виконання ґрунтової екологічної оцінки відбувається у чотири послідовні етапи:

- 1) групування і оброблення вихідних даних (результатів систематичного контролю якості води);
- 2) визначення класів і категорій якості води за окремими показниками;
- 3) узагальнення оцінок якості води за окремими показниками (вираженими в класах і категоріях) по окремих блоках з визначенням інтегральних значень класів і категорій якості води;
- 4) визначення об'єднаної оцінки якості води для певного водного об'єкта загалом, його окремих ділянок за певний період спостережень.

Вихідні дані щодо якості води за окремими показниками групують у просторі і часі, а також в межах трьох блоків. Згруповані показники якості води, тобто вихідні дані, обробляють: обчислюють середньоарифметичні та

визначають найгірші (мінімальні чи максимальні) значення. Екстремальні значення показників аналізують з метою з'ясування природних чи антропогенних факторів, які могли їх спричинити, і прийняття рішень про використання чи вилучення цих значень.

Класи і категорії якості води для окремих показників визначають, зіставляючи середні і найгірші (максимальні чи мінімальні) значення показників з критеріями спеціалізованих класифікацій.

Узагальнення оцінок за окремими показниками з визначенням інтегральних значень класів і категорій якості води виконують на основі аналізу показників у межах відповідних блоків. Це узагальнення полягає у визначенні середніх і найгірших значень для трьох блокових індексів якості води:

- середні значення визначають, обчислюючи середній номер категорії за всіма показниками блоку;
- найгірші значення визначають за відносно найгіршим показником (з найбільшим номером категорії) серед всіх показників блоку.

Об'єднану оцінку якості води для певного водного об'єкта загалом чи окремих його ділянок отримують, обчислюючи інтегральний, або екологічний, індекс  $I_E$ , величина якого дорівнює середньому арифметичному значень блокових індексів:

$$I_E = (I_1 + I_2 + I_3) / 3$$

де  $I_1$  — індекс забруднення компонентами сольового складу;  $I_2$  — індекс трофо-сапробіологічних (еколого-санітарних) показників;  $I_3$  — індекс специфічних показників токсичної і радіаційної дії.

Екологічний індекс якості води, як і блокові індекси, обчислюють для середніх і найгірших значень категорій окремо (він може бути дробовим числом). За допомогою екологічного індексу можлива оцінка і зіставлення рівня екологічного благополуччя води по окремих ділянках водних об'єктів, по басейнах, регіонах і загалом по Україні, проте при цьому необхідно користуватися однаковим переліком показників.

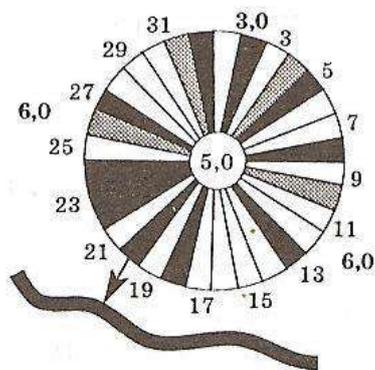
Результати екологічної оцінки якості поверхневих вод подають у вигляді таблиць, графіків і карт.

Для водотоків результати доцільно подавати у вигляді профілю якості води, на якому показують:

- довжину річки та її приток (в км) від гирла;
- місцезнаходження джерел антропогенної дії;
- контрольні та водомірні пости;
- криву достовірних витрат води вздовж течії ріки;
- значення показників якості води.

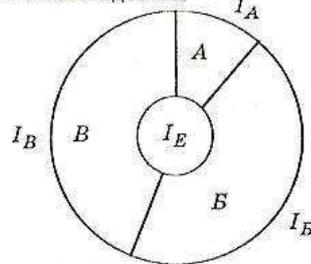
Найзручнішим способом подання результатів екологічної оцінки якості води є картографічний. Карта наочно демонструє розподіл забруднення в річці залежно від скидання стоків, впадання приток та процесів самоочищення. Відповідно до потреб розробляють карти, що відображають:

- узагальнену екологічну оцінку якості води;
- якість води за окремими блоками показників;
- якість води за окремими показниками (рис. 1).



**Екологічна оцінка якості поверхневих вод**

За блоковим індексом



A — сольовий склад  
 B — трофо-сапробіологічні показники  
 B — специфічні показники  
 I<sub>A</sub>, I<sub>B</sub>, I<sub>B</sub> — блокові індекси  
 I<sub>E</sub> — інтегральний індекс

За сольовим складом, трофо-сапробіологічними показниками, спеціальними показниками токсичної радіаційної дії

За інтегральним екологічним індексом (згідно з класами якості води)

Умовне позначення	Клас якості вод	Категорія якості вод	Характеристика вод за якістю	Умовне позначення	Характеристика вод за якістю
	I	1	відмінні		відмінна
	II	2	дуже добрі		добра
		3	добрі		
	III	4	задовільні		задовільна
		5	посередні		
	IV	6	погані		погана
	V	7	дуже погані		дуже погана
	дані відсутні				дані відсутні

**Показники якості поверхневих вод**

<i>A — сольовий склад</i>	<i>B — трофо-сапробіологічні показники</i>	<i>B — специфічні показники токсичної і радіаційної дії</i>
1 — сума йонів	4 — завислі речовини	13 — ХПК
2 — хлориди	5 — рН	14 — БПК <sub>5</sub>
3 — сульфати	6 — азот амонійний	15 — біомаса фітопланктону
	7 — азот нітритний	16 — індекс сапробності
	8 — азот нітратний	17 — чисельність бактеріо-планктону
	9 — фосфор фосфатів	18 — чисельність сапробіотних бактерій
	10 — розчинений кисень	
	11 — ступінь насичення киснем	
	12 — перманганатна окисність	
		19 — мідь
		20 — цинк
		21 — залізо
		22 — марганець
		23 — хром
		24 — нікель
		25 — ртуть
		26 — свинець
		27 — нафто-продукти
		28 — феноли
		29 — СПАР
		30 — сумарна β-активність
		31 — стронцій-90
		32 — цезій-137

Рис. 1. Приклад зображення на карті результатів екологічної оцінки якості вод у пунктах спостереження і контролювання.

Екологічна оцінка якості води може бути зображена на карті для всього водного об'єкта (вздовж всього водотоку чи на всій площі водойми) або ж стосовно конкретних пунктів контролю за допомогою відповідних позначок. Останній спосіб при обмеженому обсязі інформації коректніший.

**Інтегральні показники оцінки якості води.** На практиці для оцінки якості поверхневих вод широко застосовують інтегральні показники, які дають змогу одержувати повну характеристику процесів, що відбуваються у

водному середовищі. Систему інтегральних показників формують три групи: показники навантаження, які оцінюють навантаження потоку за середньою концентрацією забруднюючої речовини в його поперечному перерізі; показники просторового розподілу забруднення в річках та водоймах; показники, що враховують зовнішній водообмін водоймищ. На практиці широко використовуються показники перших двох груп.

До показників загального навантаження (першої групи) забруднюючими речовинами належать:

— абсолютний показник загального навантаження. Загальне навантаження потоку консервативними речовинами або сумою речовин виражається концентрацією  $C_{\Pi}$  цих речовин, які визначаються з умов балансу речовини (формула (а) 4.4). Величина  $C_{\Pi}$  у створі повного змішування виражає дійсне значення концентрації забруднюючого інгредієнта; для створів, які розміщені між місцем скиду стічних вод і створом повного змішування, величина умовно характеризує середню концентрацію.

Якщо у воді річки концентрація забруднюючої речовини  $C_p = 0$ , то

$$C_{\Pi} = (Q_{ст} C_{ст}) / (Q_p + Q_{ст}), \text{ мг/л.}$$

Показник  $C_p$  дає змогу одержати повну характеристику навантаження потоку забруднюючими речовинами протягом будь-якого проміжку часу;

— показники перевищення або неперевикнення забруднення відносно норми.

Показник перевищення забруднення  $R_{заб}$  над нормою виражається забезпеченістю стоку забрудненої води в певному створі. Його забезпеченість обчислюють за кількістю днів, протягом яких через створ проходить забруднений потік. Для визначення  $R_{заб}$  зручно користуватися графічним способом. Будується крива забезпеченості  $C_{\Pi}$ , і проводиться пряма яка відповідає ГДК забруднюючої речовини. Точку на перетині кривої  $C_{\Pi} = I(P)$  з прямою ГДК характеризує  $R_{заб}$ , тобто перевищення середньої концентрації речовини над нормованою.

Показник неперевикнення забрудненості відносно норми  $R_{чиспг}$ , який характеризує забезпеченість «чистого» стоку, обчислюють за формулою:

$$P_{\text{чист}}=100-P_{\text{заб}}.$$

Це показники відносного та гранично допустимого навантаження потоку забруднюючими речовинами. Показник відносного навантаження потоку певною забруднюючою речовиною визначають шляхом зіставлення розрахункового значення  $C_{\text{п}}$  з гранично допустимою концентрацією речовини. При цьому можливі два випадки:  $C_{\text{п}} > \text{ГДК}$  (вода брудна),  $C_{\text{п}} < \text{ГДК}$  (вода чиста). Підставивши ці нерівності у формулу (а) та перетворивши їх, можна отримати:

$$(C_{\text{ст}} - C_{\text{гдк}}) Q_{\text{ст}} / (C_{\text{гдк}} - C_{\text{р}}) Q_{\text{р}} \gg 1.$$

Ліву частину нерівності позначають через /:

$$f = (C_{\text{ст}} - C_{\text{гдк}}) Q_{\text{ст}} / (C_{\text{гдк}} - C_{\text{р}}) Q_{\text{р}}$$

Показник  $f$  називають показником відносного навантаження потоку забруднюючою речовиною. При  $f > 1$  — вода брудна, при  $f < 1$  — вода чиста, при  $f=1$  — вода відповідає граничним умовам навантаження водоймища забруднюючою речовиною.

До другої групи належать показники просторового розподілу забруднення в річках та водоймах. Внаслідок скиду стічних вод у ріки та водоймища біля водних об'єктів формуються зони забруднення, розміри яких змінюються залежно від режимних характеристик потоку (рівня, швидкості течії), а також у зв'язку з змінами скиду стічних вод. Для оцінки забрудненості водного об'єкта використовують відносні розміри зон забруднення (лінійні розміри, площа, об'єм) та характеристику їх зміни. Показники цієї групи розраховують на основі даних детальних натурних досліджень локальних зон забруднення або за даними теоретичних розрахунків цих зон. Виокремлюють такі відносні показники забруднення: лінійні ( $X_{\text{заб}}$ ); площі ( $\Gamma_{\text{заб}}$ ) та об'єму ( $V_{\text{заб}}$ ).

Для характеристики лінійних розмірів зон забруднення розраховують два відносних показники:  $XN_{\text{заб}}$ ,

$\lambda B_{\text{заб}}$ , які показують відношення найбільшої лінійної довжини зони забруднення ( $B_{\text{заб}}$ ) до певної характерної глибини ( $H$ ) або ширини водного об'єкта ( $B$ ):

$$\lambda h_{\text{заб}} = L_{\text{заб}}/h$$

$$\lambda b_{\text{заб}} = L_{\text{заб}}/b$$

де  $B_{\text{заб}}$  — відстань від місця випуску стічних вод до створу, де концентрація лімітуючої речовини дорівнює ГДК;  $h$ ,  $b$  — середні значення глибини та ширини ділянки, що розглядається.

Для водойм показник  $X B_{\text{заб}}$  не визначають.

Показники відносної площі зони забруднення ( $\eta_{\text{заб}}$ ) та відносного об'єму області забруднення ( $\mu_{\text{заб}}$ ) визначають за формулами:

$$\eta_{\text{заб}} = \Omega_{\text{заб}}/\Omega_{\text{заг}}$$

$$\mu_{\text{заб}} = W_{\text{заб}}/W_{\text{заг}}$$

де  $\Omega_{\text{заб}}$ ,  $W_{\text{заб}}$  — площа та об'єм забруднення, розраховані або виміряні за певними гідрологічними умовами;  $\Omega_{\text{заг}}$ ,  $W_{\text{заг}}$  — загальна площа та об'єм води ділянки, що розглядається за тих самих умов.

Показники цієї групи можуть бути розраховані для певних середніх умов (наприклад, при  $Q_{50\%}$ ). Для найбільш несприятливих умов ( $Q_{95\%}$ ) Використання показників групи дає змогу оцінити зміну санітарного стану під впливом визначальних факторів — змін основних гідрологічних характеристик.

**Методи прогнозування якості води.** Прогнозування якості та кількості води у ріці або водоймищі є завершальним етапом моніторингу. Воно полягає у виявленні ймовірних напрямів і результатів розвитку явищ і процесів, оцінці показників, що характеризуватимуть їх у більше або менше віддаленому майбутньому.

Відповідно до темпів розвитку прогнозованого явища та господарського планування, прогнози поділяються на: оперативні — до 3 місяців; короткострокові — до 1 року; середньострокові — 1 — 5 років;

довгострокові — 5 — 20 років; понаддовгострокові — більше ніж на 20 років.

При виконанні прогнозу передусім необхідно встановити період завчасності, вибрати водні об'єкти та створи, показники якості води та метод прогнозування. Період завчасності прогнозування залежить від мети прогнозу. Із завчасністю пов'язана точність прогнозування, яка зменшується прямо пропорційно квадрату завчасності. Дані оперативного прогнозу точніші, довгострокового — мають імовірнісний характер.

Завданням прогнозування є виявлення і прогнозування незадовільного стану якості води при зміні гідрометеорологічних умов і аварійних скидах стічних вод. Головною метою прогнозу є завчасне передбачення концентрацій забруднюючої речовини у певному створі чи ділянці річки у вказаний момент часу. Одночасно можна спрогнозувати довжину забрудненої ділянки річки, час добігання забруднених водних мас від місця надходження до контрольного створу, розрахувати відстань до створу повного змішування. Такі прогнози складають для створів практично повного змішування стічних і річкових вод, а також для створів водокористування, якщо вони розміщені у зоні впливу стічних вод чи на ділянці проходження паводка.

Найчастіше для прогнозування застосовують методи екстраполяції та методи моделювання.

Метод екстраполяції оснований на припущенні про збереження в часі тенденції розвитку процесів, які відбуваються у водних об'єктах в період їх вивчення. За використання цього методу період спостережень має бути довготривалим (не менше, ніж у три рази більшим від прогнозованого періоду), охоплювати багатоводні та маловодні періоди стоку, а характер зміни якості та кількості стоку повинен мати стаціонарний і односпрямований режим. При стрибкоподібних змінах антропогенного навантаження на водний об'єкт екстраполяційний метод практично не використовують. Надостовірніше прогнози за цим методом одержують при екстраполяції

інтегральних кривих зміни кількості стоку під впливом стабільної господарської діяльності.

Метод моделювання ґрунтується на математичному описі або фізичному дослідженні гідродинамічних, фізико-хімічних та інших процесів, які відбуваються у водоймищі або водотоці та враховують закономірності зміни стану водного об'єкта із зміною основних факторів, що визначають цей стан.

Математичні моделі якості води базуються на диференціальних рівняннях з частковими похідними. За їх допомогою можна моделювати умови формування якості та кількості води — імітаційні моделі. Моделювання оптимальних умов стану водного об'єкта з урахуванням навантаження стічними водами проводиться за допомогою оптимізаційних моделей.

Моделі будуються для коротко- і довгострокових прогнозів. При виробленні короткострокових оперативних прогнозів варто застосовувати методи розрахунків, які використовують коефіцієнт дисперсії та неконсервативності, та такі, що дають змогу визначати поле розподілу забруднюючих речовин при скиді стічних вод. За довгострокового прогнозування якості води можна використовувати балансові методи розрахунку, які враховують як витрату стічних вод та водного об'єкта, так і концентрацію забруднюючих речовин.

На вибір математичних моделей для прогнозування якості води впливають наявність вихідних даних та завдання розрахунку. Моделі якості води повинні бути простими в практичному використанні, характеризуватися універсальністю та давати достатньо надійні результати.

Отже, господарська діяльність людського суспільства, яка зростає з кожним роком, призводить до виснаження і забруднення поверхневих вод, порушення їх гідрологічного і гідрохімічного режимів. Тому моніторинг поверхневих вод передбачає контролювання, спостереження, оцінювання та прогнозування стану водних об'єктів на майбутнє з метою вивчення динаміки

зміни якості води, закономірностей процесів самоочищення, визначення критичних ситуацій. Цей вид моніторингу поширився як складова в системі державного моніторингу і активно застосовується при дослідженні стану поверхневих вод. На основі отриманої інформації розробляють управлінські рішення для регулювання якості водних ресурсів, їх охорони і раціонального використання.

## **Тема 14. Моніторинг Світового океану**

### **14.1 . Джерела і види забруднення океану**

### **14.2. Процеси самоочищення морського середовища від забруднюючих речовин**

Світовий океан, який покриває більшу частину поверхні Землі, відіграє виняткову роль у забезпеченні життя на ній, формуванні погоди та клімату. Океани залучені до процесів глобального характеру: взаємодій води і атмосфери, які визначають клімат; біохімічних циклів хімічних елементів, що тісно пов'язані з циркуляцією речовин і енергії у природних екосистемах; фотосинтетичної активності водоростей, яка регулює баланс кисню та вуглекислого газу. Океани є джерелом забезпечення продуктами харчування та енергією, корисними копалинами.

Сучасний Світовий океан зазнає значного антропогенного впливу, який призводить до негативних наслідків, зокрема до зменшення обсягів відтворення біологічних ресурсів. У деяких його областях виникла напружена екологічна ситуація, утворилися поля хронічного забруднення. Надходження забруднюючих речовин антропогенного походження, активне вилучення біологічних ресурсів (риби і морепродуктів виловлюють більше 70 млн. т на рік) стали постійно діючими екологічними факторами, які деформують морські екосистеми. Останнім часом видобуток корисних копалин посилює негативний вплив на океан. Тому спостереження за екологічним станом Світового океану з метою розроблення ефективних заходів зі збереження цієї екосистеми з кожним роком стають усе необхіднішими.

### **14.1 Джерела і види забруднення океану**

Забруднюючі речовини надходять до Світового океану як природним шляхом, так і внаслідок господарської діяльності людини. Ці види

забруднень тісно взаємопов'язані, тобто антропогенні можуть посилювати природні небезпечні явища і навпаки.

До джерел природного забруднення океанів та морів належать:

- річковий стік;
- прямий стік із суші (терігенний стік);
- перенесення забруднюючих речовин через атмосферу.

Джерелами антропогенного забруднення Світового океану є:

- безпосередні скиди забруднюючих речовин в океан (переважно на його поверхню), зокрема нафтопродуктів при перевезенні, особливо у разі аварій танкерів;
- безпосереднє надходження забруднюючих речовин при підводних розробках та видобуванні мінеральних ресурсів;
- підводні викиди нафти та газу;
- аварійні викиди із суден або підводних трубопроводів;
- випробовування атомної зброї.

Сучасні дослідження забруднення Світового океану свідчать, що річковий і теригенний стоки, а також атмосферне перенесення є основними джерелами забруднення.

У процесі річкового виносу і стоку із суші забруднюються переважно прибережні води океану, внутрішніх морів, заток. В антропогенній складовій теригенного і річкового стоків переважають забруднюючі речовини, які містяться в промислових та комунальних водах, а також у змивах із сільськогосподарських угідь: важкі метали, біогенні сполуки, пестициди та нафтопродукти. У поверхневих водах, які надходять до Світового океану, обсяг антропогенного стоку переважно збігається з природним потоком хімічних елементів і їх з'єднань або навіть перевищує його.

На основі аналізу отриманих матеріалів моніторингу океанів з'ясовано, що основними видами забруднювачів стають вуглеводи (сира нафта, нафтопродукти,

нафтові вуглеводи); хлоровані вуглеводи (пестициди, поліхлоровані біфеніли); токсичні метали; радіоактивні речовини.

Наймасштабнішою є забруднення Світового океану нафтою та нафтопродуктами. Поля забруднення нафтовими вуглеводами формуються в шельфових водах, у районах перевезення нафти, інтенсивного судноплавства і аварій танкерів (табл. 5.1).

Таблиця 1

Забруднення океану внаслідок найбільших аварій нафтових танкерів

Рік	Назва танкера	Місце аварії	Кількість нафти, що вилася в море, тис. т
1967	«Торі каньйон»	Мис Корнуелл, Англія	123
1976	«Уркіоло»	Узбережжя Іспанії	100
1978	«Амоко Кадіс»	Узбережжя Франції	200
1990	«Екссон Валдіс»	Узбережжя Аляски	40

За даними космічного моніторингу, приблизно чверть Світового океану вкрито тонкою плівкою нафти або забруднено нафтою і нафтопродуктами. Нафтовою плівкою найбільше вкрита північна тропічна, центральна субтропічна та Канарські водні маси. Нафтопродукти трапляються в усіх районах безпосереднього забруднення й у відкритих районах океанів. Залежно від умов середовища та типу нафти нафтові плівки зберігаються на поверхні від кількох годин до кількох днів, нафтопродукти — від кількох місяців до року.

У водах океанів найчастіше наявні такі хлоровані вуглеводні, як дихлордифенілтрихлоретан (ДДТ) та його похідні гексахлорциклогексан (у-ГХЦГ), поліхлорбі-феніли (ПХБ). Розподіл хлорорганічних пестицидів в океані нерівномірний: чергуються зони підвищених, низьких та нульових концентрацій. Локальні ділянки зберігаються не тільки в зонах безпосереднього забруднення, а й у відкритих районах океану, що пояснюється атмосферним перенесенням і динамічним розсіюванням. Хлорорганічні пестициди проникають і в глибину океану. При цьому вміст їх

у шарі 0—100 м однорідний, а на глибині 500 м зменшується удвічі. У глибинних водах найпоширеніший ДДТ.

Концентрація синтетичних поверхнево активних речовин (СПАР) в океанах у середньому становить 27—30 мкг/л у поверхневому шарі та 8—9 мкг/л на глибині 500 м. Просторовий розподіл СПАР характеризується локалізацією полів забруднення (більше 100 мкг/л) у шельфових зонах Північної Америки, Західної Європи та Африки. У відкритому океані їх вміст знижується до 20—30 мкг/л і відзначається нерівномірністю розподілу в акваторії. У глибинних водах прослідковується зменшення вмісту СПАР.

Важкі метали належать до найпоширеніших і дуже токсичних речовин. Для морських екосистем особливо небезпечними є ртуть, свинець, кадмій. Надходячи до морського середовища, ртуть з'єднується із зваженими речовинами, органічними агрегатами й осідає на дно. У донних відкладеннях під дією деяких форм мікроорганізмів вона переходить у високотоксичні форми метилованої ртуті, період напіврозпаду якої досягає двох років. Для ртуті характерна глибинно-поверхнева міграція. Забруднення морської води цією речовиною обмежується прибережними зонами та шельфами. Міграційний потік свинцю з континентів в океан приходить із річковим стоком і через атмосферу. У морських при-бережних водах Північної півкулі середня концентрація свинцю становить 0,07 мкг/л, переважно він перебуває в шарі 0—500 м. Концентрація кадмію у водах Світового океану коливається від 0,03 до 0,3 мкг/л при середньому значенні 0,15 мкг/л.

Океану притаманна природна радіоактивність, спричинена присутністю в морській воді  $^{40}\text{K}$  (зумовлює 90 % природної радіоактивності, що становить  $18,5 \cdot 10^{21}$  Бк),  $^{87}\text{Rb}$ ,  $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ , ізотопів урану та торію. Однак найбільш небезпечними є штучні радіонукліди: стронцій, плутоній, цезій. Сума радіоактивності, збільшена діяльністю людини, сьогодні досягає  $5,5 \cdot 10^{19}$  Бк. Радіоактивні речовини в океан надходять з таких джерел: випробування ядерної зброї; скид радіоактивних відходів; аварії суден з атомними двигунами і аварії, пов'язані з використанням, транспортуванням

та одержанням радіонуклідів. Вертикальний розподіл радіонуклідів в океані має складні особливості. Мінімальна концентрація стронцію, цезію та плутонію спостерігається в поверхневому шарі, максимальна — на глибині 100—700 м.

Отже, води Світового океану забруднюються різноманітними шкідливими речовинами антропогенного походження, які мають різні масштаби поширення (табл. 5.2).

Таблиця 2

Найпоширеніші токсичні компоненти великомасштабного забруднення Світового океану

Забруднюючі речовини	Ступінь біологічної небезпеки	Масштаб поширення
Радіонукліди	+ +	Глобальний
Стронцій-90	+ +	Глобальний
Цезій-137	+ +	Глобальний
Плутоній-238	+ +	Глобальний
Тритій	+ +	Глобальний
Церій-144	+ +	Глобальний
Хлорорганічні токсичні:		
ДДТ та його метаболіти	+ +	Глобальний
поліхлоровані біфеніли	+ +	Глобальний
Альдрин	+ +	Глобальний
Метали:		
Метилртуть	+ +	Глобальний
Кадмій	(+)	Глобальний
Ртуть	+ +	Глобальний
Свинець	(+)	Глобальний
Цинк	+	Локальний
Мідь	+	Регіональний

Хром	(+)	Локальний
Залізо	(-)	Локальний
Марганець	(-)	Локальний
Миш'як	(+)	Регіональний
Нафта та нафтопродукти	+	Глобальний

Ступінь біологічної небезпеки для морських організмів: + -1----сильний; Н----значний; (+) — слабкий; (—) — незначний.

Країни, що мають вихід до моря, зловживають морськими захороненнями різних матеріалів і речовин, зокрема ґрунту, бурового шламу, відходів промисловості, будівельного сміття, твердих відходів. Об'єм захоронення становить 10 % від загальної маси забруднюючих речовин, які надходять до Світового океану.

#### **Дампінг — скид та захоронення відходів у морях і океанах.**

Явище поширилося внаслідок здатності морського середовища переробляти велику кількість органічних і неорганічних речовин без помітних збитків для якості води. Однак дампінг спричиняє низку негативних явищ:

- 1) частина забруднюючих речовин перетворюється на розчин, змінюючи якість води, інша — сорбується завислими речовинами та переходить у відклади дна;
- 2) наявність органічних речовин призводить до швидкої втрати кисню, появи сірководню;
- 3) підвищується мутність води, що спричиняє загибель малорухомих форм бентосу.

Тому при організації і здійсненні дампінгу слід дотримуватися таких умов:

- оцінювання якості, стану і властивостей (фізичних, хімічних, біологічних) матеріалів, що захоронюються, їх токсичності, стійкості, здатності до накопичення і біотрансформації у водному середовищі та морських організмах;

- здійснення нейтралізації, знезараження, реутилізації відходів (якщо це можливо);
- вибір районів скиду з урахуванням максимального розбавлення речовин, мінімального поширення їх за межі скиду, позитивного поєднання гідрологічних та гідрофізичних умов;
- забезпечення віддаленості районів скиду від місць нагулу і нересту риб, від місць життя рідкісних та чутливих видів гідробіонтів, від зон відпочинку і господарського використання.

На живі організми, які формують гідробіотичні екосистеми, найпомітніше впливають біогенні хімічні речовини, пестициди, важкі метали, галогени. Їх наявність призводить до порушення функціонування біотичної складової морських екосистем. Реакція морської біоти на дію забруднюючих речовин буває різна: від поступового зменшення розмірів особин, перебудови ензиматичних систем до нездатності розмножуватися, вимирання організмів. Загалом антропогенне забруднення зумовлює різні негативні явища, зокрема накопичення хімічних токсичних речовин в біоті; мікробіологічне забруднення прибережних районів моря; зниження біологічної продуктивності; прогресуючу евтрофікацію; виникнення мутагенезу та канцерогенезу; порушення стійкості екосистем.

Небезпечні екологічні наслідки залежать не тільки від рівня забруднення, періоду існування забруднюючих речовин та процесів їх розсіювання і трансформації, а й обумовлені можливістю акумуляції хімічних сполук у морських організмах та передавання їх трофічними (харчовими) ланцюгами. Кількість забруднюючих речовин в організмі характеризується коефіцієнтом накопичення — відношенням вмісту забруднюючої речовини в організмі до вмісту її в морській воді. Середні коефіцієнти накопичення забруднюючих речовин в планктонних організмах досягають високих значень: свинцю — до  $4 \cdot 10^5$ , ртуті —  $3,4 \cdot 10^3$ , кадмію —  $2,1 \cdot 10^4$ , ПХБ —  $4,0 \cdot 10^4$ , бенз(а)-пірену —  $5,0 \cdot 10^3$ .

Антропогенна дія проявляється на індивідуальному і популяційно-біоценотичному рівнях. Первинні критичні порушення у функціонуванні гідробіонтів під дією забруднюючих речовин виникають на рівні біологічних ефектів (змінюється хімічний склад клітини, характер ферментативних систем, процесів дихання, росту та розмноження, мають місце мутація та канцерогенез, порушується рух та орієнтація в просторі) і морфологічних змін (патологія внутрішніх органів, зміна розмірів організму, поява потворних форм, зміна товщини зябер, порушення біохімічних та фізіологічних процесів).

У районах з несприятливою екологічною ситуацією спостерігаються зміни у структурі і функціонуванні морських біоценозів, що проявляється в наступних процесах:

- зміна біомаси популяцій планктонних і бентос-них організмів;
- зменшення родів та угруповань гідробіонтів, поява нехарактерних для морського середовища організмів (наприклад, кишкової палички);
- збільшення середньої біомаси мікроорганізмів, фітопланктону, найпростіших, зоопланктону, бентосу;
- зникнення окремих видів високочутливих морських організмів і поява нових, адаптованих до хімічних умов.

Дія забруднюючих речовин на морські організми може бути різною. Біогени (азот, фосфор) діють на зябра, печінку, нервову систему, скелет, луску. Концентрація 1 мг/л усіх форм азоту (аміачної, нітритної, нітратної) знижує здатність риб зв'язувати кисень, з'являються ознаки інтоксикації. Фотосинтез фітопланктону пригнічується на 75—90 % при концентрації хлорорганічних пестицидів (ХОП) 1—10 мкг/л, для зоопланктону вони токсичні в дозах порядку 10 мкг/л. Пестициди завдають різну шкоду: пригнічують фотосинтез рослин і дихання тварин, порушують мембранний обмін, функції нервової системи.

Важкі метали не підлягають біодеградації (руйнуванню) і тому можуть накопичуватися в усіх компонентах екосистем. Найтоксичнішими є йонні

форми важких металів. Такі метали, як марганець, мідь, цинк, ртуть, хром на 65—80 % перебувають в розчиненому стані і засвоюються гідробіонтами. Ртуть та її сполуки в концентраціях 5—10 мкг/л і більше призводять до порушення життєдіяльності на ранніх стадіях розвитку риб, знижують швидкість росту. Мідь і її сполуки токсичні для всіх представників водної фауни та флори. Розчинені форми солей міді (хлориди, нітрати) токсичні при концентраціях 0,01—0,02 мг/л. Свинець та його сполуки пригнічують травні та тканинні ферменти, накопичуються в тканинах великих морських риб та дельфінів. Токсичність заліза залежить від кислотності води. У лужному середовищі токсичність зростає, оскільки утворюються гідроксиди заліза, які осідають на зябрах, закупорюють і роз'їдають їх. Цинк та його сполуки пошкоджують зябра риб, що призводить до їх смерті.

Наявність галогенів у морській воді теж зумовлює небажані явища, зокрема низькі концентрації хлору і його сполук (до 0,0001 мг/л) викликають погіршення товарної якості риб (каталізатор — феноли).

Дія бромиду та його сполук протягом 30—70 хв. у дозі 400 мг/л є смертельною, 100 мг/л спричиняють загибель організмів через 1—3 год., 10 мг/л безпечні для риб.

Гідробіонти засвоюють радіонукліди з водного середовища через покривні тканини, зябровий апарат, травний тракт. Асиміляція радіонуклідів відбувається пасивно й активно. Пасивний обмін пов'язаний з вирівнюванням градієнтів концентрації солей у воді та тканинах, активний процес накопичення зумовлений здатністю біологічних мембран поглинати радіонукліди з водного середовища. Навіть якщо ступінь забруднення морського середовища радіонуклідами порівняно невисокий, живі організми уражаються через трофічні зв'язки. Сучасні урбанізація і виробництво сприяють зростанню рівня забруднення вод Світового океану. Щорічно в його води надходить величезна кількість шкідливих речовин, деякі компоненти вже спричиняють великомасштабне забруднення. Ці процеси

призводять до зменшення його біологічної продуктивності, скорочення надходження кисню до світового кругообігу речовин.

#### **14. 2. Процеси самоочищення морського середовища від забруднюючих речовин**

Самоочищення морського середовища є складним і недостатньо вивченим явищем. Дослідники цієї проблеми досі не виробили загальноприйнятих методів загального опису та кількісної оцінки всіх факторів самоочищення.

Самоочищення — сукупність фізичних, хімічних, мікробіологічних і гідробіологічних процесів, які зумовлюють розклад, утилізацію забруднюючих речовин, що частково відновлює природну якість морських вод.

Процеси самоочищення води від окремих груп органічних речовин відбуваються по-різному.

**Деградація нафти у морі.** Вона відбувається у такій послідовності: випаровування, емульгування, розчинення, окислення, утворення нафтових агрегатів, осідання та біодеградація.

Важливим явищем у процесі розпаду нафтових плівок є випаровування. Вуглеводи з довжиною ланцюга атомів вуглецю в молекулі менше  $C^{15}$  випаровуються з водної поверхні протягом 10 діб, вуглеводи в діапазоні  $C^{15}$ — $C^{25}$  утримуються значно довше, а фракція, важча від  $C^{25}$ , практично не випаровується. Випаровування може вилучити з поверхні до 50 % вуглеводів сирої нафти, до 10 % важкої нафти, до 75 % легкої паливної нафти.

Основну роль в деструкції нафтових вуглеводів відіграють мікроорганізми, здатні використовувати вуглеводи як джерело вуглецю та енергії. Високою здатністю до окислення нафтопродуктів наділені бактерії роду *Mycobacteriopsis*, *Agiprobacter*. У лабораторних умовах вони окислюють до 50—80 % нафти.

Процеси деградації прискорюють такі фактори: насичення води киснем (для окислення 1 л нафти необхідно 3,3 кг кисню); збагачення води

біогенними речовинами (азот, фосфор) (для окислення 1 мг нафти бактеріями необхідно 4 мг нітратів); для оптимальних умов необхідно зберегти співвідношення I:P = 14:1; підвищення температури; зниження солоності води; зменшення рН.

Експериментальні дослідження показали, що сумарна деградація нафти в морській воді відбувається за законом молекулярної реакції першого порядку:

$$C_t = C_0 \cdot e^{-kt}, \quad (5.1)$$

де  $C_t$ ,  $C_0$  — кінцева та початкова концентрації речовини;  $t$  — час перетворення,  $k$  — константа швидкості реакції:

$$k = \ln 2 / \tau, \quad (5.2)$$

де  $\tau$  — період напіврозпаду речовини.

**Біодеградація СПАР.** За ступенем стійкості до біохімічного окислення у воді СПАР поділяються на м'які, 50 % яких розкладається протягом кількох діб, та жорсткі, для розпаду яких необхідно 2 місяці та більше. При біохімічному окисленні аніонних СПАР відбуваються реакції гідролізу, X-окислення (окислення кінцевої метальної групи), р-окислення (окислення жирних кислот), розщеплення ароматичного кільця. Швидкість самоочищення природних вод від СПАР визначається низкою чинників: хімічною будовою СПАР, їх концентрацією, солоністю, температурою, рН води, вмістом розчиненого кисню. Приблизно 20 % розчинених у воді СПАР сорбується завислими речовинами й осідає на дно.

**Самоочищення від фенолів.** Залежно від хімічної природи фенолів процес їх окислення може бути біохімічним і фізико-хімічним. Біохімічне окислення здійснюється під впливом ферментів, що виробляють мікроорганізми. Швидкість розпаду збільшується із збільшенням рН, зменшенням солоності, за наявності фосфатів та солей заліза, присутності білків, жирів, вуглеводів.

Антропогенна дія на Світовий океан призводить до зменшення природної здатності морських систем до самовідтворення та

саморегулювання, особливо там, де формуються критичні умови для нормального функціонування цих екосистем. Поняття «критична» або «допустима антропогенна дія на морські системи» загалом пов'язані з поняттям «екологічний резерв океану». Тому при екологічному нормуванні антропогенних дій вдаються до використання концепції асиміляційної ємності.

**Асиміляційна ємність морського середовища ( $A_{Ti}$ )** щодо забруднюючої речовини ( $i$ ) — максимальна динамічна МІСТКІСТЬ такої кількості забруднюючої речовини, яка може бути за одиницю часу зруйнована, накопичена, трансформована і виведена за допомогою седиментації, дифузії або інших процесів за межі об'єму екосистеми без порушення нормального функціонування.

Процес самовільного поширення речовини у воді в напрямку зменшення її концентрації, зумовлений тепловим рухом молекул, називають дифузією. Вона призводить до вирівнювання концентрації дифузуючої речовини.

**Седиментація** — процес осадження дрібних часточок під дією гравітаційного поля або центробіжних сил.

Асиміляційна ємність характеризує здатність морської екосистеми до динамічного накопичення та активного виведення забруднюючих речовин. Для її визначення використовують: показник гранично допустимої концентрації речовини ( $C_{Ti0}$ ) і коефіцієнт кратності ( $K_{Ti}$ ) кількості речовини, яка може бути перероблена даною екосистемою.

Показник асиміляційної ємності визначають за формулою:

$$A_{Ti} = C_{Ti0} \cdot K_{Ti} \cdot V, \quad (5.3)$$

де  $V$  — об'єм морського середовища, що розглядається.

На практиці виокремлюють три основні процеси, що визначають асиміляційну ємність: гідродинамічний, мікробіологічне окислення, біоседиментацію. Асиміляційна ємність утворюється з геофізичної ємності, яка визначається виносом токсичних речовин за рахунок геофізичних

процесів, і біологічної ємності, сформованої допустимим навантаженням на екологічну систему та виносом токсичних речовин за рахунок біологічних процесів.

Безумовно, води Світового океану мають природну здатність до самоочищення, самовідтворення та саморегулювання, але антропогенний вплив уповільнює ці процеси. Тому доцільне регулювання різних видів діяльності у водах Світового океану, повітряному просторі над ним, на морському дні та в його надрах. З метою з'ясування фактичного стану вод морів та океанів, захисту і збереження морського середовища, розроблення та впровадження рішень з ефективного використання, охорони і відтворення цих водних об'єктів необхідно здійснювати комплексний глобальний моніторинг вод Світового океану.

### **14.3. Завдання і основні види комплексного глобального моніторингу океану**

Метою комплексного моніторингу океану є визначення стану Світового океану та прогнозування змін, які відбуваються в його екосистемах внаслідок антропогенних факторів. Глобальний моніторинг Світового океану буде комплексним за умови виконання таких завдань:

- виявлення каналів надходження та оцінювання потоків забруднюючих речовин у біопродуктивних та чутливих екосистемах;
- вивчення негативних наслідків забруднення екосистем;
- дослідження зв'язків між рівнями накопичення забруднюючих речовин та екологічними змінами, які характерні для певних екосистем;
- визначення критичних концентрацій забруднюючих речовин, які можуть спричинити порушення функціональних біологічних та біохімічних процесів;
- вивчення фізичних, хімічних та біологічних процесів, які визначають асиміляційну ємність;

– побудова математичних моделей окремих екологічних процесів для прогнозування екологічної ситуації в океані в локальному, регіональному та глобальному масштабах.

Для розв'язання цих завдань використовують інформацію, отриману з різних джерел:

- а) дані натурних спостережень, які дають змогу виявляти основні джерела і канали надходження забруднюючих речовин, оцінювати процеси самоочищення, розраховувати баланс забруднюючих речовин, стан нейстонних (тих, які живуть безпосередньо у межах поверхневої плівки води), планктонних і бентосних угруповань;
- б) лабораторні дослідження, що сприяють встановленню в умовах, максимально наближених до природних, критичних концентрацій, обчисленню величини асиміляційних ємностей;
- с) математичне моделювання, яке дає змогу вивчати реакції екосистем на дію певних факторів.

Комплексний глобальний моніторинг океану охоплює екологічний та фізичний моніторинги.

Екологічний моніторинг океану є системою аналізу, оцінювання та прогнозування стану морських екосистем. Важливою складовою екологічного моніторингу є біологічний моніторинг морського середовища, який передбачає систематичні спостереження за елементами функціональної структури біоценозів з метою оцінювання та прогнозування стану біотичного компонента морських екосистем. Біологічний моніторинг пов'язаний з системою геохімічного моніторингу, який здійснює контроль за джерелами та рівнями забруднення морського середовища (рис. 5.1, 5.2).

Фізичний моніторинг океану призначений для аналізу дії фізико-океанографічних та гідродинамічних факторів, які спричиняють поширення та перерозподіл забруднюючих речовин у морському середовищі.



Рис. 5.1. Система показників біологічного моніторингу морського середовища.

Отже, моніторинг вод Світового океану охоплює як біотичну, так і абіотичну складові, що дає змогу усвідомити єдність і взаємозв'язки процесів, які в ньому відбуваються.



Рис. 5.2. Система показників геохімічного моніторингу морського середовища.

## **Тема 15. Організація спостережень за станом вод Світового океану**

15.1. Завдання і програми спостережень за забрудненням морського середовища

15.2. Пасивні методи.

15.3. Активні методи.

15.4. Особливості екологічного стану Чорного й Азовського морів

Оцінити сучасний стан якості вод Світового океану можна за допомогою систематичних спостережень. У світі така робота була розпочата у другій половині ХХ ст. В Україні моніторинг стану вод Чорного і Азовського морів почали проводити у 60-х роках ХХ ст.

### **15.1. Завдання і програми спостережень за забрудненням морського середовища**

Теоретичний аспект проблеми охорони вод морів і океанів від забруднення полягає у рекомендаціях по регламентації або повній забороні захоронення відходів людської діяльності у водах Світового океану, відповідно до яких процеси природної утилізації повинні переважати над процесами забруднення і призводити до усунення порушень у морському середовищі та у екологічних системах. Для цього необхідно було розв'язати такі завдання:

- систематичні спостереження і оцінювання стану морських вод, визначення впливу забруднення на природні фізико-хімічні і гідробіологічні процеси;
- вивчення шляхів і параметрів поширення та природної утилізації забруднюючих речовин для подальшого визначення можливого режиму їх захоронення у водному об'єкті;
- прогнозування динаміки забруднення вод морів і океанів на найближчу і віддалену перспективи за відомими значеннями скиду відходів, гідрометеорологічними і гідрохімічними умовами;

– розроблення рекомендацій для оптимального режиму скидів у певних ділянках морів і океанів.

Для організації спостережень за якістю морської води використовують пункти трьох категорій. Категорію пункту спостереження вибирають з урахуванням розміщення та потужності джерел забруднення, а також складу, концентрації забруднюючих речовин, регіональних і фізико-географічних умов. Межі контрольованих районів визначають залежно від фізико-географічних особливостей кожного моря з урахуванням розподілу забруднюючих речовин та гідрометеорологічного режиму.

Пункти I категорії призначені для спостереження за якістю води в прибережних районах, які мають важливе народногосподарське значення. Вони розміщуються у районах водокористування населення; у портах і припортових акваторіях; у місцях нересту та сезонного скупчення цінних риб та інших морських організмів; у місцях скиду міських стічних вод і стічних вод промислових та сільськогосподарських комплексів; у районах розробки та транспортування корисних копалин; на гирловому узмор'ї великих річок.

Пункти II категорії призначені для спостереження за якістю води прибережних районів і районів відкритого моря, а також для дослідження сезонної та річної зміни рівня забрудненості морських вод. Вони розташовуються в районах, де надходження забруднюючих речовин проходить за рахунок міграційних процесів.

Пункти III категорії призначені для спостереження за якістю морських вод у районах відкритого моря, для дослідження річної зміни забруднення морських вод і для розрахунку балансу хімічних речовин.

Отже, спостереження за якістю води в пунктах I категорії проводять в місцях скиду забруднюючих речовин, у пунктах II категорії — в забруднених районах морів та океанів, у пунктах III категорії — у відносно чистих водах (фонові спостереження).

На кожному, пункті спостереження визначають кількість і місцезнаходження вертикалей та горизонталей з урахуванням розміщення та

потужності джерел забруднення, а також складу, концентрації та форми надходження забруднюючих речовин.

Кількість вертикалей у пункті спостереження якості води на гирловому узмор'ї визначається його шириною: при ширині річки менше 100 м — 1 вертикаль, від 100 до 1000 м — 3 вертикалі, більше 1000 м — 5 вертикалей. Одну вертикаль розміщують посередині русла, а інші — рівномірно по його ширині.

Кількість горизонталей визначають залежно від глибини річки: при глибині річки 1—5 м — горизонти проводять на поверхні та біля дна; при глибині 5—10 м — на поверхні, на половині глибини і біля дна; при глибині річки більше 10 м — на поверхні, через кожні 5 м та біля дна.

В інших ситуаціях кількість горизонталей визначають з урахуванням глибини об'єкта, складу та концентрації забруднюючих речовин. Під час моніторингу морських вод здійснюють спостереження за такими речовинами:

- 1) нафтовими та хлорованими вуглеводами — на поверхні, на глибинах 5, 10, 20 м і біля дна;
- 2) за синтетичними поверхнево активними речовинами та фенолами — на поверхні, на глибині 10 м та біля дна;
- 3) за важкими металами — на поверхні, на горизонтах 10, 50, 100 м та біля дна.

Додатковим горизонтом при спостереженнях є шар води, де стрибкоподібно змінюється температура.

Достовірність і повноту спостережень забезпечує виконання програм спостережень за якістю морських вод. Вони поділяються на два типи: програми спостережень за фізико-хімічними показниками (табл. 1) і програми спостережень за гідробіологічними показниками (табл. 2).

Таблиця 1

Програма спостережень за якістю морських вод за фізико-хімічними показниками

Показники	Розмірність	Програма спостережень	
		Повна	Скорочена
Нафтові вуглеводи	мг/л	+	+
Розчинений кисень	мг/л, %	+	+
Водневий показник рН	—	+	+
Візуальні спостереження за станом поверхні	—	+	+
Хлоровані вуглеводи, в т.ч. пестициди	мкг/л	+	
Важкі метали (Hg, Pb, Cd, Cu)	мкг/л	+	
Феноли	мг/л	+	
СПАР	мг/л	+	
Додаткові інгредієнти, які є специфічними для даного водного об'єкта: азот нітритний, кремній	мг/л мкг/л	+	
Солоність води	о/ /00	+	
Температура води і повітря	°С	+	
Швидкість і напрямок вітру	м/с	+	
Прозорість води	м	+	

Програма спостережень за фізико-хімічними показниками охоплює визначення основних фізичних характеристик і концентрацій забруднюючих речовин.

При візуальних спостереженнях відзначають явища, незвичні для досліджуваного району моря, наприклад плавучі домішки, плівки, масляні

плями; розвиток, накопичення та відмирання водоростей; масовий викид молюсків на берег; підвищення мутності, незвичне забарвлення води.

Таблиця 2

Програма спостережень за якістю морських вод за гідробіологічними показниками

Показники	Одиниці вимірювання	Програма спостережень	
		Повна	Скорочена
1	2	3	4
<p>Зоопланктон:</p> <p>— загальна чисельність організмів;</p> <p>— видовий склад, кількість і список видів;</p> <p>— загальна біомаса;</p> <p>— чисельність основних груп і видів;</p> <p>— біомаса основних груп і видів</p>	<p>екз./м<sup>3</sup></p> <p>мг/м екз./м</p> <p>мг/м</p>	<p>+</p> <p>4-</p> <p>4-+</p> <p>4-</p>	<p>4-4-</p>
<p>Фітопланктон:</p> <p>— загальна чисельність клітин;</p> <p>— видовий склад, кількість та список видів;</p> <p>— загальна біомаса;</p> <p>— кількість основних систематичних груп, чисельність груп</p>	<p>клітин/л г/м<sup>3</sup></p>	<p>4-</p> <p>4-</p> <p>4-4-</p>	<p>4-4-</p>

Мікробні показники:			
— загальна чисельність мікроорганізмів;			
— концентрація сапрофітних бактерій;			
— концентрація хлорофілу фітопланктону;	клітин/мл	+	
— загальна біомаса;	клітин/мл	4-	+ 4-
— кількісний розподіл індикаторних груп морської мікрофлори (сапрофітні, нафтоокислювальні, ксилородокислювальні, фенолоокислювальні, ліполітичні бактерії);	мкг/л	+	4-
— інтенсивність фотосинтезу фітопланктону	мг/л клітин/мг	+ 4-	
		+	

Програма спостережень за якістю морської води за гідробіологічними показниками є доповненням фізико-хімічної програми.

Залежно від категорії пункту спостереження визначають тип програми та терміни проведення спостережень.

У пунктах I категорії спостереження проводять три рази на місяць за фізико-хімічними та гідробіологічними показниками: 1 декада — скорочена програма; 2 декада — повна програма; 3 декада — скорочена програма.

У пунктах II категорії спостереження проводяться 5—6 разів на рік за повною програмою. У пунктах III категорії спостереження проводять 2—4 рази на рік за повною програмою спостережень.

Виконання обох програм у комплексі дає змогу отримати максимально точну оцінку якості води.

Оцінювання і контролювання нафтових забруднень поверхні моря

Забруднення Світового океану нафтопродуктами є однією з важливих проблем сучасної екології. Контролювання забруднення морських вод цією речовиною здійснюють різними методами.

Нафтопродукти, які розтеклися у вигляді поверхневої плівки, можна виявити і проконтролювати за допомогою дистанційних методів, які дають змогу виявити та оцінити масштаби шкоди, послуговуючись дослідженнями в ультрафіолетовій, видимій та інфрачервоній частинах спектра. Вони поділяються на пасивні та активні методи.

## **15. 2. Пасивні методи.**

Вдаючись до них, вивчають природне випромінювання, відбите або випущене системою «нафта — вода». Ефективність використання цих методів залежить від випромінювальних і відбивальних характеристик поверхні, температури, параметрів атмосфери, спектрального діапазону спостережень.

Сонячне ультрафіолетове випромінювання, яке падає на поверхню моря, має межі 280—400 нанометрів (нм). Оптичні властивості води і нафти суттєво відрізняються: коефіцієнт відбивання чистої води становить 1,5 %, сирих нафтопродуктів — 5—6 %, дизельного пального 2—3 % . Для виявлення нафтових плівок за допомогою дослідження цього діапазону використовують спектральні сканувальні системи, відеосистеми, апаратуру з відповідною оптикою та фільтрами.

При спостереженнях з супутників найінформативнішим для виявлення забруднених районів океану є спостереження випромінювання в інтервалі 600—800 нм. Ускладнює спостереження у видимому спектральному діапазоні вплив метеоумов та спектральних особливостей атмосфери.

Вимірювання в інфрачервоному діапазоні ґрунтуються на різниці температур чистої води і покритої нафтовою плівкою або на різних коефіцієнтах випромінювання.

### 15.3. Активні методи.

Ці методи дистанційного виявлення забруднень передбачають використання штучного джерела випромінювання. До них належать:

- методи оптичної локації, основані на різних коефіцієнтах відбивання від забрудненої та чистої поверхні;
- методи, які ґрунтуються на вимірюванні флюоресценції плівок нафти за допомогою лідарів (спеціальних приладів) при робочих довжинах хвиль 337, 354, 530 нм.

Обсяг розлитої нафти та товщину плівки можна оцінити за її кольором (табл. 3).

Таблиця 3

Характеристика нафтових плівок на поверхні води

Зовнішній вигляд	Товщина, мкм	Кількість нафти, л/км <sup>2</sup>
Ледь помітна	0,038	44
Срібний відблиск	0,076	88
Сліди забарвлення	0,152	176
Яскраво забарвлені розводи	0,305	352
Тьмяно забарвлені розводи	1,016	1170
Темно забарвлені розводи	2,032	2340

Для контролювання вмісту нафти і нафтопродуктів у стічних водах використовують такі методи:

- турбодиметричний, який ґрунтується на зміні здатності нафтомістких вод поглинати світло (прилад реєструє ступінь послаблення світлового потоку, який проходить крізь шар води);
- люмінесцентний, основою якого є здатність окремих фракцій нафти під дією ультрафіолетового променя люмінесцювати, що фіксує спеціальний прилад;
- поглинання ультрафіолетового випромінювання окремими фракціями нафти та інфрачервоного випромінювання ( $\lambda = 3,4\text{—}3,5$ ) усіма вуглеводами.

В Україні широко застосовують аналізатор сумарного вмісту нафти та нафтопродуктів у стічних водах «Волна-2», а за кордоном — прилад «Осма-32» фірми «Харіба» (Японія).

Використовуючи аналізатори вмісту нафти та нафтопродуктів у стічних водах і дистанційні методи виявлення на поверхні води нафтових плівок, можна оперативно і ефективно боротися з цим видом забруднення.

#### **15.4. Особливості екологічного стану Чорного й Азовського морів**

Чорне й Азовське моря найвіддаленіші від Світового океану. Площа їх водозбірного басейну значно перевищує площу самих морів. Це зумовило надзвичайну чутливість морів до антропогенного впливу. Протягом останніх десятиріч відбувалися евтрофікаційні процеси, забруднення морського шельфу токсичними речовинами, абразія берегів, втрати біологічної різноманітності, рибних і рекреаційних ресурсів.

**Евтрофікація** — штучне надудобрення вод внаслідок забруднення сільськогосподарськими та комунальними стоками, яке призводить до бурхливого розмноження водоростей і зниження вмісту розчиненого кисню у глибинних шарах через розкладання мертвої органічної речовини, що утворюється при зростаючій седиментації.

Інтенсивний економічний розвиток і виснажливе природокористування призвели до значного екологічного навантаження на екосистеми Азовського та Чорного морів. Перевищення обсягу забруднень над асиміляційною здатністю морських екосистем, потрапляння у моря невластивих їм біологічних видів, використання природних морських ресурсів в обсягах, що перевищують їх потенціал, застосування екологічно шкідливих технологій добування морських ресурсів, величезні обсяги транспортування морських вантажів тощо протягом останніх 30 років зумовили значні зміни природного стану морського довкілля. Мікробіологічне забруднення прибережних вод стоками комунальних підприємств часто унеможлиблює їх використання для оздоровлення людей. Хвильова абразія призводить до

поширення небезпечних геологічних процесів уздовж усього морського узбережжя.

Негативно впливають на морське середовище днопоглиблювальні і гідромеханізовані роботи, які здійснювалися в територіальних водах та на шельфі Чорного моря.

Найчутливішою до антропогенного навантаження є прибережна частина Чорного та Азовського морів, особливо у зоні діяльності портів, у гирлових річкових зонах, а також зонах впливу великих міст. Прибережну частину Чорного моря забруднюють берегові підприємства, які скидають стічні води в море. Значна частина шкідливих речовин потрапляє у море внаслідок діяльності об'єктів комунального господарства Одеси, Севастополя, Ялти, Феодосії та інших міст. З території України у басейн Чорного моря щорічно скидається до 15,7 км<sup>3</sup> стічних вод, у т.ч. понад 2 км<sup>3</sup> забруднених, з якими потрапляє 3,5 тис. т нафтопродуктів, 3,7 тис. т азоту амонійного, 123 тис. т заліза, 800 тис. т органічних сполук та багато інших речовин, усього — понад 5,1 млн. т.

Забруднюють морське середовище скиди баластних вод, у яких постійно є нафтопродукти, завислі речовини та залізо.

Основними шкідливими компонентами морського середовища Чорного та Азовського морів є нафтопродукти. Наявність нафтопродуктів у морській воді спричинена діяльністю промислових підприємств, портів, втратами під час бункерних операцій, виносом до моря з річковими і стічними водами продуктів комунальних очисних споруд. За результатами спостережень Держ-інспекції охорони Чорного моря та експедиційних досліджень УкрНЦЕМ, вміст нафтопродуктів у відкритих частинах поверхні Чорного моря переважно утримується на рівні, нижчому від ГДК (0,05 мг/л). Загалом, окреслюється тенденція до стабілізації рівнів нафтопродуктів з деяким збільшенням у Керченському порту.

У поверхневих шарах морських вод портів концентрація заліза стабілізувалася на рівні, наближеному до ГДК. Забруднення прибережних

районів Чорного моря синтетичними поверхнево активними речовинами (СПАР) у середньому нижче від ГДК. Однак у зоні впливу муніципальних очисних споруд іноді спостерігаються дещо підвищені концентрації СПАР. Стійкий рівень вмісту біогенних речовин у концентраціях нижчих від ГДК у прибережних водах сприятливо впливає на стан екосистеми відкритих частин моря.

Однією з найважливіших проблем Чорного моря є підняття рівня сірководневої зони, яке прискорилося за останні 20—30 років. Верхня межа в центрі моря піднялася до 85—100 м, а на периферії — до 300 м. Це пояснюється збільшенням безповоротного забору води в річкових басейнах і зростанням забруднення органічними речовинами, розпад яких призводить до утворення сірководню.

Ще гірший екологічний стан Азовського моря, де порушена екологічна рівновага внаслідок зарегулювання енергетичними та іригаційними гідровузлами стоків рік Дон і Кубань, інтенсивного розвитку зрошення і зростання обсягів безповоротного водоспоживання. Азовське море натепер не отримує 65 % природного середньорічного стоку прісної води річок, які в нього впадають, а це призводить до різкого підвищення його солоності (з 9,6 ‰ у 1934 р. до 13,8 ‰ у 1976 р.). Риба, що живе в межах 11 ‰ зони, почала скупчуватись у гирлових узмор'ях річок і пішла з тих місць, де для неї є багата кормова база. Скоротилися рибні запаси, велика кількість ікри викидається на берег і засихає в мулі. Річки, що впадають в Азовське море, забруднені промисловими стоками. До басейну Азовського моря щорічно скидається приблизно 4,9 км<sup>3</sup> стічних вод, у т.ч. 1,1 км<sup>3</sup> забруднених, з якими до моря надходить близько 5 тис. т нафтопродуктів, 48 т фенолів, 110 т міді, 160 т цинку, 44 тис. т азоту амонійного та багато інших шкідливих речовин. Одним з основних джерел забруднення і дестабілізації екологічного стану Азовського моря є м. Маріуполь — великий промисловий центр з металургійною, коксохімічною промисловістю і морським портом. Так, ВАТ МК «Азовсталь» для технологічних потреб забирає з Азовського моря

щороку до 1 км<sup>3</sup> морської води (загальний об'єм води Азовського моря становить 360 км<sup>3</sup>). Зворотні води на чверть забруднені стоками з перевищенням встановлених норм вмісту нафтопродуктів у 2,4 раза, солей заліза — у 5—10 разів, солей інших важких металів (цинк, кобальт, мідь, свинець) — у 2—8 разів.

Особливе занепокоєння на півночі Азовського моря викликає стан Утлюкського лиману. У став-випаровувач, який розташований у його акваторії, щороку Запорізький залізорудний комбінат скидає 18—20 млн. м<sup>3</sup> вод, які містять нерозчинене залізо у кількості 10—50 ГДК. Помилки при проектуванні цього ставу призвели до його обміління, пил, що містить залізо, розноситься вітрами і забруднює прилеглу територію. У районі стану випаровування гинуть птахи, занесені до Червоної книги України.

Відсутність у портах Азовського моря споруд для приймання вод, що містять нафту, поглиблює несприятливу екологічну ситуацію, оскільки нафтопродукти із суден скидають у море.

Протягом останніх років стан навколишнього середовища Чорного й Азовського морів дещо поліпшився і має тенденцію до стабілізації. Вміст у воді біогенних речовин утримується на постійному рівні, який значно нижчий від ГДК для азоту амонійного, нітратів і фосфатів. Це пояснюється зниженням інтенсивності внесення мінеральних добрив, пестицидів на сільськогосподарські угіддя, що сприяло зменшенню вимивання біогенних і забруднюючих речовин з водозбірних територій основних рік.

Аналіз отриманих результатів експедиційних і лабораторних досліджень вказує на те, що на більшій частині Чорного моря донні відкладення, згідно з «Класифікацією ґрунтів днопоглиблення за ступенем їх забруднення для Азово-Чорноморського басейну в межах України», характеризуються як умовно чисті або помірно забруднені ґрунти (класи I і II). Лише у деяких районах моря є ділянки, де донні відкладення характеризуються як дуже забруднений ґрунт (клас III). Це насамперед

стосується акваторій портів, особливо Одеського і Севастопольського, районів скидання стічних вод та деяких ділянок Придунайської зони.

Проблема захисту Світового океану стосується всіх країн, навіть тих, що не мають безпосереднього виходу до нього. У зв'язку з цим ООН розробила і прийняла важливі угоди з регулювання судноплавства, рибальства, добування корисних копалин з морських родовищ тощо. Для постійного контролювання стану Світового океану створена міжнародна мережа моніторингу; широко використовуються космічні методи дистанційного спостереження за допомогою спеціальних супутників.

## **Тема 16. Моніторинг стану ґрунтів**

16.1. Сучасний стан ґрунтового покриву Землі і антропогенний вплив на нього

16.2. Особливості ґрунтового покриву в Україні

16.3. Шляхи надходження й особливості міграції забруднюючих речовин у ґрунті

Розвиток промисловості, особливо сільськогосподарського виробництва, спричинює небажані зміни в природному середовищі, а саме деградацію ґрунтів, їх забруднення залишковою кількістю мінеральних добрив і пестицидів, несприятливі зміни гідрологічного режиму. Останнім часом площа сільськогосподарських угідь помітно зменшилася. У районах інтенсивного землеробства і високої концентрації промислового виробництва техногенна трансформація ґрунтів перевищує темпи природного ґрунтоутворювального процесу. З метою оцінювання перетворень і спрямованого регулювання ґрунтових процесів виникає потреба в організації служби моніторингу.

### **16.1. Сучасний стан ґрунтового покриву Землі і антропогенний вплив на нього**

Суша займає приблизно четверту частину Земної кулі і є осередком людського життя. Наявність ґрунтового покриву зумовила багатоманіття рослинного і тваринного світу, він є джерелом корисних копалин, основою сільськогосподарського виробництва. Саме тому ґрунт піддається величезному антропогенному тиску, легко ушкоджується, порушується та відноситься до важко-відновних природних ресурсів.

Ґрунт — окреме природне утворення, формування якого є складним процесом взаємодії п'яти природних факторів ґрунтоутворення: клімату, рельєфу, рослинного і тваринного світу, ґрунтоутворюючих порід, часу.

Головною ознакою, яка відрізняє ґрунти від гірських порід, які формують основну частину літосфери (зовнішня тверда оболонка Землі, що охоплює всю земну кору й частину верхньої мантії і складається з осадових, вивержених і метаморфічних порід), є родючість.

Родючість — здатність ґрунту задовольняти потребу рослин в елементах живлення, воді, забезпечувати кореневі системи достатньою кількістю кисню, тепла для нормальної життєдіяльності.

Для порівняльних оцінок родючості ґрунтів за їх природними особливостями (з урахуванням рівнів інтенсифікації землеробства) проводиться бонітування ґрунтів (лат. *bonitas* — доброякісність) — порівняльне оцінювання родючості ґрунтів за їхніми природними особливостями та продуктивністю при певних рівнях інтенсифікації землеробства, виражене у балах. В Україні цей показник становить від 22—31 бала у дерново-підзолистих піщаних і глинисто-піщаних ґрунтах до 65—100 балів у чорноземах типових. Саме бонітування ґрунтів є однією з найважливіших підвалин головного документу, що визначає основні засади землекористування в Україні.

До складу ґрунту входять: мінеральна основа, яка становить 50—60 % загального складу (неорганічний компонент, який утворився з материнської породи в результаті вивітрювання); органічна речовина — до 10 % (утворюється при розкладі мертвих організмів і їх частин (листя, тварини)); повітря — до 15—25 % (знаходиться в порах ґрунту і необхідне для існування кореневої системи рослин); вода — до 25—35 % (необхідна всім ґрунтовим організмам як розчинник речовин, яких потребують рослини).

Важливим компонентом ґрунту є гумус (перегній) — органічна речовина, що утворилася з решток відмерлих рослин під впливом діяльності мікроорганізмів, які переробляють їх, розкладають, збагачують вуглекислим газом, водою, сполуками азоту та іншими речовинами.

Отже, ґрунт — це природно-історичне утворення, що розвивається, набуває певних ознак і властивостей та закономірно розміщується на земній

поверхні. Різноманітність природних умов і ґрунтоутворних факторів формує дуже строкату картину ґрунтового покриву Землі. Ґрунти, починаючи від примітивних первинних, що формуються на вивітреній породі, до родючих чорноземів, поширені на суходолі.

Види ґрунтів різняться за мінералогічним складом, вмістом гумусу та поживних елементів, родючістю. В Україні налічується понад 38 основних типів ґрунтів і кілька тисяч відмін за еколого-генетичною класифікацією російського ґрунтознавця Василя Докучаєва (1846— 1903). Існує також міжнародна номенклатура продовольчої і сільськогосподарської організації ООН/ЮНЕСКО, де використовують назви ґрунтів, які характерні для певних країн (чорнозем, підзол, солонець, солончак) і синтезовані назви (придумані для ґрунтів), поширені на кількох континентах (флювісоль, грейсоль, андосоль, каштанозем та ін.).

Тип ґрунту — опорна, основна одиниця систематики ґрунтів, яка об'єднує ґрунти одного типу ґрунтоутворення, подібні за будовою генетичного профілю, процесами мінералізації органіки, біохімічними процесами, розміщенням у схожих природних умовах.

З усіх типів ґрунтів найродючішими є чорноземи (еталон родючості), вони займають до 60 % усіх сільськогосподарських угідь України і розташовані в межах лісостепу і степу. Вміст гумусу в цих ґрунтах становить 4—9 % , їх товщина сягає 1—1,5 м. До 18,5 % площ орних земель припадає на дерново-підзолисті, дернові і сірі лісові ґрунти, які формувалися в умовах надмірної зволоженості, в них мало гумусу, вони переважно кислі, але мають високу природну родючість. Великі площі припадають на бурі лісові і буропідзолисті ґрунти, поширені в межах лісової смуги вертикальних зон Карпат, Криму, Передкарпаття і Закарпаття, та лучні і болотні ґрунти, які трапляються в західних і північних районах України. Загалом ґрунти України наділені високою природною родючістю.

Ґрунтовий покрив України має виразний зональний характер, з чітким виокремленням найпоширеніших типів.

Дерново-підзолисті та дернові ґрунти поширені у поліській частині України. Вони утворюються переважно на піщаній основі за надмірного зволоження (окремими фрагментами у Західному та Малому Поліссі при неглибокому заляганні крейди трапляються перегнійно-карбонатні ґрунти — так звані рендзини). Усі різновиди ґрунтів цієї групи характеризуються незначним вмістом гумусу, несприятливими водно-фізичними властивостями, зокрема підвищеною кислотністю і низькою родючістю (виняток становлять рендзини, які належать до найродючіших ґрунтових видозмін).

Сірі лісові ґрунти домінують у південних районах Полісся та на північних околицях лісостепу, їх розглядають як перехідні до чорноземів і, залежно від переважаючих умов Ґрунтоутворення (лісових або степових), поділяють на ясно-сірі, сірі та темно-сірі підтипи. Сірі ґрунти теж мають незначний вміст гумусу і підвищену кислотність.

Чорноземи простягаються широкою смугою від Карпат до східних кордонів України, охоплюючи основну частину лісостепу і північ степової зони. Формуючись на відкладах лесового комплексу за сприятливих кліматичних умов (достатньо теплих і зволжених), чорноземи відрізняються підвищеним вмістом гумусу (4—9 %) і є найродючішими ґрунтами. Залежно від зміни природних умов (передусім зволоження) сформувалися різні види чорноземів: у лісостепу домінують чорноземи опідзолені і типові мало- і середньогумусні, у північному степу — чорноземи звичайні, у центральному степу — чорноземи південні.

Темно-каштанові ґрунти формуються в сухих умовах південної частини степової зони (перехідні від південних чорноземів до каштанових ґрунтів), у найпосушливіших умовах Присивашся та на окремих ділянках Причорноморської і Приазовської низовин вони поступаються справжнім каштановим ґрунтам з виразними ознаками солонцюватості.

Солонці та солончаки становлять особливу групу ґрунтів у посушливих степах України. Солонці характеризуються незначною водопроникністю і наявністю ущільненого солонцевого горизонту, сформованого

нагромадженням натрієвих солей при інтенсивному капілярному піднятті і наступному випаровуванні мінералізованих ґрунтових вод. Фрагментарно, з інтенсивним засоленням, солонці поступаються справжнім солончакам. Поряд з природними особливостями степу (плоский рельєф, незначна кількість атмосферних опадів, підвищене випаровування тощо) надмірному засоленню ґрунтів та утворенню солонців і навіть солончаків сприяють нерозважлива господарська діяльність, зокрема непродумана організація зрошувальних робіт.

Бурі лісові (буроземи) та буро-підзолисті ґрунти, які формуються за відносно теплого і достатньо вологого клімату під листяними або хвойними лісами, поширені у гірських районах та передгір'ях українських Карпат і Криму. Вони вирізняються грудкуватою або горіховою структурою і підвищеною кислотністю.

Лучні та болотні ґрунти, що формуються в умовах значного та надмірного зволоження, поширені у північних та західних регіонах України, де вони характеризуються розвитком процесів оголення. Проте трапляються подібні ґрунти і на окремих локаціях лісостепової і навіть степової зон (на заплавах річок, у глибоких ярах, балках та інших депресіях поверхні), де їх утворення супроводжується процесами засолення.

Рівень гумусованості ґрунтів теж має зональну залежність. Так, якщо дерново-підзолисті ґрунти Полісся характеризуються невисоким вмістом гумусу (0,7—2,0 %), а у лісостепу гумусованість зростає від 1,0—2,5 % у ясно-сірих ґрунтах до 4,0—6,0 % у чорноземах типових, то у чорноземному степу кількість гумусу знижується у протилежному напрямку — з півночі на південь — від 6,0 до 1,5 % . Протягом останніх десятиріч в Україні спостерігається стала тенденція до зниження вмісту гумусу в ґрунтах, що пояснюється як природними процесами (насамперед, ерозійно-дефляційними), так і спрацюванням гумусу в процесі інтенсифікації сільськогосподарського виробництва. За даними спостережень, протягом останніх 30 років середньорічні втрати гумусу на Поліссі становлять 0,1 т/га;

у лісостепу — 0,8; у степу — 0,4 т/га, чим і пояснюється нагальна необхідність реалізації наукових розробок щодо відновлення родючості ґрунтів, запропонованих науковцями і практиками України та з успіхом апробованих у різних природних зонах та на різних ґрунтових відмінах.

У сільському господарстві ґрунт є основним засобом виробництва, важливою ознакою якого є саме родючість. Людина, використовуючи ґрунт, змінює її за допомогою обробітку, внесення добрив, запровадження сівозмін, зрошення тощо. Залежно від способу використання ґрунт може поліпшуватися, ставати більш родючим, або навпаки.

Натепер однією із основних проблем людства є охорона і раціональне використання земель, тому що до 98 % продуктів харчування населення Землі отримує за рахунок обробітку землі, а за своє існування людство втратило до двох мільярдів гектарів родючих земель. Земельний фонд становить 13 392 млн. га, тобто приблизно чверть всієї поверхні Земної кулі (рис. 1).



Рис. 1. Загальний баланс земельних ресурсів світу

Земельні ресурси світу поділяють на продуктивні, малопродуктивні та непродуктивні землі. Сільськогосподарські землі займають третю частину земельного фонду. Основним постачальником продуктів харчування є орні землі. Сьогодні можливостей для розширення орних площ практично не залишилося. Навпаки, у багатьох країнах відбувається їх неухильне

скорочення за рахунок деградації ґрунтів, опустелювання, а збільшення обсягу продовольчих ресурсів за останні десятиліття досягнуто за рахунок інтенсифікації сільського господарства. За даними ФАО (FAO — Food and Agriculture organization UN — спеціалізована установа ООН, створена у 1945 р., яка займається питанням продовольчих ресурсів і розвитку сільського і промислового господарств у світі), приблизно половина населення планети не отримує повноцінного харчування, від недоїдання щороку страждає до 800 млн. людей, які проживають в Африці, Південній Америці, Південно-Східній Азії, і лише такі країни, як Австралія, Канада, Нова Зеландія, США, ПАР забезпечують своє населення продуктами харчування власного виробництва.

Задля збереження світового земельного фонду необхідно раціонально використовувати продуктивні землі, вживати заходів щодо охорони ґрунтового покриву, боротися з деградацією ґрунтів.

Деградовані ґрунти — ґрунти, що втратили або істотно зменшили свою родючість чи відчутно погіршили окремі властивості під впливом несприятливих природних або антропогенних чинників.

Основними причинами погіршення якості земель є природні стихійні лиха (вулкани, землетруси, затоплення) і антропогенні фактори (цілеспрямована діяльність людини): порушення правил агротехніки та сівозміни; вирубування охоронних лісів; розорювання схилів; неправильне ведення гідротехнічних меліорацій; надмірний випас худоби; забруднення ґрунтів різними речовинами у результаті сільськогосподарської діяльності; безпідставне вилучення сільськогосподарських земель.

Природа у процесі еволюції виробила механізм само-відновлення ґрунтів і оптимального пристосування до несприятливих умов. Сьогодні техногенні навантаження зростають до розмірів, які переважають поріг стійкості ґрунтів. Відновлення природних ресурсів природним шляхом уже неможливе. Оскільки зменшити, або хоча б стабілізувати техногенне навантаження практично неможливо, відбуваються незворотні негативні

зміни у стані земельних ресурсів. Наймасштабнішу шкоду земельним ресурсам завдають процеси ґрунтової ерозії, опустелювання, засолення.

Ґрунтова ерозія (лат. *erosio* — роз'їдання) — руйнування та вилучення ґрунтів і підстеляючих материнських порід під дією вітру, атмосферних опадів і спричинених ними схилових стоків, наслідком чого є деградація ґрунтів, забруднення водного і повітряного басейнів.

Ерозійні процеси поділяють на водні, вітрові та агротехнічні. При цьому вирізняють ерозію нормальну, яка проявляється на територіях, не порушених господарською діяльністю людини, та прискорену, що розвивається внаслідок антропогенного впливу (розорювання схилів, нерегульовані випаси на них худоби, суцільне вирубування лісів тощо). За сучасних умов переважають процеси прискореної ерозії сільськогосподарських угідь. За ступенем еродованості виокремлюють слабо-, середньо- та сильно еродовані землі. В Україні еродовано 12,9 млн.га сільськогосподарських угідь (30,8 %), у т. ч. 10,6 млн.га ріллі (31,6 %), а площі еродованої ріллі зростають приблизно на 70 тис.га.

Водна ерозія проявляється головним чином через площинний змив на схилах крутизною понад 4°, який зумовлює різні ступені змитості ґрунтів, а також через лінійний розмив, при якому відбувається повне руйнування сільськогосподарських угідь і формується яружно-балковий рельєф. Найнебезпечнішими з огляду на активізацію водно-ерозійних процесів в Україні є правобережжя Дніпра, Десни, Сейму, Сіверського Дінця, Донецька височина, хоч наслідки водної ерозії спостерігаються практично в усіх областях і регіонах України. Водна ерозія зумовлює вимивання значної частини родючого ґрунту, який, потрапляючи у водні об'єкти, забруднює їх.

Вітрова ерозія (дефляція) полягає у видуванні й переверідкладенні пилюватих (зрідка — дрібнопіщаних) частинок ґрунту і проявляється на розораних просторах степової і лісостепової зон, на переосушених територіях Полісся і Прикарпаття, проте найбільші площі дефляційних земель зосереджені на територіях Запорізької, Донецької, Херсонської і Луганської областей (по

350—400 тис.га в кожній). Значна частина ґрунту внаслідок дефляції потрапляє в атмосферу. Отже, ерозія ґрунтів глобально забруднює біосферу. Захист ґрунтів від ерозії полягає в здійсненні організаційних, агротехнічних, лісомеліоративних та гідротехнічних заходів. Агротехнічні заходи передбачають регулювання поверхневого стоку талих і дощових вод, правильний обробіток ґрунту (оранка, культивування, посів поперек схилу), боронування, лункування для затримки стоку, обладнання території зливовідвідними борознами, застосування ґрунтозахисних сівозмін (насичення багаторічними травами, виключення просапних культур, полосне розміщення культур поперек схилів), залуження території.

Для боротьби з вітровою ерозією додатково накопичують вологу в ґрунті, створюють захисний рослинний покрив, впроваджують безвідвальний обробіток ґрунту (на поверхні залишається значна частина рослинних решток).

Лісомеліоративні заходи полягають у створенні лісонасаджень певного призначення: лісові й садові смуги (шириною 10—20 м) для захисту полів від вітрової ерозії та суховіїв; смуги для затримання і розподілення снігу; протиерозійні насадження на схилах уздовж балок ярів (шириною до 60 м); суцільне або часткове заліснення земель, непридатних для сільськогосподарського використання; лісові насадження на дні балок, ярів для закріплення русел, які чергуються із залуженими ділянками; водоохоронні насадження на берегах річок, озер, ставків, каналів для зниження замулення та розмиву.

Головною метою гідротехнічних заходів є створення гідротехнічних споруд (вали, тераси, канали та ін.), за допомогою яких перерозподіляють вологу в ґрунтовому профілі й на поверхні земель, відводять надлишкову вологу і поверхневий стік.

Вплив людини на природні процеси посилює тенденцію аридизації (лат. *aridis* — сухий) суші (поширення сухого клімату, для якого характерне недостатнє зволоження й високе випаровування при високій температурі

повітря), яка може призводити до опустелювання, однак цей процес відбувається за будь-яких кліматичних умов, а його інтенсивність залежить від водного та теплового режиму.

Опустелювання — виснаження аридних та напіваридних екосистем під впливом діяльності людини та посух.

Сьогодні на Землі приблизно 900 млн. га займають пустелі та засушливі землі, 5—7 млн. га родючих земель щорічно вилучають з освоєння внаслідок опустелювання.

Значного збитку ґрунтам завдає засолення та вторинне засолення, яке спричиняє повну непридатність ґрунтів для сільськогосподарського використання. Засолюються ґрунти в усіх країнах Близького та Середнього Сходу, у зрошуваних районах Австралії, США, Мексики, Аргентини, України.

Засолення ґрунтів — процес накопичення розчинних солей (переважно хлористих, сірчаноокислих сполук натрію і магнію) у ґрунті, який спричинює формування солончакуватих (глибинне засолення) і солончакових (поверхнєве засолення) ґрунтів.

Скорочення площі сільськогосподарських угідь відбувається також внаслідок будівництва та розширення міст, населених пунктів, промислових підприємств, доріг. Антропогенна діяльність спричиняє хімічне забруднення ґрунту.

Хімічне забруднення ґрунту — зміна природного хімічного складу ґрунту внаслідок проникнення в ґрунт нехарактерних для нього речовин або збільшення концентрацій природних речовин до величин, що перевищують норму.

Ґрунтам завдають шкоди два основні джерела хімічних забруднень:

- викиди підприємств промисловості, енергетики та автотранспорту;
- хімічні засоби захисту рослин та добрива, що використовуються у сільському господарстві.

Розподілення продуктів техногенезу на поверхні ґрунту зумовлено метеорологічними, топографічними, геохімічними факторами та характером джерел забруднення. Забруднення (миш'яком, свинцем, цинком, марганцем, залізом, сіркою), як правило, концентруються навколо промислових центрів та уздовж автомагістралей, а особливо навколо підприємств чорної металургії. У результаті роботи металургійного підприємства на поверхню ґрунту щорічно потрапляє не менше 150 тис. т міді, 122 тис. т цинку, 90 тис. т свинцю, 12 тис. т нікелю, 1500 т молібдену, 800 т кобальту, 31 т ртуті. Суперфосфатні заводи забруднюють ґрунт пилом, що містить залізо, мідь, миш'як, свинець, фтор.

Техногенні аномалії утворюються вздовж автомагістралей та в міських зонах, де особливо сильне забруднення свинцем (з вихлопними газами автотранспорту на земну поверхню потрапляє до 260 тис. т свинцю на рік), цинком, меншою мірою кадмієм та іншими металами. Ширина придорожніх аномалій свинцю досягає 100 м. Найбільше забруднена свинцем рослинність, що знаходиться на віддалі до 10 м від шосе, на висоті 1—2 м над рівнем поверхні (табл. 1).

Таблиця 1

Накопичення свинцю в ґрунтах уздовж автомагістралей, мг/кг

Глибина ґрунту, см	Віддаль від краю дороги, м					
	2,5	4,5	7,5	11,5	16,0	36,0
Трав'янистий покрив	13,9	12,2	14,9	7,7	4,6	3,3
0—6	772	410	118	74	54	40
6—12	464	28	78	14	22	24
12—18	36	18	16	16	16	18

Ґрунт має також властивість адсорбувати забруднюючі речовини з повітря. Доведено, що в середньому кожен квадратний метр поверхні за рік поглинає 6 кг забруднюючих речовин з атмосфери.

Хімічне забруднення ґрунтів спричиняє низку негативних явищ:

- зростання процесів ґрунтової ерозії;
- зміну структури ґрунту, зменшення його пористості;
- зниження водопроникності;
- погіршення водно-повітряного режиму;
- підкислення ґрунту;
- збільшення вимивання мінерального азоту, калію, заліза, фосфатів кальцію, легкоокислювальної органічної речовини;
- гальмування процесів трансформації азоту;
- пригнічення активності більшості ґрунтових ферментів — інвертази, уреаз, каталази, фосфатази, що відіграють величезну роль у біогенних процесах ґрунту.

Отже, ґрунтовий покрив постійно змінюється, особливо під дією антропогенних чинників.

## **16.2. Особливості ґрунтового покриття в Україні**

Земельний фонд України загалом становить 60,4 млн. га, сільськогосподарські землі займають приблизно 72 % території, з них сільськогосподарські угіддя — 69,3 %; у т. ч. рілля — 54,4 %; перелоги — 0,4 %; багаторічні насадження — 1,6 %; сіножаті — 3,8 %; пасовища — 9,1 %; лісові та інші насадження — 17,2 %; заболочені землі — 1,6 %; відкриті землі без рослинного покриття — 1,8 %; землі, вкриті водою, — 4,0 % . 159 тис. га займають радіаційно забруднені сільськогосподарські угіддя, що не використовуються в сільськогосподарському виробництві, 161,4 тис. га — порушені землі.

Відбуваються постійні зміни в структурі і площах земельних угідь за рахунок вилучення орних земель для створення захисних лісових насаджень та полезахисних лісових смуг, будівництва протиерозійних гідротехнічних споруд та ставків-мулонакопичувачів, укріплення берегів, захисту сільськогосподарських угідь, рекультивації порушених земель, переведення

сильно-еродованих, заболочених, підтоплених площ у сіножаті та пасовища, збільшення площі земель природоохоронного призначення. За останні тридцять років площа продуктивних земель в Україні зменшилася на 30 %.

Для України характерна висока розораність території, яка становить 57,1 % і перевищує екологічно обґрунтовані межі (розораність території США — 15,8 %, Великої Британії, Франції, Німеччини — від 28,1 до 31,8 %). Саме висока розораність територій, тобто екстенсивне ведення сільського господарства, спричинили деградацію ґрунтового покриву, призвели до порушення природних процесів ґрунтоутворення.

Комплексний моніторинг ґрунтів і реалізація заходів, спрямованих на їх відновлення, є необхідною умовою збереження родючості ґрунтів. Їх деградація може стати в майбутньому глобальною екологічною катастрофою, оскільки саме сільськогосподарське виробництво забезпечує людство продуктами харчування.

### **16.3. Шляхи надходження й особливості міграції забруднюючих речовин у ґрунті**

Усі види забруднюючих речовин, потрапляючи в навколишнє природне середовище, включаються у природний кругообіг, тобто мігрують (переміщуються). У наземних харчових ланцюгах, які зумовлюють надходження токсичних хімічних речовин в організм людини (атмосфера — ґрунт — рослина — людина; атмосфера — ґрунт — рослина — тварина — людина), ґрунт є найбільш ємною та інертною ланкою, тому від його складу залежить швидкість поширення речовин всіма ланцюгами. Щоб обмежити надходження забруднюючих речовин з ґрунту в рослини, необхідно знати особливості їх поведінки у ґрунті, а також засоби, які б дали змогу закріпити забруднювачі у ґрунтополивальному комплексі.

До складу ґрунту потрапляє величезний комплекс хімічних елементів. Рілля і лісові ґрунти забруднюються сіркою та її сполуками, які підкислюють ґрунт. Засолення ґрунтів відбувається внаслідок надходження з

різних джерел содових солей. Токсичність ґрунтів спричиняють сполуки цинку, свинцю, міді, арсену, фтору, барію, ртуті. Однією із найнебезпечніших токсичних речовин, що потрапляють у ґрунт з відходами промисловості, є ртуть. Вивчення міграції сполук ртуті свідчить, що верхні шари родючих ґрунтів наділені дуже високою сорбційною здатністю, і вимивання з них ртуті практично відсутнє або зовсім незначне. Сполуки ртуті рухоміші у кислих ґрунтах з легким механічним складом і невисоким вмістом гумусу. Органічні з'єднання здатні швидко випаровуватися з поверхні таких ґрунтів. Випаровування ртуті з ґрунту зменшується із збільшенням його вологості.

Канцерогеном, який згубно діє на всі ґрунтові організми, є свинець. Він надходить у ґрунт двома шляхами: природним — силікатний пил, вулканічні аерозолі, вулканічні силікатні аерозолі, дим лісових пожеж, морські солі, метеоритний пил; антропогенним — згорання етилованого бензину (у світі виробляється 3,5-10<sup>6</sup> т свинцю, з яких 3,1-Ю<sup>5</sup> т спалюється з етилованим бензином), виробництво свинцю (при виплавленні 1 т свинцю в атмосферу викидається до 25 кг), спалювання кам'яного вугілля, яке містить свинець, видобування свинцю. Він адсорбується гумусовим шаром ґрунту. Для цієї речовини характерна незначна міграція в дерново-підзолистих ґрунтах і транзитне перенесення з верхніх шарів у нижні на еродованих ґрунтах. Адсорбція свинцю гумусом активізується в лужному середовищі. Свинець спричиняє появу важкорозчинних осадів основних карбонатів, фосфатів або гідроокисів, що впливають на живлення рослин. Токсичність ґрунтів для рослин зумовлює концентрація свинцю в межах 20—30 мг/кг.

Миш'як надходить у ґрунт внаслідок згорання вугілля і як складова відходів медичної, металургійної, хімічної промисловості. Він акумулюється в ґрунтах, які вміщують активні форми заліза, алюмінію, кальцію. За значних концентрацій миш'яку відбувається його швидка міграція в нижні горизонти ґрунтового покриву.

Кадмій потрапляє у ґрунт при згорянні дизельного палива, при виплавці руд та внесенні добрив. Максимальна адсорбція кадмію відбувається в ґрунтах з великою ємністю вбирання, значним вмістом гумусу та високим показником рН. Міграція кадмію в глибину збільшується із зменшенням вмісту гумусу, а також у ґрунтах з легким механічним складом.

Хімічні речовини, які застосовують в сільському господарстві, потрапляють у навколишнє середовище у великих кількостях. Забруднювачами ґрунтів можуть бути мінеральні добрива і пестициди. Із 170 видів пестицидів, які застосовуються в Україні, 49 є особливо небезпечними внаслідок високої токсичності, надкумулятивності, стійкості. Пестицидами сільськогосподарські угіддя обробляють кілька разів на рік. Вони здатні мігрувати в рослини, воду, повітря, що небезпечно для людини. Одним з основних фізичних факторів, який визначає поведінку пестицидів у ґрунті, є сорбція (поглинання) ґрунтовими частинками, яка залежить від типу ґрунту, вологості, температури, хімічної природи пестициду. Для пестицидів характерні вертикальна та горизонтальна міграції, на які впливають сума та інтенсивність опадів. Пестициди здатні активно (до 20 % внесеної кількості) переходити в рослини. Інтенсивність переходу пестицидів з ґрунту в рослини залежить від сорбційної здатності ґрунту (чим більша сорбційна здатність, тим менший перехід), типу культури та будови і складу пестициду. Зменшення з часом вмісту забруднюючих речовин у ґрунті та в рослинах визначається періодом напіврозпаду речовини — часом, необхідним для того, щоб препарат втратив не менше 95 % своєї активності за нормальних умов та звичайної інтенсивності застосування (табл. 2).

Таблиця 2

Період напіврозпаду (Т) забруднюючих речовин у ґрунтах

Сполуки	Період напіврозпаду
Сполуки миш'яку, свинцю, міді, ртуті	10—30 років
Інсектициди, дільдрін, ДДТ	2—4 роки
Триазинові гербіциди	1—2 роки

Гербіциди бензойної кислоти	40 днів—1 рік
Сечовидні гербіциди	4—10 міс.
Гербіциди 2,4—Д та 2, 4, 5—Т	40 днів—5 міс.
Фосфорорганічні інсектициди	2 тижні—3 міс.
Карбонатні інсектициди	2 тижні—1,5 міс.

Залишки пестицидів виявляють у більшій половині проаналізованих зразків ґрунту, з них приблизно 15 % перевищують ГДК. Найхарактернішими залишками є гербіциди симтриазинової групи (більше третини). Високими є рівні забруднення стійкими хлорорганічними засобами.

В Україні найзабрудненішими залишками пестицидів є ґрунти лісостепової зони. Тут також більша частка земель, що містять понаднормову кількість залишків фосфорорганічних сполук (умовна щільність забруднення в 1,4 раза вища, ніж на Поліссі і в степових зонах).

Окрему групу забруднювачів ґрунту становлять нафтопродукти. Потрапляючи на ґрунт, вони адсорбуються його структурами. Дощі можуть вимивати водорозчинну фракцію і переміщувати її вглиб ґрунту. Нафта спричиняє утворення брилуватої структури ґрунту і, як наслідок, зміну його фізичних, хімічних та біологічних властивостей, яка погіршує родючість ґрунту. При забрудненні ґрунту нафтою зменшуються його вбирна ємність і обмінна здатність, що негативно впливає на доступність рухомих форм фосфору, калію, магнію. Внаслідок забруднення ґрунту нафтопродуктами масово гинуть ґрунтові організми і різко збільшується кількість збагаченої на азот органічної речовини.

Отже, забруднюючі речовини зумовлюють у ґрунті різні негативні процеси, які залежать як від ґрунту, так і від забруднювача, і для того, щоб спрогнозувати поведінку сторонньої речовини у ґрунті, необхідно знати фізико-хімічні властивості ґрунту і забруднюючої речовини.

## **Тема 17. Організація моніторингу стану ґрунтів**

17.1. Наукові і організаційні засади створення ґрунтового моніторингу

17.2. Критерії оцінювання і види ґрунтового-екологічного моніторингу

### **17.1. Наукові і організаційні засади створення ґрунтового моніторингу**

Широкомасштабний екологічний моніторинг як система спостережень, оцінювання та прогнозування досліджуваного об'єкта, завданням якої є вироблення раціональних управлінських рішень, дає змогу отримати фактичні дані про стан і динаміку екосистем. Ґрунтовий моніторинг — складова загального екологічного моніторингу, якому приділяють велику увагу в розвинутих країнах.

Моніторинг ґрунтового покриву — система стійких спостережень, діагностування, прогнозування та вироблення рекомендацій щодо управління станом ґрунтів з метою збереження і відтворення їх родючості.

За масштабами спостережень та узагальненнями отриманої інформації виділяють локальний, регіональний і глобальний види моніторингу ґрунтів. Контролювання їх стану дає змогу отримати дані про середовище або конкретну його складову в зонах активної виробничої діяльності людини.

Потреба у здійсненні моніторингу ґрунтів зумовлена винятковою важливістю підтримки компонентів природного середовища, зокрема ґрунтового покриву, в стані, за якого він зберігає здатність до регуляції циклів біофільних елементів як основи життєдіяльності людини та біосфери загалом. В усьому світі антропогенний чинник за останні десятиріччя значно посилив фізичну, фізико-хімічну, біологічну, ерозійну деградацію ґрунтів, забруднення екотоксикантами. ґрунтовий моніторинг не тільки забезпечує контролювання антропогенних впливів, а й запобігає його негативним наслідкам.

Моніторинг ґрунтів усі розвинуті країни здійснюють на основі рекомендацій Організації Об'єднаних Націй з 60—70 років минулого

століття, зважаючи на власні національні особливості. Як правило, ґрунтовий моніторинг проводять в проблемних регіонах.

Системи моніторингу основані на спостереженнях, дослідженнях, оцінюванні, прогнозуванні, оптимізації родючості ґрунтів, урожайності рослинності; особлива увага приділяється ерозії ґрунтів і опустелюванню.

Практика розвинутих країн свідчить, що ґрунтово-екологічний моніторинг як складова моніторингу довкілля дає змогу істотно підвищувати продуктивність ґрунтів, віддачу від засобів індустріалізації, поліпшувати якість сільськогосподарської продукції.

В Україні система спостережень за окремими складовими навколишнього середовища діє в гідрології, метеорології, агрохімії, ґрунтознавстві, лісівництві тощо. Однак системи відомчих засобів моніторингу стану ґрунтового покриву мають низку істотних недоліків: відсутність комплексної організації робіт на державному рівні (розрізненість та методична несумісність, відсутність позавідомчої мережі центрів розробки ґрунтово-екологічної інформації та алгоритмів її опрацювання; застарілість методичного та інформаційного забезпечення робіт на галузевих рівнях, відсутність еталонних зразків тощо).

Оперуючи наявною науковою інформацією про деградаційні процеси і вміст у ґрунті екотоксикантів, неможливо виробити чіткі управлінські рішення як на державному, так і на регіональному рівнях, оскільки вона лише частково відображає справжню сутність і масштаби природних та антропогенних процесів у ґрунтовому покриві.

Згідно з проектом Положення про державну систему моніторингу довкілля, моніторинг ґрунтів слід здійснювати за загальнодержавною і регіональними (місцевими) програмами, які визначають спільні дії центральних і місцевих органів виконавчої влади, узгоджені з метою і завданнями щодо охорони навколишнього середовища, екологічної безпеки та раціонального природокористування.

Завданням ґрунтового моніторингу є контролювання динаміки основних фізичних, хімічних, біологічних та інших ґрунтових процесів — у природних умовах та за антропогенних навантажень.

В Україні розроблена концепція ґрунтового моніторингу (В. Медведєв, Т. Лактіонов, 1992), згідно з якою мета моніторингу — отримання інформації для вироблення управлінських рішень щодо стабілізації і поліпшення якості ґрунтів, екологізації землеробства та досягнення кінцевого результату — розширеного відтворення ґрунтової родючості. Земельним кодексом України передбачено проведення моніторингу ґрунтового покриву як основи практичних заходів щодо екологічного оздоровлення ґрунтів. Такий моніторинг покликаний забезпечити:

- підтримання здатності ґрунтів до регуляції циклів біофільних елементів;
- контролювання і запобігання негативному розвитку процесів ґрунтоутворення, які проявляються в дегуміфікації, ерозії, переущільненні, підтопленні, засоленні тощо;
- поліпшення родючості ґрунтів, віддачі від меліорації і хімізації та підвищення якості сільськогосподарської продукції;
- вироблення критеріїв загальної оцінки сучасного стану ґрунтового покриву.

Об'єктами ґрунтового моніторингу є основні типи, підтипи (виділяють в межах типу ґрунту, вони якісно відрізняються за основними процесами ґрунтоутворення і є перехідними між типами), роди (виокремлюють в межах підтипу ґрунту за якісними генетичними особливостями, що формуються внаслідок впливу комплексу місцевих умов: складу ґрунтоутворюючих порід, хімізму ґрунтових вод), види (виділяють в межах роду, вони різняться за ступенем розвитку ґрунтоутворних процесів: опідзолення, гумусування, засолоненості) та різновиди (визначають за механічним складом верхніх ґрунтових горизонтів і ґрунтоутворюючих порід) ґрунтів, які обираються в межах ґрунтової провінції і максимально відображають мозаїчність

(строкатість) ґрунтового покриву, всі види і рівні антропогенного навантаження.

Ґрунтова провінція — таксономічна одиниця в ґрунтово-географічному районуванні, яка позначає однорідні за складом і структурою ґрунтового покриву, сукупністю факторів ґрунтотворення і можливістю господарського використання ґрунтів території.

Отримати необхідну інформацію для організації моніторингу можна з ґрунтово-картографічних матеріалів землеупорядних проектних установ, аналітичного і картографічного матеріалу періодичних агрохімічних обстежень, агрокліматичної інформації гідрометеослужби, відомостей наукових і проектних установ про ймовірні джерела забруднення ґрунтів тощо.

Постійними об'єктами контролю є природні об'єкти (ліси, заповідники), еталонні об'єкти високого рівня сільськогосподарського використання ґрунтів (варіанти стаціонарних дослідів, поля господарств, де запроваджено контурно-меліоративну систему землеробства), звичайні господарства.

Діяльність системи державного ґрунтового моніторингу контролюють Міністерство екології та природних ресурсів (визначення залишкової кількості пестицидів і важких металів на сільськогосподарських угіддях); Міністерство охорони здоров'я (спостереження за хімічним та біологічним забрудненням ґрунтів на території населених пунктів); Міністерство сільськогосподарської продукції (радіологічні, агрохімічні та токсикологічні спостереження за ґрунтами сільськогосподарського використання); Міністерство лісового господарства (визначення концентрації радіонуклідів токсичних речовин у лісовому ґрунті); Державний комітет гідрометеорології (визначення концентрації пестицидів, важких металів у ґрунті).

Забезпечує виконання завдань моніторингу ґрунтів низка організацій (рис. 1).

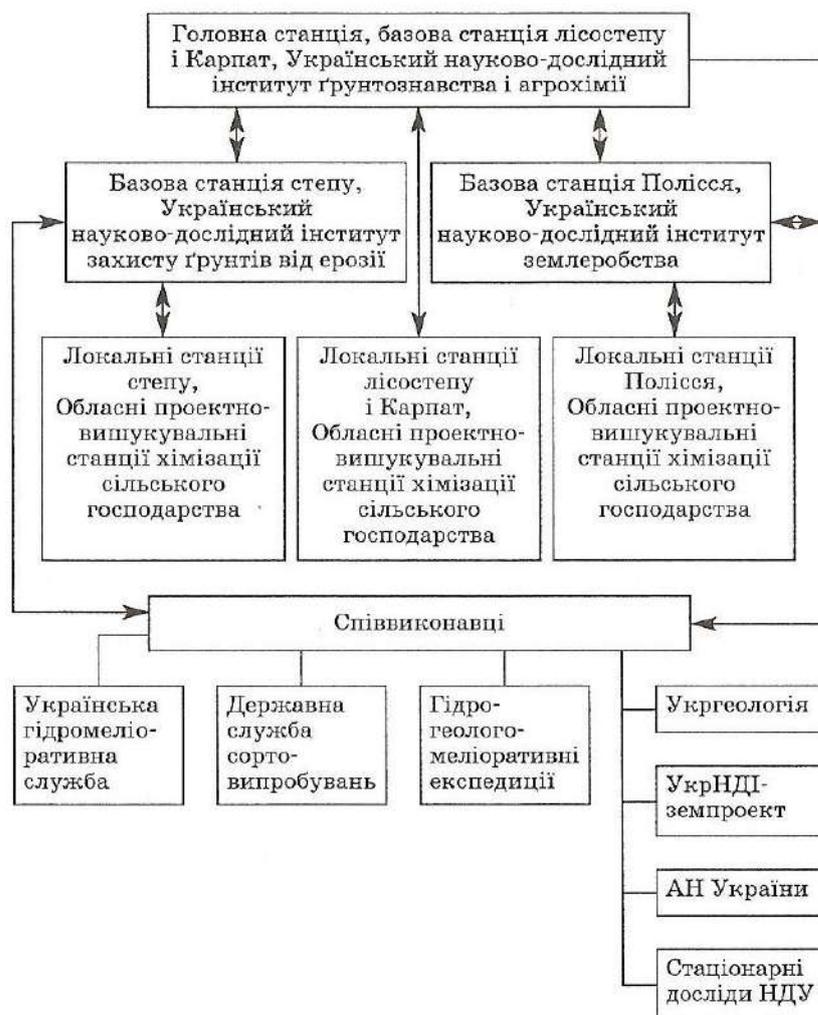


Рис. 1. Структура служби моніторингу ґрунтів

Відстежують мозаїчність ґрунтового покриву і рівні антропогенних дій в Україні 354 пункти спостереженням (табл. 1).

Таблиця 1

Кількість пунктів спостереження ґрунтового моніторингу України

Локальні станції (ґрунтові провінції)	Площа с.-г. угідь, млн. га		Кількість ґрунтових одиниць, що підлягають контролю			Кількість пунктів спостережень		
	Всього	В т.ч. рілля	Видів	Різновидів	Природні біоценози	Господарства	ДСУ	Дослідна мережа

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Поліська базова станція (при УНДІЗ)								
Західно-поліська	1,64	0,88	30	51	34	71	10	6
Правобережно-поліська	1,60	1,09	28	42	32	56	12	6
Лівобережно-поліська	1,50	0,96	25	42	26	54	5	12
Лісостепова базова станція (при УНДІГА)								
Закарпатська	0,60	0,24	15	38	15	34	2	6
Перед-карпатська	0,61	0,36	28	64	22	46	2	9
Західно-лісостепова	2,35	2,00	41	85	29	127	18	6
Правобережно-лісостепова	7,28	6,53	45	ПО	36	162	22	7
Лівобережно-лісостепова	6,00	5,00	36	84	41	158	14	6
Степова базова станція (при УНДІЗГЕ)								
Задніпровська	0,98	0,77	17	22	—	108	3	6
Правобережно-степова	3,69	3,04	19	30	2	197	9	36
Лівобережно-степова	7,69	6,3	24	39	3	232	14	136
Південно-сухостепова	4,22	3,53	28	56	10	396	8	108
Кримська	1,82	1,40	28	32	8	252	8	10
Всього	39,98	32,1	—	—	258	1957	127	354

		0						
Всього пунктів спостереження 2696								

Для автоматизованого оброблення даних і надання користувачам необхідної інформації створена головна станція з інформативно-обчислювальним комплексом (при УкрНДІ ґрунтознавства і агрохімії ім. О. Соколовського) та дві базові станції: при УкрНДІ землеробства (Поліська) і при УкрНДІ захисту ґрунтів від ерозії (стєпова). Експедиційні, польові та аналітичні роботи здійснюють проектно-дослідницькі станції хімізації (локальні станції у ґрунтових провінціях).

Гідрогеологомеліоративні експедиції Держкомітету з водного господарства здійснюють моніторинг ґрунтів меліоративного фонду, іригаційної ерозії; гідрометеостанції забезпечують кліматичною інформацією і оцінюють післядію злив і пилових бур; УкрНДІ «Укрземпро-ект» та його філіали забезпечують вихідну інформацію і контролюють земле використання; Укргеологія контролює забруднення порід і вод, геологічну та техногенну ерозію. Держсортмережа і дослідні станції надають для моніторингу спеціальні варіанти дослідів.

Обґрунтований вибір пунктів спостережень, їх репрезентативність відповідно до ґрунтового-географічного районування, комплексні спостереження і дослідження, їх координату й узагальнення передбачають науково-організаційні принципи організації ґрунтового моніторингу.

## **17. 2. Критерії оцінювання і види ґрунтового-екологічного моніторингу**

Складовою методичної основи ґрунтового моніторингу є система показників контролю, за допомогою яких можна впливати на стан і процеси в ґрунті, регулювати його родючість. Тому необхідним є встановлення регіональних критеріїв гранично допустимих навантажень на ґрунт і ГДК різних забруднювачів та необхідних видів моніторингу.

**Критерії оцінювання ґрунтового-екологічного моніторингу.** Як ознака виконаної оцінки, мірило для оцінки предмета чи явища, вони мають бути

порівнюваними у часі й просторі і сприяти управлінню ґрунтовими процесами з метою створення оптимальних умов росту та розвитку сільськогосподарських культур. Це зумовлює низку обмежень при доборі критеріїв оцінки при моніторингу ґрунтів. Найважливішими умовами обрання певних критеріїв є незначна мінливість за відносно довгий проміжок часу під впливом природних факторів при одночасній можливості встановити коливання показників внаслідок дії антропогенних і техногенних факторів; наявність простої і зручної методики, що дає змогу визначити і кількісно оцінити показник; наявність функціональної залежності між критерієм і дією антропогенних факторів; просторово-часову його симетричність (ізотропність) (табл. 2).

Таблиця 2

Процеси, показники і методи ґрунтового моніторингу

№	Процеси, які контролюються	Показники	Глибина зразків, см	Періодичність визначень
1	2	3	4	5
1.	Зміна структури ґрунтового покриву і контроль землекористування	Змитість, дефльованість, залуженість, засолонцюваність, засоленість, мочаристість, оглеєність, елювійованість, намитість, гумусність, окультуреність, глибина органічного (торфового) шару, ступінь цього розкладання і зольності, дренаваність (осушеність), озалізненість, окарбоначеність осушених земель, вторинна насиченість і	—	Раз на 15—20 років

	кислотність, зруйнованість і рекультивованість		
Трансформація земельних угідь за ґрунтовим покривом	Структура ґрунтового покриву земель, які вилучаються для несільсько-господарських потреб, і його оцінка в балах.	—	Щороку
Контроль оптимальності землекористування	Площі рекомендованих і фактичних угідь	—	Щороку
Контроль оптимальності технологій	Рекомендовані фактичні види та дози органічних і мінеральних добрив, пестицидів, способи основного обробітку, протиерозійні заходи.	—	Щороку
Контроль комплексної охорони ґрунтів (освоєння контурно-меліоративної організації	Організація територій, протяжність найпростіших гідротехнічних споруд, протяжність і висота лісових смуг, захищеність ділянки, %; площа постійного залуження, в т.ч. на зразкових	—	Раз на 5 років

території )	агроландшафтах	
-------------	----------------	--

1	2	3	4	5
2.	Зміна основних властивостей і режимів			
	Гумусний стан	Загальний вміст гумусу Вміст рухомих гумусних речовин	0—20 30—40	Раз на 5 років Щороку
	Реакція ґрунтового розчину	pH водний pH сольовий Гідролітична кислотність	30—40 30—40 30—40	Раз на 5 років
	Ємність вбирання	Ємність катіонного обміну (обмінні основи)	30—40	Раз на 5 років
	Водний режим	Вміст вологи	0—100	3 03 по 01 місяць — подекадно, 01, 02, 11, 12 — раз на місяць
	Поживний режим	Визначення рухомих форм фосфору і калію в ґрунті	0—20	Раз на 5 років
	Санітарний стан	Визначення нітратів у ґрунті Валовий вміст важких металів Рухомі форми важких металів Вміст пестицидів у ґрунті і воді Вміст нітратів у рослинах Радіологічне обстеження: визначення вмісту стронцію-90; β-активності; γ- активності	30—40 0—20 0—20 0—20 — 0—20 0—10 10—20	Щороку Раз на 5 років Те саме    Щороку Щороку
	Агрофізичні властивості	Рівноважна щільність Структурно-агрегатний склад Водопроникність	20—40 20—40 3 по-верхні	Раз на 5 років Раз на 5 років
	Біологічна активність у ґрунті	Азотофіксація Нітрифікація Денітрифікація	0—20 30—40 30—40	Те саме

1	2	3	4	5
		Активність пероксидази та інвертази Сумарна біологічна активність	30—40 30—40	Раз на 5 років Те саме
3.	Оцінка інтенсивності прояву процесів ерозії			
	Пошкодження угідь та посівів	Площа (га) в межах адміністративних районів, областей і в цілому по країні. Виділяють: рілля, багаторічні насадження (сади, виноградники та ін.), природні луки й пасовища	—	Щороку  По мірі прояву
	Осередки й ареали поширення пилових бур	Площа (га) в межах адміністративних районів, областей і в цілому по країні	—	Див. графу 3
	Кількість та інтенсивність зливових опадів	Атмосферні опади (мм) подекадно	—	Щодня за період прояву ерозії
	Весняні рідкі й тверді стоки	Інтенсивність опадів (мм/хв) за теплий період. Матеріали снігомірної зйомки. Стік максимальний та інші показники стоку за період танення снігу	—	У період прояву ерозії
	Швидкість вітру при виникненні пилових бур і локальному прояві вітрової ерозії	Швидкість вітру (м/с) по восьми румбах (7, 13, 19 год за місцевим часом)	—	До і після прояву ерозії
	Облік динаміки проектного покриття ґрунту рослинністю або її рештками	Площа і відсоток поверхні ґрунту, що вкрита рослинністю або її рештками	—	У період прояву ерозії
	Зміна глибини гумусових горизонтів	Глибина (см) гумусового горизонту	—	До і після прояву ерозії

1	2	3	4	5
	Визначення зміни властивостей ґрунту під впливом ерозійних процесів	Вміст гумусу (вихідний, після впливу ерозії у ґрунті та наносі); якісний склад органічної речовини (в тих самих зразках) Вміст фосфору і калію Структурно-агрегатний склад	0—10  0—10  0—10	Те саме
4.	Визначення втрат ґрунту і води на стокових майданчиках Визначення втрат ґрунту на контрольних ділянках Визначення прогнозних втрат води і ґрунту при ерозійних процесах залежно від господарського використання і стану ґрунту Іригаційна ерозія Облік характеру пошкоджень поверхні ґрунту	Щільність складення ґрунту Маса рідкого (м <sup>3</sup> /га) і твердого (т/га) стоку  Маса (т/га) втрат ґрунту  Маса рідкого (м <sup>3</sup> /га) і твердого (т/га) стоків; еколого-економічні збитки  Облік зруйнованої водою площі ґрунту. Облік маси (т/га) конусів виносу Визначення інтенсивності прояву вітрової ерозії	0—10  10—20  30—40  —  —	Те саме  У період прояву ерозії    Те саме    У кінці періоду прояву ерозії
	Стан ґрунтів меліоративного фонду			
	Якість вод для зрошення	Хімічний склад зрошуваних вод, концентрації забруднюючих речовин, активність іонів Са, Na, К, Н, NO <sub>3</sub> , Cl, J; наявність радіоактивних сполук	—	Двічі на рік

Закінчення таблиці 2

1	2	3	4	5
	Рівень і склад	Глибина залягання	—	Двічі

	підґрунтових вод	підґрунтових вод, хімічний склад (рН, N0 <sub>3</sub> , Ca, Mg, Na, K); концентрації забруднюючих речовин (Cl, S0 <sub>4</sub> , HCO <sub>3</sub> )		на рік
	Засоленість ґрунтів і підґрунтя зони аерації	Вміст водорозчинних солей	0—25 25—50 50—75 75—99	Раз на 3—5 років
	Вторинне засолення	Склад увібраних катіонів: активність іонів H, Ca, Na; розрахунок співвідношення Ca/Na, Na/Ca	0—20 20—40	Раз на 5 років Раз на 5 років
	Оцінка темпів спрацювання осушених торфовищ	Глибина органічних горизонтів Щільність складення торфу	— 0—20	
	Вторинне осушення	Зольність торфу	30—40	
	Трансформація органічної речовини	Ступінь розкладання торфу Ступінь гуміфікації торфу	30—40 30—40	
	Вторинне озалізнення осушених гідроморфних ґрунтів	Форми заліза	30—40	Те саме
б.	Оцінка ефективної родючості земель	Якість рослинницької продукції: вміст азоту й сирого протеїну, нітратів, фосфору, масова частка калію,	—	Щороку

	цукру в цукрових буряках Вміст у харчових продуктах і кормах токсичних елементів: заліза, міді, свинцю, кадмію, цинку		
--	---	--	--

Для об'єктивного інформаційного забезпечення і прийняття правильних рішень ґрунтовий моніторинг повинен забезпечувати вихідні, поточні та періодичні дані про основні характеристики ґрунтового покриву. Обов'язковими оціночними критеріями є грануломет ричний та мінералогічний склад, дані гумусного стану ґрунту, оціночні дані формування режимів ґрунту.

**Види ґрунтово-екологічного моніторингу.** Залежно від характеру контрольованої інформації та поставленої мети виокремлюють (С. Веремєєнко) перспективний (періодичність спостережень 1 раз на 10 років), віддалений (періодичність спостережень 1 раз на 5—10 років) та оперативний (щорічні режимні спостереження) види моніторингу (табл. 6.5).

Таблиця 3

Види ґрунтового моніторингу, оціночні критерії та процеси (зона Полісся)

Види моніторингу, періодичність спостережень	Показники, оцінюючі критерії	Процеси, які контролюються
1	2	3
1. Перспективний Не частіше 1 раз за 10 років	1. Гранулометричний склад: — вміст фізичної глини та піску; — співвідношення фракцій за горизонтами	Лесиваж, кольматаж

	<p>2. Хімічний склад:</p> <p>— валовий вміст макро-та мікроелементів, важких металів;</p> <p>— фракційний склад макроелементів</p>	<p>Опідзолення, оглеєння, вилуговування та акумуляція хімічних елементів</p>
	<p>3. Мінералогічний склад: — кількісний та якісний склад мінералів мулистій фракції</p>	<p>Швидкість та спрямованість процесів трансформації мінеральної частини ґрунту</p>
<p>2. Віддалений 1 раз в 5—10 років</p>	<p>1. Оцінка гумусного стану ґрунту:</p> <p>— вміст гумусу;</p> <p>— валові запаси гумусу;</p> <p>— якісний склад гумусу;</p> <p>— баланс органічної речовини</p>	<p>Особливість та інтенсивність трансформації ґрунтової органіки</p>
	<p>2. Оцінка темпів спрацювання торфових ґрунтів:</p> <p>— потужність органогенного горизонту та запаси органіки;</p> <p>— зольність та ступінь розкладу торфу;</p> <p>— ступінь гуміфікації торфу</p>	<p>Спрямування процесу в бік дегуміфікації або гумусо-накопичення</p>
	<p>3. Біологічна активність:</p> <p>— азотфіксація, нітрифікація та денітрифікація;</p> <p>— целюлозолітична активність;</p> <p>— загальна біологічна активність;</p>	<p>Інтенсивність та спрямованість процесів трансформації свіжих органічних решток та гумусу, міграція</p>

	— фермативна активність	макроелементів
3. Опера- тивний Щорічно режимні спо- стереження здійснюються протягом року або вегетаційного періоду	1. Поживний режим: — вміст рухомих форм макро- та мікроелементів; — використовувані запаси макроелементів	Забезпеченість грунту поживними елементами
	2. Водний режим: — вологість ґрунту; — запаси продуктивної вологи; 2.1. Режим РГВ на меліорованих землях	Особливості накопичення та витрат вологи в ґрунті
	3. Температурний режим:  — температура ґрунту; — індекс прогрівання; — суми активних  та ефективних температур	Теплообмін  в ґрунтах, тепло- забезпеченість ґрунту
	4. Оцінка агроекологічного стану: — збалансованість за поживними елементами; — щільність радіоактивного забруднення;	Можливість  забезпечення урожаю поживними елементами ґрунту та отримання

<ul style="list-style-type: none"> <li>— вміст рухомих форм важких металів;</li> <li>— вміст пестицидів</li> </ul> <p>4.1. Оцінка інтенсивності проявів ерозії:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— розвиток водної лінійної та площинної ерозії;</li> <li>— дефляція та виникнення пилових бур;</li> <li>— іригаційна ерозія</li> </ul>		<p>екологічно чистої продукції</p> <p>Розвиток та інтенсивність ерозійних процесів</p>
<p>5. Оцінка фізико-хімічного стану ґрунтів:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— рН сольове та водне;</li> <li>— гідролітична кислотність;</li> <li>— ємність катіонного обміну;</li> <li>— ступінь насичення основами</li> </ul>		<p>Зміна фізико-ХІМІЧНИХ властивостей ґрунту, прояв фізико-хімічної деградації ґрунтів</p>

Перспективний та віддалений моніторинг дають змогу контролювати показники, що характеризують стан структурної частини ґрунту, оцінюючи яку, з'ясовують потенційну родючість. Ці показники (валовий, хімічний, мінералогічний, гранулометричний склад, вміст валових запасів та якісного складу гумусу, валові запаси азоту, фосфору, калію, мікроелементів, важких металів, радіонуклідів) мало динамічні, кількісно змінюються дуже повільно. Контроль за ними слід здійснювати не частіше, як один раз на 5—10 років. Оперативний моніторинг забезпечує постійне спостереження за найбільш динамічними показниками (рухомі форми поживних елементів, рН, фізичний стан ґрунту, вміст рухомих форм важких металів), що зумовлюють рівень ефективної родючості та агроекологічний стан ґрунтів..

Система моніторингу ґрунтів, яка передбачає комплексне виконання перспективного, віддаленого та оперативного його видів, сприяє

отримуванню об'єктивної інформації про гранулометричний, мінералогічний склад ґрунту, вміст у ньому гумусу; показники формування водного, температурного, поживного, окисно-відновного режимів та показники екологічного стану ґрунту (рівень еродованості, ступінь деградованої за рівнем забруднення важкими металами, пестицидами). На основі інформації про стан ґрунту розробляють заходи з управління продуктивністю ґрунтів, тобто підвищення їх родючості та поліпшення екологічного стану ґрунтового покриву.

## **Тема 18. Організація спостережень за рівнем забрудненості ґрунтів**

18.1. Основні принципи спостережень за рівнем хімічного забруднення ґрунту

18.2. Особливості організації спостереження і контролювання забруднення ґрунтів пестицидами

18.3. Організація моніторингу забруднення ґрунтів важкими металами

### **18.1. Основні принципи спостережень за рівнем хімічного забруднення ґрунту**

Негативні наслідки антропогенного забруднення ґрунтів проявляються як на регіональному, так і на глобальному рівнях. Тому розроблення програм спостережень за хімічним забрудненням ґрунту є актуальним завданням. Складання таких програм передусім потребує адекватної оцінки сучасного стану ґрунту та прогнозу його змін. Необхідну інформацію отримують за допомогою системи спостережень, яку здійснюють з метою виконання таких завдань:

- реєстрація наявного рівня хімічного забруднення ґрунтів; виявлення географічних закономірностей та динаміки тимчасових змін забруднення ґрунтів залежно від їх розміщення та технологічних параметрів джерел забруднення;
- прогнозування змін хімічного складу ґрунтів у майбутньому та оцінювання можливих наслідків забруднення ґрунтів;
- обґрунтування складу та характеру заходів щодо регулювання можливих негативних наслідків забруднення ґрунтів і заходів, спрямованих на корінне поліпшення забруднених ґрунтів;
- забезпечення зацікавлених організацій інформацією про рівень забруднення ґрунтів.

Зміст і характер проведення спостережень за рівнем забруднення ґрунтів та їх картографування у різних (сільських або міських) умовах мають певні особливості.

Залежно від завдань, які необхідно виконати, виокремлюють такі види спостережень:

- 1) Режимні спостереження (систематичні спостереження за рівнем вмісту хімічних речовин в ґрунтах протягом визначеного часу).
- 2) Комплексні спостереження (охоплюють дослідження процесів міграції забруднюючих речовин в системі «атмосферне повітря» — «ґрунт», «ґрунт — рослина», «ґрунт — вода», «ґрунт — відклади дна»).
- 3) Вивчення вертикальної міграції забруднюючих речовин в ґрунтах.
- 4) Спостереження за рівнем забруднення ґрунтів у визначених відповідно до запитів певних організацій пунктах.

На підставі спостереження за рівнем забруднення ґрунтів одержують інформацію не тільки про ступінь їх хімічного забруднення, а й з'ясовують тенденції розвитку процесів і прогнозують зміни забруднення під дією різноманітних факторів.

У зв'язку з нерівномірним забрудненням довкілля актуальним є закладення стаціонарних площадок екологічних досліджень у межах адміністративних районів за трьома методами. За першим методом як основу розміщення сітки стаціонарних площадок застосовують розу вітрів, орієнтуючись на 2—3 напрямки. На карту у відповідному масштабі в підвітряному напрямку наносять прямі лінії (протилежні напрямку вітру) з позначенням віддалей від джерела забруднення (0,5, 1, 5, 10, 20, 30, 50 км). У цих точках закладають постійні або тимчасові ділянки екологічних досліджень. Згідно з другим методом площадки екологічних досліджень розташовують на перетині ліній двокілометрової сітки на ґрунтовій карті. Відповідно до третього методу на ґрунтову карту наносять основний напрямок вітру та проводять радіуси відповідних румбів. Потім окреслюють дуги на віддалі 2, 3, 4, 5 км від джерела забруднення. Віддаль між радіусами повинна бути не більша як  $22,5^\circ$ . У точках перетину радіусів і дуг закладають стаціонарні площадки або відбирають проби згідно з ГОСТ 17.04.3.01.83, ГОСТ 17.4.4.02.84.

Як правило, ґрунтові проби відбирають на віддалі 5—50 км від джерела забруднення по осі переносу повітряних мас, за переважаючими напрямками розсіювання викидів. У зонах дії основних автомагістралей проби відбирають в межах 10—200 м, селищних доріг — 5—50 м від дороги. Опорні розрізи закладають на глибині 2 м або до рівня ґрунтових вод, загальні розрізи — до глибини 30 см. Проби сухих ґрунтів відбирають у полотняні щільні мішечки, мокрі — в поліетиленові, які після доставки в лабораторію негайно сушать у приміщенні, що добре провітрюється, й аналізують.

Здійснення моніторингу ґрунтів у такий спосіб дає змогу виявити локальні ділянки забруднення ґрунтів і визначити рівень їх забруднення певними хімічними речовинами, встановити джерела забруднення ґрунту, дослідити міграційні особливості шкідливих речовин у ґрунті та розробити комплекс заходів, спрямованих на поліпшення екологічної ситуації.

## **18.2. Особливості організації спостереження і контролювання забруднення ґрунтів пестицидами**

Пестициди різних видів, які широко застосовують для боротьби із шкідниками, бур'янами та хворобами сільськогосподарських рослин на полях, завдають значної шкоди довкіллю.

При підготовці до польових спостережень і контролю за забрудненням ґрунтів пестицидами вивчають наявний матеріал про фізико-географічні умови об'єкта досліджень, детально ознайомлюються з інформацією про тривалість застосування пестицидів у господарствах, виявляють господарства, де найінтенсивніше застосовували пестициди протягом останніх 5—7 років, аналізують матеріал про урожайність сільськогосподарських культур.

Дослідження проводяться на постійних та тимчасових пунктах спостережень. Постійні пункти (діють протягом 5 років і більше) організовують на обстежуваних територіях адміністративних районів. Їх кількість залежить від розмірів території. Постійні пункти обов'язково

обладнують на території молокозаводів, м'ясокомбінатів, елеваторів, плодоовочевих баз, птахоферм, рибгоспів та лісгоспів. На тимчасових пунктах спостереження здійснюють протягом одного вегетаційного періоду або року. Як правило, на кожній території району досліджують 8—10 полів основної сівозміни.

Проби відбирають 2 рази на рік: весною, після сівби, та восени, після збору врожаю. При встановленні багаторічної динаміки залишків пестицидів у ґрунтах або їх міграції в системі «ґрунт — рослина» спостереження проводять не менше 6 разів на рік (фонові — перед сівбою, 2—4 рази під час вегетації культур і 1—2 рази в період збору врожаю).

Для оцінки площинного забруднення ґрунтів пестицидами відбирають 25—30 проб вагою 15—20 г по діагоналі ділянки (глибина відбору проб 0—20 см) спеціальним буром. Ґрунт, отриманий з підорного шару, вилучають. Відбір проб можна проводити і лопатою. Якщо спостереження проводять у садах, то кожна проба відбирається на відстані 1 м від стовбура. Одноразові проби, з яких формується вихідна проба, повинні бути близькими за кольором, структурою, механічним складом.

Для вивчення вертикальної міграції пестицидів закладають ґрунтові розрізи (розміром 0,8 x 1,5 x 2,0 м) — глибокі шурфи, які перетинають усю серію ґрунтових горизонтів і відкривають верхню частину материнської породи. Перед відбором проб коротко описують місця розміщення розрізу і ґрунтових горизонтів (вологість, колір, забарвлення, механічний склад, структура, складення, новоутворення, включення, розвиток кореневої системи). Відбирають з кожного генетичного горизонту по одному зразку товщиною 10 см.

Відібрані будь-яким способом проби зсипають на папір, перемішують і квартують (послідовно ділять на чотири частини) 3—4 рази, ґрунт після квартування ділять на 6—9 частин, з центрів яких беруть приблизно однакову його кількість в крафт-папір. Маса зразка повинна становити 400—500 г. Його супроводжують такими даними: порядковий номер зразка, місце

відбору, рельєф, вид сільськогосподарського угіддя, площа поля, дата відбору, прізвище того, хто здійснював відбір. Ці проби аналізують у природному вологому стані. Якщо протягом дня аналізу провести неможливо, то проби висушують до повітряно-сухого стану. Середня проба сухого зразка — 200 г. Відібрана проба проходить підготовку до аналізу: розтирається в фарфоровій ступці та просіюється через сито з отворами 0,5 мм, після чого відбирають зразки для аналізу по 10—50 г. Одна проба характеризує неоднакові (табл. 1) площі поля з огляду на різні категорії місцевості та ґрунтових умов.

Таблиця 1

Категорія місцевості та ґрунтових умов при виборі площі поля для спостереження за рівнем забруднення ґрунтів пестицидами

Категорія місцевості та ґрунтових умов	Площа поля, що характеризується 1 пробою, га
Лісова зона, райони з хвилястим рельєфом, з різними ґрунтоутворюючими породами і комплексним ґрунтовим покривом	1—3
Лісостепові і степові райони зі змінним рельєфом	3—6
Степові райони з рівнинним або слабозмінним рельєфом та одноманітним ґрунтовим покривом	10—20
Гірські райони із значною мікрокомплексністю ґрунтового покриву та незначними розмірами сільськогосподарських полів	0,5—3
Зрошувальна зона	2—3

Мережа тимчасових та постійних пунктів спостереження за забрудненням ґрунтів пестицидами забезпечує інформацією для визначення залишкової кількості пестицидів, дослідження їх вертикальної і горизонтальної міграції, оцінювання ймовірності забруднення пестицидами ґрунтових вод і сільськогосподарських культур. На основі осмислення

отриманої інформації формують рекомендації щодо застосування певних пестицидів у різних умовах.

### **18.3. Організація моніторингу забруднення ґрунтів важкими металами**

Життєве важливою для населення є інформація про забруднення сільськогосподарських угідь важкими металами. Однак фундаментальні дослідження з цієї проблеми відсутні, а фрагментарні дані неоднозначні, нерідко суперечливі.

Більшість особливо забруднених важкими металами земель зосереджена в промислових зонах та прилеглих до них територіях на відстані 1—5 км, а концентрації важких металів на землях, віддалених більше ніж на 20—50 км від промислових комплексів, перебувають у межах норми. Забруднення важкими металами особливо небезпечне тому, що вони легко переходять із ґрунту в рослинну продукцію, а при її споживанні — в організм тварини і людини.

Моніторинг забруднення ґрунтів важкими металами в містах і їх околицях має експедиційний характер. Перед реалізацією польової програми таких спостережень визначають кількість точок відбору проб, складають схему їх територіального розміщення, планують польові маршрути і послідовність робіт, встановлюють терміни виконання робіт, формують топографічний матеріал і ґрунтові карти, проводять інвентаризацію джерел забруднення прилеглих територій.

Матеріал для аналізу рекомендовано збирати в сухий період року — влітку або ранньою осінню (період збирання врожаю основних сільськогосподарських культур). При стаціонарних спостереженнях відбір проб проводять незалежно від експедиційних робіт. Повторний моніторинг забруднення ґрунтів важкими металами обстеженої території здійснюють через 5—10 років.

При виборі ділянок спостереження вихідним документом є топографічна основа. Контури міста, промислового комплексу розміщують в

центрі плану місцевості. Із геометричного центру за допомогою циркуля наносять кола на відстанях 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0; 8,0; 10,0; 20,0; 30,0; 50,0 км, тобто позначають зону можливого забруднення ґрунтів важкими металами. На план місцевості наносять контури багаторічної «рози вітрів» за 8—16 румбами. Найдовший вектор, який відповідає найбільшій повторюваності вітрів, спрямовують у підвітряну сторону, його довжина становить 25—30 км (на плані — 25—30 см). Отже, контур, утворений розою вітрів, схематично охоплює територію найбільшого забруднення важкими металами. У напрямку радіусів будують сектори шириною 200—300 м поблизу джерел забруднення з поступовим розширенням до 1—3 км. У місцях перетину осей секторів з колами розміщуються так звані ключові ділянки.

Ключова ділянка — ділянка (площа 1—10 га), яка характеризує типові поєднання ґрунтових умов і умов рельєфу, рослинності та інших компонентів фізико-географічного середовища.

На цих ділянках розташовують мережу опорних розрізів, пункти і площадки відбору проб.

При спостереженні за рівнем забруднення ґрунтів важкими металами велике значення має порівняння змін, які відбуваються залежно від збільшення чи зменшення впливу того чи іншого фактора. Ці закономірності можна виявити за допомогою ґрунтово-геоморфологічних профілів, які перетинають усю територію вздовж переважаючих напрямків вітру.

Ґрунтово-геоморфологічний профіль — вузька, лінієподібна смуга земної поверхні, на якій встановлена кореляція ступеня забруднення ґрунтів з одним або кількома екологічними факторами.

Комплексний аналіз інформації, отриманої з ґрунтово-геоморфологічних профілів і ключових ділянок дає змогу отримати цілісну характеристику ситуації щодо забруднень важкими металами. Техногенні викиди забруднюють ґрунтовий покрив через атмосферу і нагромаджуються в поверхневих шарах ґрунту, тому відбір проб проводять з глибини 0—10 та

0—20 см на ріллі та з глибини 0—2,5; 2,5—5; 5—10; 10—20; 20—40 см на цілині або старому перелозі.

З метою встановлення інтенсивності надходження важких металів у ґрунт щорічно відбирають проби снігу ранньою весною до початку підсніжного стоку талої води. З 1 га отримують 20—30 точкових проб, які утворюють об'єднаний зразок.

Реалізуючи програму спостережень за рівнем забруднення ґрунтів важкими металами в містах, зважають на планування населеного пункту, рельєф місцевості, висоту будівель, розподілення атмосферних опадів і дощового стоку, частку в забрудненні території міста викидами автотранспорту та місцевих промислових підприємств. Відбір проб проводиться за мережею квадратів. З території 100 га відбирають 5—6 зразків на глибині 20 см.

В Україні 10—30-кратне перевищення ГДК важких металів виявлено в ґрунтах Донецько-Придніпровсько-го промислового регіону і на околицях таких великих міст, як Харків, Одеса, Миколаїв та ін. На вміст промислових токсикантів у ґрунтах були обстежені 15 міст і 2 селища України (табл. 6.7). Максимальний вміст свинцю в ґрунтах — 94 ГДК — зафіксовано в Кривому Розі (в районі фабрики Північного гірничо-збагачувального комбінату), Костянтинівні (в районі заводу «Укр-цинк») — 24 ГДК, Івано-Франківську — 20 ГДК, Іллі-чівську — 17 ГДК. Максимальний вміст кадмію в ґрунтах Костянтинівки був на рівні 18 ГДК, міді в ґрунтах Києва (в районі АТ «Більшовик») — 47 ГДК, а в ґрунтах Харкова — 15 ГДК.

**Складання карт забруднення ґрунтів важкими металами.** При дослідженні забруднення ґрунтів важкими металами складають спеціальні ґрунтовотехнохі-мічні карти, де вказують не тільки типи, підтипи, види, різновиди ґрунтів, а й ступінь забруднення ґрунтів цими речовинами.

Карта забруднення ґрунту — топографічне зменшене зображення узагальненого математично визначеного розподілення забруднених ґрунтів на певній території.

Процес побудови карт забруднення ґрунтів передбачає:

- підготовку топографічної основи;
- розроблення шкали ступеня забруднення ґрунту;
- коректування ґрунтових контурів на базі польових обстежень;
- оформлення карти і допоміжних позначень, які характеризують умови забруднення ґрунту.

Оцінювання та картографування ступеня забруднення ґрунту різними інгредієнтами здійснюють за шкалою ступеня забруднення ґрунтів (у відносних одиницях: відношення ГДК концентрації забруднюючої речовини до наявної концентрації її у ґрунті):

- незабруднені ґрунти — менше 1 (для вирощування екологічно чистих продуктів);
- слабозабруднені ґрунти — 1—3 (землі для загального використання без обмежень структури посівних культур);
- середньозабруднені — 3—5 (землі для вирощування кормових культур);
- сильнозабруднені ґрунти — більше 5 (землі з обмеженим сільським призначенням).

Ускладнювати побудову цих карт може відсутність кількісних показників ГДК, оскільки їх нормативи розроблені не для всіх важких металів. Інколи для характеристики ґрунту використовують кларк хімічного елемента — показник, який відображає середній його вміст в незабрудненому ґрунті (табл. 2).

Використовують також карти з виокремленням таких екологічних класів ґрунтів: незабруднених, екологічно чистих; слабо забруднених (акумулятивні важкі метали III класу токсичності: барій, ванадій, вольфрам, марганець, стронцій); середньо забруднених (переважають метали II класу токсичності: бор, кобальт, молібден, мідь, сурма, хром); сильно забруднених (поширені метали I класу токсичності: миш'як, кадмій, нікель, ртуть, селен, свинець, цинк, фтор, берилій, талій); сильно забруднених нітратами; радіоактивно забруднених.

Забруднення міських ґрунтів промисловими токсикантами

Пункти спостережень	Забруднюючі речовини (середній/максимальний вміст, в поровищеннях ГДК)										Ступінь забруднення
	Pb	Mn	Ni	Cu	Zn	Cd	S	F			
Константи- нівка	5,4/24	1,1/1,8	—	1,0/3,3	1,9/5,7	3,1/18	*	*			Сильно- забруднені
Маріуполь	2,4/10	1,7/4,0	* / 1,0	1,1/2,9	* / 1,3	*	*	*			Сильно- забруднені
Івано- Франківськ	1,6/20	* / 1,2	* / 1,0	* / 8,1	* / 2,3	1,0/1,8	*	*			Сильно- забруднені
Київ	* / 3,4	* / 1,3	*	1,1/4,7	* / 1,8	*	*	*			Сильно- забруднені
Кривий Ріг	4,7/94	1,3/4,5	1, / 2,6	1,0/5,6	1,0/5,1	* / 16	*	*			Сильно- забруднені
Іллічівськ	2,7/17	* / 1,6	*	1,5/7,3	* / 1,4	* / 2,3	* / 1	*			Сильно- забруднені
Харків	1,4/6,4	* / 1,3	* / 1,1	* / 1,5	* / 2,3	* / 5,5	* / 1,0	1,4/2,2			Сильно- забруднені
Вінниця	1/8	*	*	* / 4,7	* / 1,2	* / 1,5	*	*			Середньо- забруднені
Запоріжжя	* / 4,8	1,1/5,7	* / 3	* / 1,7	* / 2,8	* / 1,5	*	* / 1,4			Середньо- забруднені
Мелітополь	1,6/9,9	*	* / 1,0	* / 2,1	* / 1,5	* / 8,0	*	* / 1			Середньо- забруднені
Миколаїв	1,4/5,1	*	* / 2	* / 1,3	* / 1,4	* / 6,0	*	* / 2,7			Середньо- забруднені
Білгород- Дністров- ський	* / 2,1	*	*	1,3/9,8	* / 3,6	*	*	*			Середньо- забруднені

\* Вміст забруднюючих речовин нижче ГДК

Таблиця 2

Кларки хімічних елементів і їх ГДК в ґрунті

Елемент	Кларк, мг/кг	ГДК, мг/кг
Ванадій	100	—
Марганець	850	1400
Хром	75	100
Кобальт	8	50
Нікель	40	50
Мідь	20	100
Цинк	50	300
Селен	0,01	10
Кадмій	0,5	302
Ртуть	0,02	3
Свинець	10	2
Стронцій	300	1000

Карти забруднення ґрунтів важкими металами відображають рівень забруднення, дають змогу прогнозувати процеси, які у них відбуватимуться. Карты супроводжуються пояснювальною запискою, в якій описуються фізико-географічні й метеорологічні умови регіону і характеризуються джерела забруднення. Кожному значенню шкали ступеня забруднення ґрунтів на карті відповідають певний колір і штриховка. Такі карти створюють для країн та Землі загалом.

З кожним роком площі ґрунтів, придатних для сільського господарства, скорочуються. Неправильне землекористування, забруднення промисловими, сільськогосподарськими і побутовими відходами посилюють деградаційні процеси в ґрунті. З метою отримання систематичної об'єктивної інформації про зміни стану ґрунту, виявлення їх причин і тенденцій розвитку, оптимізації впливу людини на ґрунтовий покрив формують систему мітингу стану ґрунтів. Її здійснюють за допомогою відповідних служб на

визначених об'єктах контролю, він є найдоцільнішою системою науково-інформаційного забезпечення природоохоронних і управлінських рішень.

## **Тема 19. Моніторинг меліорованих земель**

19.1 Еталонні об'єкти і методика організації еколого-меліоративного моніторингу

19.2 Критерії оцінювання екологічного стану осушуваних та прилеглих до них земель

19.3 Критерії оцінювання екологічного стану зрошуваних і прилеглих до них земель

Меліорація земель як комплекс організаційно-господарських і технологічних заходів є важливим фактором соціально-економічних перетворень, що впливає на розвиток агропромислового комплексу, народного господарства загалом. Як складова оптимізації природного середовища вона спрямована на поліпшення земельних угідь з метою оптимального використання природного потенціалу ґрунтів і передбачає зрошування, осушування, дехімізацію та інші заходи. Однак меліорація може спричиняти і негативні явища та процеси: пересушування або перезволоження земель; розвиток небажаних інженерно-геологічних процесів; недостатній приріст урожайності сільськогосподарських культур. Тому необхідні отримання систематичної об'єктивної інформації про всі зміни на меліорованих територіях, аналіз їх причин і тенденцій розвитку, прогнозування меліоративного стану і його оптимізація, тобто створення системи меліоративного моніторингу.

Меліоративний моніторинг — система спостережень, оцінювання, прогнозування та прийняття рішень з метою оптимізації меліорованих земель і прилеглих до них територій.

Основними завданнями меліоративного моніторингу є:

- вивчення закономірностей багаторічного природного і трансформованого меліоративною діяльністю людини рівневого та гідрохімічного режиму й балансу ґрунтових вод;
- вивчення режиму вологості ґрунтів та порід зони

- аерації;
- вивчення змін гідрогеологічних, гідрологічних та інженерно-геологічних умов на меліорованих землях і прилеглих до них територіях;
- аналіз та узагальнення гідрогеолого-меліоратив-ної інформації з метою оцінки фактичного стану осушуваних та зрошуваних земель, визначення ступеня меліоративного впливу на навколишнє природне середовище;
- гідрогеологічне прогнозування.

Окремі блоки та прямі і зворотні зв'язки між ними (рис. 1) формують систему моніторингу меліорованих земель.

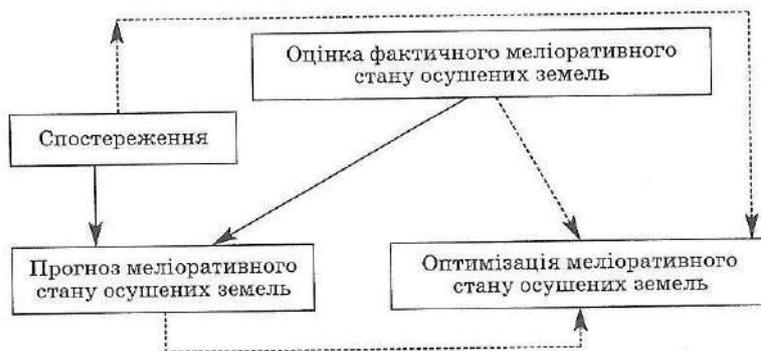


Рис. 1. Меліоративний моніторинг земель

Блок «Спостереження» передбачає вибір індикаторних елементів і параметрів меліоративного стану земель, що підлягають спостереженню та оцінюванню. Блок «Оцінка фактичного стану меліорованих земель» оснований на порівняльному аналізі наявного меліоративного стану осушених або зволжених земель з оцінними критеріями для з'ясування ступеня несприятливих відхилень у меліоративній ситуації. Важливим елементом блоку є обрання науково обґрунтованих критеріїв, які повинні диференціювати меліоративний стан земель залежно від дії осушувальної або зрошувальної мережі й нормативно обґрунтувати напрями його оптимізації.

Блок «Прогноз стану меліорованих земель» базується на інформації про стан меліоративних земель натеper і в минулому. Першочергове

значення має прогнозування глибини залягання ґрунтових вод, яке є головним критерієм завчасної оцінки меліоративної ситуації й основою для розроблення і оперативної реалізації необхідних експлуатаційних заходів з метою регулювання водного режиму території. При прогнозуванні рівнів ґрунтових вод необхідне встановлення ступеня і особливостей впливу меліоративних заходів на прилеглі землі з тим, щоб зміни в натурально-природній ситуації не порушували екологічної рівноваги.

Реалізуючи блок «Оптимізація меліоративного стану земель», необхідно виявити й ідентифікувати процеси та явища, що порушують нормальне функціонування меліоративних систем, і визначити заходи, які сприятимуть оптимізації становища.

Блоки «Спостереження», «Оцінка стану меліорованих земель», «Прогноз стану меліорованих земель» формують інформаційну систему моніторингу, а блок «Оптимізація меліоративного стану земель» — систему управління.

Система меліоративного моніторингу зорієнтована на накопичення необхідних обсягів порівнюваної інформації, оцінювання наявної меліоративної ситуації, її прогнозування та прийняття рішень із питань оптимізації.

### **19. 1 Еталонні об'єкти і методика організації еколого-меліоративного моніторингу.**

Контролювання і аналізування змін, які відбуваються в природних комплексах внаслідок дії меліоративних заходів, може забезпечити організація еколого-меліоративного моніторингу — системи комплексних спостережень, оцінювання та прогнозування стану природного середовища на меліорованих і прилеглих землях, а також загальних спостережень за ситуацією на території водозбору.

Еколого-меліоративний моніторинг може бути локальним, регіональним і національним. Ці види є складовими глобального біосферного

моніторингу, який комплексно оцінює зміни в природних комплексах внаслідок антропогенної дії.

На локальному рівні основну увагу приділяють отриманню безпосередніх характеристик стану земель, параметрів складових геологічного середовища і режиму його функціонування. Локальний еколого-меліоративний моніторинг забезпечує гідрогеологомеліоратив-на служба, а спостереження і дослідження проводяться спільно із зацікавленими проектними й науково-дослідницькими організаціями за єдиною методикою.

На регіональному рівні вирішують питання оцінювання просторово-часової мінливості параметрів геологічного середовища (багатокомпонентної динамічної системи, що охоплює верхню частину літосфери, яка перебуває під техногенним впливом (рельєф, ґрунти, підземні води, форми прояву екзогенних геологічних процесів)), формують бази даних регіонів, нормативно-довідкову і нормативно-методичну базу галузі у складі регіональних центрів моніторингу. Результати узагальнень передають у національний і галузеві центри.

На національному рівні узагальнюють інформацію по галузях загалом, формують бази даних галузевого центру моніторингу, розробляють заходи та координують роботи з іншими відомствами — суб'єктами державного моніторингу докільця, міжнародними центрами екологічного моніторингу.

Загальне оцінювання впливу меліорації на природні комплекси здійснюється за допомогою:

- порівняння даних про стан природних комплексів у природних умовах (до проведення меліорації) і в техногенних умовах (через 3—5 років після введення осушеного або зрошеного об'єкту меліорації в експлуатацію);
- порівняння інформації про стан природних комплексів за техногенних умов з аналогом, розташованим поза зоною впливу меліорації (на прилеглих зонах);

- встановлення фактичної зони впливу меліорації на прилеглі землі і порівняння з проектною (прогнозованою).

Антропогенний вплив меліорації на природні комплекси призводить до змін:

- режиму рівня ґрунтових вод (РГВ) на гідромеліоративних системах і прилеглих територіях;
- режимів стоку води на водотоках і у водоприймачах при їх регулюванні;
- водного, сольового, окисно-відновного і поживного режимів ґрунтів;
- напрямку природних ґрунтоутворюючих процесів;
- природної родючості ґрунтів, забруднення вод і ґрунтів добривами і пестицидами;
- спотворення і часткової ліквідації природних ландшафтів;
- видового і кількісного складу флори та фауни, характерних для природних екосистем.

Ефективність еколого-меліоративного моніторингу значною мірою залежить від точності вибору і обґрунтування об'єкта досліджень, яким може бути еталонна (типова) осушувальна або зрошувальна система, що у достатньому обсязі характеризує весь комплекс природних умов, а також різновиди способів осушення (зрошування тощо), рівня експлуатації сільськогосподарських меліорованих земель, включаючи і природоохоронні заходи.

При типізації меліоративних систем загальними природними ознаками для виокремлення еталонних систем є: водозбір річки, рельєф, ландшафт, типи водного живлення, ґрунтовий покрив, наявність або відсутність постійних водних джерел для зволоження.

Об'єкти спостережень і досліджень (еталонні системи) обирають не лише за природними факторами, а й за антропогенними, вдаючись до типізації, вибору типу і виду меліоративної системи певного класу, характерного для тієї чи іншої таксономічної одиниці природного районування. Основними таксономічними одиницями, які обумовлюють вибір еталонних систем за природними факторами, є водозбори річок.

Методика спостережень і досліджень на еталонних водозборах. Моніторинг стану природного середовища на еталонних водозборах здійснюють, використовуючи метод профілів і метод локальних зон.

Метод профілів полягає в тому, що через весь водозбір системи прокладається нівелірний хід (розрахунковий створ), переважно прямолінійний. Таких ходів може бути кілька залежно від крутизни схилів і довжини водозбору. Вздовж розрахункового ходу послідовно виконують: заміри РГВ; відбори проб ґрунту; відбори проб води на гідрохімічний аналіз; ботанічні й загальні ситуаційні спостереження за станом лісової і лісокущової рослинності, лісової підстилки та ін.

Інформацію, отриману з ділянок детального спостереження, доповнюють даними з локальних зон, отриманими внаслідок спостережень за об'єктами забруднення і проявами ерозійної діяльності (тваринницькими фермами, місцями сховищ мінеральних добрив і пестицидів, гноєсховищами та ін.).

Нівелірні ходи і локальні зони наносять на картографічну основу, додаючи до кожного з них опис і журнал спостережень. Залежно від мети і завдання спостережень визначають обсяг інструментальних робіт. Для впорядкування робіт і визначення їх об'єму виокремлюють 5 зон впливу меліоративної системи:

- 1) внутрішня зона в контурах меліоративної системи;
- 2) внутрішня зона, яка охоплює немеліоровані площі в контурах меліоративної системи;
- 3) зона впливу безпосередньо прилеглих земель;
- 4) віддалена зона впливу;
- 5) зона повітряного простору.

До додаткових ознак належать локальні пониження на прилеглий території і локальні підвищення на об'єкті меліорації (на загальному фоні рельєфу); механічний склад ґрунту і висота капілярного підняття води, потужність ґрунтового покриву і тип ґрунту, домінуюча рослинність на прилеглих

землях, загальний напрямок потоку ґрунтових вод, хімічний склад ґрунтових вод і прогноз його змін після зниження рівня ґрунтових вод.

Основою ґрунтово-меліоративних досліджень на еталонних об'єктах є проведення ґрунтово-меліоративної зйомки, масштаб якої залежить від площі об'єкта і складності природних умов. Вона супроводжується закладанням ґрунтових розрізів, які поділяють на основні, контрольні і прикопки.

Основні ґрунтові розрізи глибиною 2,0 м (до РГВ) закладають на переважаючих геоморфологічних елементах для вивчення будови й особливостей ґрунтового профілю, характеру ґрунтоутворюючих і підстилаючих порід, розподілу вологи, щільності та ін.

Контрольні ґрунтові розрізи глибиною 1—1,5 м закладають для вивчення ступеня варіації найістотніших ознак ґрунтів, виявлених при описі основних розрізів.

Прикопки глибиною 80 см закладають для уточнення меж поширення різних типів ґрунтів.

Кількість розрізів, які закладають при ґрунтовій зйомці еталонних масивів, залежить від її масштабу і складності природних умов об'єкта. Середня кількість основних і контрольних розрізів, які закладаються на кожні 100 га досліджуваного еталонного масиву, становить від 3 до 7 при масштабі 1:10 000, від 8 до 15 при масштабі 1:5000 і від 20 до 35 при масштабі зйомки 1:2000.

На торфових масивах при проведенні ґрунтово-меліоративної зйомки виконують зондування торфовищ по поперечниках, закладених залежно від складності об'єкта через 25 або 50 см на всю глибину торфовища до мінерального дна. Зразки торфу відбирають з усіх основних розрізів і не менше як з 20—50 % контрольних розрізів до глибини 0,3—0,5 м через кожні 10—15 см.

На обводнених мінеральних ґрунтах відповідно до складності ґрунтового покриву додатково до кожного розрізу закладають від 1 до 3 прикопок. Зразки мінеральних ґрунтів відбирають з генетичних горизонтів.

Кількість і види аналізів по кожному розрізу визначають з урахуванням типових особливостей і відмінних ознак різних ґрунтів.

При проведенні ґрунтово-меліоративної зйомки еталонних осушувальних або зволожувальних масивів необхідно охоплювати спостереженнями і прилеглі землі, площі яких приблизно в 1,5 раза перевищують площу еталонного об'єкта.

Водно-фізичні властивості ґрунтів вивчають на дослідних ділянках, закладених на типових для масиву ґрунтах. Кількість аналізів водно-фізичних властивостей ґрунтів залежить від складності ґрунтового покриву. Завершальним етапом ґрунтово-меліоративної зйомки є складання ґрунтово-меліоративної карти з виокремленням типових ґрунтових ділянок. У цій карті синтезують матеріали ґрунтових, гідрогеологічних та інших досліджень. Вона є фоною при оцінюванні змін, зумовлених меліорацією. Ґрунтові ділянки в майбутньому використовують для здійснення на них спеціальних видів спостережень для оцінювання окремих типів ґрунтів.

## **19.2 Критерії оцінювання екологічного стану осушуваних та прилеглих до них земель**

Одним з основних видів меліорації є осушення. Це комплекс заходів, спрямованих на попередження або ліквідацію негативного впливу води на господарську діяльність людей. Осушення дає змогу освоювати нові землі, підвищувати їх родючість, забезпечувати раціональне використання засобів механізації і хімізації. Об'єктами осушення у сільськогосподарських цілях є болота, заболочені і мінеральні ґрунти постійного або тимчасового перезволоження. В основі більшості осушувальних меліорацій лежить підсилення аерації ґрунту, забезпечення аеробних умов для розкладу органічної речовини. Цей вид меліорації суттєво впливає не тільки на екологічний стан осушуваних територій, а й на стан прилеглих до них земель.

Оцінити екологічний стан об'єкта можна шляхом порівняння одержаної внаслідок польових, лабораторних і камеральних (науково оброблених матеріалів, зібраних під час польових і лабораторних спостережень) досліджень інформації із прийнятими за основу даними (базовими). Відхилення параметрів будь-якого компонента природного середовища на 30—35 % від базових у процесі антропогенного впливу на природний об'єкт є загальним екологічним обмеженням.

Екологічне обмеження — система кількісних і якісних параметрів екологічної стійкості природного об'єкта, зміна яких в результаті водогосподарської і меліоративної діяльності призводить до порушення системних властивостей, функціональних характеристик об'єкта і незворотних екологічних наслідків у відповідних ландшафтно-кліматичних умовах.

Екологічну оцінку будь-якого з підконтрольних факторів зумовлює відхилення від прийнятої за основу системи даних, які характеризують природний стан об'єкта:

- сприятливий стан (відхилення до 10 %);
- задовільний стан (відхилення не більше 30 %);
- незадовільний (відхилення більше 30 %). Оцінку проводять з метою створення на осушуваних землях оптимального водно-повітряного режиму для росту і розвитку сільськогосподарських культур.

У зв'язку з цим важливе значення має правильний добір критеріїв меліоративної спрямованості. Їх поділяють на дві групи.

До першої групи критеріїв належать:

1. Вологість кореневмісного шару. Практично для усіх культур, крім трав, оптимальною є вологість 60—75 % від повної вологості, а величина аерації — 20—40 %. Вологість кореневмісного шару в поєднанні з повітряним режимом повинна забезпечувати біологічні потреби під час різних фаз розвитку рослин, оскільки це безпосередньо впливає на формування врожаю сільськогосподарських культур. Від водного режиму

ґрунтів залежать терміни та умови обробітку ґрунту, особливо у весняний період.

2. Технічний стан осушувальної мережі. Найбільш руйнівний вплив на меліоративні споруди мають природні (розмиви укосів каналів; заростання і запливання каналів; зміщення дренажних труб; закупорювання дренажних ліній мулом, окисом заліза, корінням рослин; занесення каналів в процесі дефляції торфовищ) та антропогенні фактори (спорудження у каналах перепон; загат для риборозведення; переїздів та інших споруд, не передбачених проектом).

Вплив цих факторів значною мірою визначає технічні особливості регулювання водно-повітряного режиму осушуваних ґрунтів, можливість проведення сільськогосподарських робіт в оптимальні строки. Тому технічний стан осушувальної мережі є важливим критерієм оцінки меліорованого стану осушуваних земель.

3. Термін поверхневого перезволоження. При затопленні сільськогосподарських угідь порушується взаємозв'язок ґрунтового повітря з атмосферним, що призводить до загибелі кореневої системи рослин. Весняне затоплення затримує початок польових робіт і вегетаційний період, призводить до порушення процесів фотосинтезу, загибелі посівів озимих культур.

4. Культуртехнічний стан земель. Його характеризують такі показники, як мікрорельєф поверхні, зача-гарникованість, забрудненість камінням та ін. Мікрорельєф поверхні впливає на рівномірність зволоження ґрунтів, терміни відводу гравітаційної вологи, графік проведення сільськогосподарських робіт. Інші показники культурнотехнічного стану визначають можливість використання меліорованих земель як сільгоспугідь.

До другої групи критеріїв відносять:

1. Рівень ґрунтових вод (РГВ), або верховодки. За ступенем участі ґрунтових вод у водному живленні рослин можливі три варіанти:

- РГВ залягають на оптимальній для росту і розвитку сільськогосподарських культур глибині;
- РГВ залягають близько від поверхні й спричиняють перезволоження кореневмісного шару ґрунтів;
- РГВ залягають дуже глибоко і не впливають на зволоження верхніх шарів ґрунтового покриву.

Оптимальні глибини залягання ґрунтових вод диференціюються залежно від кліматичних зон, ґрунтових різновидів, культур, періодів року. Рівень ґрунтових вод (верховодки) може використовуватись також як критерій оцінки екологічної ситуації, тобто пересушен-ня або перезволоження земель.

2. Рівень родючості і загальний екологічний стан ґрунтів. Для успішної меліорації земель необхідне окультурення ґрунтів з метою забезпечення їх високої родючості та стабільності. Ступінь окультуреності визначається за такими основними параметрами: потужність, структура і водно-фізичні властивості водного горизонту; вміст гумусу і його склад; ступінь насичення обмінними катіонами; реакція ґрунтового розчину; вміст рухомих форм ЗМ, Г, К; наявністю мікроелементів.

Комплексну оцінку еколого-меліоративної ситуації на осушуваних землях забезпечує використання критеріїв меліоративної спрямованості в поєднанні з критеріями екологічної ситуації, до яких належать:

- наявність негативних процесів (деградація ґрунтового покриву; вторинне заболочування; дефляція, водна ерозія, усідання торфу; наявність самовиливних свердловин);
- хімічний склад підземних, дренажних, поверхневих вод і гідрохімічний режим земель;
- стан рослинності (густота травостою; наявність і площа залисин; стан сільськогосподарських рослин);
- якість сільськогосподарської продукції. Цей критерій є найважливішим, оскільки він пов'язаний з якістю життя і здоров'ям людей.

Оскільки осушування має суттєвий вплив на стан навколишнього природного середовища, у всіх проектах передбачають природоохоронні заходи, спрямовані на запобігання або мінімізацію негативних екологічних наслідків меліорації. Для успішного прогнозування таких заходів необхідний постійний моніторинг усіх ґрунтів, на які діють антропогенні чинники.

### **19.3 Критерії оцінювання екологічного стану зрошуваних і прилеглих до них земель**

Поширеним видом меліорацій є зрошення — штучне зволоження ґрунту з метою забезпечення необхідного водного та пов'язаного з ним теплового режимів на сільськогосподарських землях, які зазнають дефіциту вологи, для успішного розвитку вирощуваних культур. Цей вид меліорації впливає на екологічний стан зрошуваних і прилеглих до них земель, а отже, з метою оцінювання і прогнозування змін, що відбуваються на цих територіях, необхідно запроваджувати еколого-меліоративний моніторинг.

Еколого-меліоративний моніторинг зрошуваних і прилеглих до них земель передбачає здійснення спостереження за:

- еколого-меліоративним станом земель і динамікою його мінливості. При цьому визначають рівневіи і гідрохімічний режими ґрунтових та підземних вод, водно-сольовий режим ґрунтів і порід зони аерації, окисно-відновний і поживний режими ґрунтів, поширення й інтенсивність розвитку негативних геоекологічних та ґрунтоутворюючих процесів, стан забруднення ґрунтів і підземних вод;
- технічним станом зрошувальних та колекторно-дренажних систем спостережної мережі;
- кількістю та якістю поливних і дренажно-стічних вод.

Кількісне оцінювання еколого-меліоративного стану земель (загального стану геологічного середовища, що зазнало впливу меліорації) на певний момент часу проводять за комплексом гідрологічних, інженерно-геологічних і ґрунтово-меліоративних показників, а також показників

забруднення ґрунтів і вод (ґрунтових, підземних, дренажно-скидних). До гідрогеологічних показників належать: середня за вегетаційно-поливний період глибина залягання рівня ґрунтових вод (РГВ); глибина залягання РГВ у передпосівний період; мінералізація ґрунтових вод, їх гідрохімічний склад. Інженерно-геологічні показники охоплюють коефіцієнт пористості орного шару, підорного шару і товщі порід, а також ступінь прояву екзогенних геологічних процесів. При оцінюванні ґрунтово-меліоративних показників встановлюють ступінь засолення верхнього метрового шару і зони аерації (при РГВ до 5,0 м), ступінь солонцюватості ґрунтів, ступінь обслуговування ґрунтів, глибину залягання першого від поверхні сольового горизонту, глибину залягання солонцевого горизонту. До показників забруднення належать загальне забруднення ґрунтових, підземних і скидних вод.

Для оцінювання прийнято шкалу — геометричну прогресію, що розширюється відповідно до погіршення еколого-меліоративного стану зрошуваних і прилеглих до них земель. За критеріями оцінювання обов'язкових показників виділяють п'ять категорій стану: добрий (0,2 бала); задовільний (1,0 бал); задовільний із загрозою погіршення (5,0 балів); незадовільний (25,0 балів); дуже незадовільний (125,0 балів).

Сумарну оцінку еколого-меліоративного стану зрошуваних і прилеглих до них земель виконують окремо за групами показників за середнім балом  $B_c$ , який розраховують за формулою:

$$B_c = \sum_{i=1}^n B_{i,m} / n = \sum_{i=1}^n 0,2 \cdot 5^{m-1} / n,$$

де  $n$  — число показників, за якими виконують оцінку;  $m$  — порядковий номер категорії еколого-меліоративного стану  $m = 1, 2, 3, 4, 5$ ;  $B_{i,m}$  — бал  $i$ -го показника у категорії  $m$  (0,2—125,0 балів).

Інтегральне (підсумкове) оцінювання еколого-меліоративного стану наведено у табл. 1.

Таблиця 1

## Інтегральна оцінка еколого-меліоративного стану

Оцінка окремого показника стану, бали	Середній бал, $B_c$	Еколого-меліоративний стан (якісна характеристика категорії)
0,2	До 0,4	Добрий
1,0	0,4—2,0	Задовільний
5,0	2,0—10,0	Задовільний з загрозою погіршення
25,0	10,0—30,0	Незадовільний
125,0	Понад 30,0	Дуже незадовільний

Еколого-меліоративний стан зрошуваних і прилеглих до них земель оцінюють щороку з метою отримання поточної і оперативної інформації, необхідної для ведення обліку меліоративного стану земель і еколого-меліоративного моніторингу. За результатами оцінювання розробляють заходи для запобігання розвитку негативних явищ на зрошуваних і прилеглих до них землях.

Прогнозування еколого-меліоративного стану зрошуваних і прилеглих до них земель виконують на основі оцінювання потенційної і фактичної стійкості земель.

Еколого-меліоративна стійкість землі — здатність геологічного середовища протистояти впливу зрошувальних меліорацій, враховуючи рівень техногенного навантаження.

Потенційною еколого-меліоративною стійкістю земель вважають природно зумовлену здатність геологічного середовища протистояти дії зрошення. Вона характеризує максимально можливі зміни, що виникають під дією агротехнічного навантаження без запобіжних або природоохоронних заходів. Цю стійкість визначають на початку ведення моніторингу зрошуваних і прилеглих до них земель на основі оцінювання показників еколого-меліоративного стану.

Залежно від результатів оцінювання виокремлюють чотири категорії стійкості земель: стійкі (1,0 бал), умовно нестійкі (5,0 балів), нестійкі (25,0 балів), дуже нестійкі (125,0 балів). До першої категорії відносять землі з середнім балом стійкості менше 2; до другої — 2—10; до третьої — 10—30, до четвертої — понад 30 балів.

Фактична еколого-меліоративна стійкість земель вказує на ступінь трансформації геологічного середовища під впливом техногенних чинників на певний момент часу. Її оцінюють за показниками, що характеризують еколого-меліоративний стан земель і його зміни у часі з урахуванням рівня техногенного навантаження. За результатами оцінювання виокремлюють п'ять категорій фактичної еколого-меліоративної стійкості: стійкі (0,2 бала), умовно стійкі (1,0 бал), умовно нестійкі (5,0 балів), нестійкі (25,0 балів) і дуже нестійкі (125,0 балів). До I категорії відносять землі, де за розрахунками середній бал  $B_c$  не перевищує 0,4 бала; до II — 0,4—2,0; III — 2,0—5,0; IV — 5,0—10,0; V — понад 10,0 балів. Оцінювання фактичної еколого-меліоративної стійкості земель залежно від їх еколого-меліоративного стану та техногенного навантаження виконують щороку, за умови, що  $B_c > 2,0$  балів і один раз на 4—5 років при  $B_c < 2,0$ .

Прогнозування еколого-меліоративного стану земель в умовах зрощення здійснюють шляхом зіставлення потенційної і фактичної еколого-меліоративної стійкості земель на різні періоди часу з урахуванням рівня техногенного навантаження на територію.

Оцінюючи позитивні і негативні процеси, що супроводжують меліорацію, необхідно проводити систематичні спостереження і контролювання змін, які відбуваються як на меліорованих землях, так і на прилеглих до них територіях. Для з'ясування ситуації на досліджуваних землях і отримання комплексної інформації, крім проведення звичайних спостережень, доцільно використовувати дані аерокосмічної зйомки, отриманої за допомогою супутників, космічних кораблів, літаків. Ці дані

дають змогу розробити ефективні природоохоронні заходи по раціональному використанню водних і земельних ресурсів.

## **Тема 20. Радіоактивне забруднення природного середовища і його моніторинг**

20.1. Джерела радіоактивного забруднення навколишнього природного середовища

20.2 Радіоекологічний моніторинг, його основні складові і завдання

Практичне застосування енергії атомного ядра було важливим етапом науково-технічного прогресу, однак воно спричинило нові складні екологічні проблеми. Випробовування атомної зброї, вибухи атомних бомб над японськими містами Хіросімою та Нагасакі 6 і 9 серпня 1945 року, аварія на Чорнобильській АЕС 26 квітня 1986 року та інші радіоактивні аварії, розробки радіоактивних руд, поховання радіоактивних відходів тощо змінюють природний радіаційний фон та забруднюють радіоактивними речовинами біосферу.

Потрапляння радіоактивних ізотопів у довкілля супроводжується перевищенням природного рівня радіоактивності, призводить до погіршення здоров'я населення, а інколи — до генетичних порушень. З метою контролювання радіаційної ситуації на певних територіях створений радіаційний моніторинг, тобто система спостереження, попередження, оцінювання та прогнозування радіаційного стану довкілля.

### **20.1. Джерела радіоактивного забруднення навколишнього природного середовища**

На людство постійно впливає природний фон радіоактивного випромінювання (табл. 1). Його джерела поділяють на дві категорії:

Таблиця 1

Середній рівень природного фону ( за даними UNSCEAR, 1982)

Джерела опромінення	Загальна щорічна доза, мкЗв (мікроЗіверт)
Зовнішнього:	
— космічні промені;	310
— радіоактивні елементи та ізотопи	350
Внутрішнього:	
— космогенні радіонукліди:	
$^7\text{Be}$	3
$^{14}\text{C}$	12
— земні радіонукліди:	
$^{40}\text{K}$	180
$^{87}\text{Rb}$	6
$^{238}\text{U}, ^{234}\text{U}$	10
$^{230}\text{Th}$	7
$^{230}\text{Th}$	3
$^{232}\text{Ra}$	7
$^{226}\text{Ra}$	183
$^{222}\text{Rn}, ^{214}\text{Po}$	800
$^{210}\text{Pb}, ^{210}\text{Po}$	130
Разом	1992

- зовнішнє випромінювання (космічне випромінювання, тобто йонізуюче випромінювання, що безперервно надходить на поверхню Землі зі світового простору (табл. 2), сонячна радіація, випромінювання гірських порід земної кори та повітря);
- внутрішнє опромінення, зумовлене природними радіоактивними речовинами, які потрапляють всередину організму з повітрям, водою, продуктами харчування. До них належать радіоактивні гази (радон, торон), що поступають з глибини земних надр, радіоактивні калій, уран, торій, рубідій, радій, які входять до складу харчових продуктів, рослин і води.

Основним радіонуклідом, що формує природне опромінення, є дочірній продукт радію-226 — радон-222. Середня концентрація його у повітрі за межами приміщень коливається у межах 0,0037—0,0185 Бк/л (Бекерель на літр). Радіонуклід надходить із ґрунту до атмосфери, найбільша концентрація радону в приземному шарі повітря спостерігається навесні.

Серед природних джерел опромінення виділяють керовану (опромінення, що створюється природними радіоактивними речовинами, присутніми у воді, повітрі, будівельних матеріалах, яке людина може змінювати певними природоохоронними заходами) й некеровану (опромінення, що створюється

космічними і земними радіоактивними речовинами, яким людина не спроможна управляти) компоненти (табл. 3).

Характеристика радіонуклідів, індукованих космічним випромінюванням

Радіонуклід	Швидкість утворення, ат/см <sup>2</sup> с (атомів в 1 квадратному сантиметрі за 1 секунду)	Період напіврозпаду	Енергія випромінювань Ев, кеВ
<sup>3</sup> H	0,20	12,4 років	18,6
<sup>7</sup> Be	$8,1 \cdot 10^{-2}$	53 дні	3,3
<sup>10</sup> Be	$4,5 \cdot 10^{-2}$	$2,5 \cdot 10^5$ років	555
<sup>14</sup> C	2,5	5730 років	156
<sup>22</sup> Na	$8,6 \cdot 10^{-5}$	2,6 року	545
<sup>24</sup> Na	$3,0 \cdot 10^{-5}$	15 год.	1389
<sup>28</sup> Mg	$1,7 \cdot 10^{-4}$	21,2 год.	460
<sup>26</sup> Al	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$7,4 \cdot 10^5$ років	1170
<sup>31</sup> Si	$4,4 \cdot 10^{-4}$	2,6 год.	1480
<sup>32</sup> Si	$1,6 \cdot 10^{-4}$	700 років	210
<sup>32</sup> P	$8,1 \cdot 10^{-4}$	14,3 дні	1710
<sup>33</sup> P	$6,8 \cdot 10^{-4}$	25 днів	248
<sup>35</sup> S	$1,4 \cdot 10^{-3}$	87 днів	167
<sup>38</sup> S	$4,9 \cdot 10^{-5}$	2,87 год.	3000
<sup>34</sup> Cl	$2,0 \cdot 10^{-4}$	30 хв.	2480
<sup>36</sup> Cl	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$3,1 \cdot 10^5$ років	714
<sup>38</sup> Cl	$2,0 \cdot 10^{-3}$	37,3 хв.	4910
<sup>39</sup> Cl	$1,4 \cdot 10^{-3}$	55,5хв.	3450
<sup>39</sup> Ar	$5,6 \cdot 10^{-3}$	270 років	565
<sup>81</sup> Kr	$1,5 \cdot 10^{-7}$	$2,1 \cdot 10^5$ років	е.з.

Структура річних ефективних доз опромінення людини від природної радіоактивності

Вид опромінення	Річна ефективна доза опромінення, мЗв (міліЗіверт)	Відсоток
Некерована компонента		
Внутрішнє β-опромінення	0,2	4,1
Космічне випромінювання	0,3	5,9
Природний γ-фон	0,15	3,1
Керована компонента		
<sup>238</sup> U, <sup>234</sup> U, <sup>236</sup> Ra, <sup>222</sup> Rn у воді	0,17	3,5
Радіоактивність будівельних матеріалів	0,26	5,5
<sup>222</sup> Rn у повітрі	3,8	77,9

Радіобіологічні ефекти, ознаки, явища, наслідок впливу іонізуючого випромінювання на біологічні системи визначаються величиною дози і способом опромінення. Характеризують радіологічні процеси такі величини:

- доза іонізуючого випромінювання (O) — відношення середньої енергії dW, переданої йонізуючим випромінюванням речовині в елементарному об'ємі, до маси dt речовини в даному об'ємі:  $D = dW/dt$ . Одиниця поглинутої дози в Міжнародній системі СІ називається грей (Гр). Грей дорівнює поглинутій дозі випромінювання, при якій речовині масою 1 кг передається енергія йонізуючого випромінювання 1 Дж. 1 Дж = 0,238 кал.

Позасистемною одиницею поглинутої дози є рад (rad — radiation absorbed dose). Рад дорівнює поглинутій дозі йонізуючого випромінювання, при якій речовині масою 1 г передається енергія йонізуючого випромінювання 100 ерг (ерг — одиниця роботи, енергії і кількості теплоти в СГС системі одиниць).  $1 \text{ ерг} = 10^{-7} \text{ Дж}$ .  $1 \text{ Гр} = 100 \text{ рад}$ ,  $1 \text{ рад} = 0,01 \text{ Гр}$ ;

- керма (K) (kinetic energy released in material) — відношення суми початкових кінетичних енергій  $dW_k$  всіх заряджених йонізуючих частинок, утворених під дією побічного йонізуючого випромінювання в елементарному об'ємі речовини, до маси речовини в даному об'ємі:  $K = dW_k/dt$ . Одиниці керми — грей (Гр) та рад — відповідно збігаються з одиницями поглинутої дози. Керма застосовується як для фотонів, так і нейтронів, використовуються при оцінюванні впливу на середовище стороннього йонізуючого випромінювання;
- експозиційна доза X — якісна характеристика фотонного випромінювання, яка ґрунтується на його здатності йонізувати атоми та молекули сухого атмосферного повітря і являє собою відношення сумарного заряду  $dQ$  усіх йонів одного знаку, створених у повітрі, коли всі електрони і позитрони, вивільнені фотонами в елементарному об'ємі повітря з масою  $dt$ , повністю зупинились, до маси повітря в даному об'ємі:  $X = dQ/dt$ . Одиниця експозиційної дози в Міжнародній системі одиниць СІ — кулон на кілограм (Кл/кг). Кулон — одиниця електричного заряду та електричної індукції в системі СІ; кулон на кілограм дорівнює експозиційній дозі, при якій всі електрони і позитрони, вивільнені фотонами в об'ємі повітря масою 1 кг, створюють в повітрі йони, що несуть електричний заряд кожного знаку 1 Кл. Рентген теж є одиницею експозиційної дози фотонного випромінювання, при проходженні якого через 0,001293 г повітря в результаті завершення всіх йонізаційних процесів в повітрі створюються йони, які несуть одну електростатичну одиницю кількості кожного знаку:  $1 \text{ Р} = 2,58 \times 10^{-4} \text{ Кл/кг}$ . Експозиційна

доза характеризує, з одного боку, джерело йонізуючого випромінювання, а з іншого — йонізаційне поле, створене даним джерелом;

- еквівалентна доза йонізуючого випромінювання  $H$  — це добуток поглинутих доз  $D$  на середній коефіцієнт якості випромінювання  $k$  в даному об'ємі біологічної тканини стандартного складу:  $H = kD$ . Одиниця еквівалентної дози в системі СІ — зіверт (Зв) — це одиниця еквівалентної дози в біологічній тканині, яка створює такий самий біологічний ефект, як і поглинута доза в 1 Гр стандартного рентгенівського або гамма-випромінювання;
- ефективна доза опромінення — поглинута доза, в якій враховано поправку на тканину. Позасистемною одиницею ефективної дози є бер (біологічний еквівалент рентгена).  $1 \text{ бер} = 0,01 \text{ Зв}$ . У разі рівномірного опромінення всього організму інтенсивність прояву радіобіологічного ефекту інша, ніж у разі, коли опромінення зазнає окремий орган чи тканина, або коли опромінення окремих тканин неоднорідне. При цьому використовують коефіцієнт зважування на тканину, який показує відносний внесок того чи іншого органа або тканини у формування радіобіологічних реакцій усього організму (наприклад, для кісткового мозку, легень, шлунка цей коефіцієнт становить 0,12; сечового міхура, молочної залози, печінки, стравохода, щитоподібної залози — 0,01).

Значення ефективної дози опромінення людини (з 1982 р. за даними наукового комітету ООН) становить 200 мбер (мілібер) на рік.

Отже, ураження радіоактивним випромінюванням людина може отримати в результаті як зовнішнього, так і внутрішнього опромінення. При зовнішньому опроміненні найнебезпечнішим є випромінювання, яке має високу проникну здатність, зокрема гамма-випромінювання, яке в повітрі може поширюватися на сотні метрів. Захищають від гамма-випромінювання важкі метали (свинець).

Довжина пробігу бета-частинок в повітрі до 20 м, у воді та живих тканинах — до 3 см, в металі — до 1 см. Їх майже повністю поглинає віконне

та автомобільне скло. Одяг поглинає до 50 % бета-частинок. При зовнішньому опроміненні організму на глибину 1 мм проникає 20—25 % бета-частинок. Тому зовнішнє бета-опромінення небезпечне лише при потраплянні радіоактивних речовин безпосередньо на шкіру.

Нейтронне випромінювання утворює потік нейтронів із швидкістю 20 тис. км/с. Вони легко проникають в живу тканину і поглинаються ядрами її атомів. Захисними є водневмісні матеріали (поліетилен, парафін, вода).

Найнебезпечнішим внутрішнім випромінюванням є те, яке має високу іонізуючу здатність. Воно діє на незахищені тканини, органи, системи тіла на молекулярному і клітинному рівнях. Дуже небезпечне при попаданні всередину організму альфа-випромінювання.

У ХХ ст. на людину почали впливати, крім природних, штучні, зумовлені людською діяльністю, іонізуючі випромінювання. Натепер до основних антропогенних джерел радіоактивного забруднення навколишнього середовища належать:

- 1) уранова промисловість, яка займається видобутком, переробкою, збагаченням та виготовленням ядерного палива, основною сировиною для якого є уран-235. Аварійні ситуації можуть виникнути при виготовленні, зберіганні та транспортуванні тепловиділяючих елементів;
- 2) ядерні реактори різних типів, у активній зоні яких зосереджена велика кількість радіоактивних речовин. За даними Міжнародного агентства з атомної енергії (МАГАТЕ), у 26 країнах світу експлуатується 416 ядерних енергоблоків, які виробляють приблизно 16 % усієї електроенергії;
- 3) радіохімічна промисловість, на підприємствах якої відбувається регенерація відпрацьованого ядерного палива. Вони періодично скидають радіоактивні води, хоча і в допустимих концентраціях. Деяка кількість радіоактивного йоду потрапляє в атмосферу;
- 4) місця переробки та захоронення радіоактивних відходів, де можливі аварії, спричинені руйнуванням захоронень;

5) використання радіонуклідів у народному господарстві (у промисловості, медицині, геології, сільському господарстві, енергетиці) у вигляді закритих радіоактивних джерел (табл. 7.4).

Таблиця 4

Викиди природних радіонуклідів і їх вміст в атмосфері в районі розміщення ТЕС потужністю 1 ГВт [14]

Радіонуклід	Концентрація в повітрі		Щільність забруднення місцевості	
	$10^{-5}$ Бк/м <sup>3</sup>	$10^{-18}$ Кі/л	$10^7$ Бк/м <sup>2</sup>	$10^5$ Кі/км <sup>2</sup>
<sup>210</sup> Pb	15	4,0	115	31
<sup>40</sup> K	—	—	389	105
<sup>232</sup> Th	6,3	1,7	—	19
<sup>228</sup> Ra	4,1	1,1	9,3	2,5
<sup>226</sup> Ra	6,3	1,7	39	10,5
<sup>210</sup> Po	14,4	3,9	70	19

Забруднюють навколишнє середовище радіонуклідами радіоізотопні лабораторії, які використовують радіонукліди у відкритому вигляді для наукових і виробничих цілей. Скиди радіоактивних відходів у стічні води навіть у низьких концентраціях протягом певного часу призводять до поступового накопичення радіонуклідів у навколишньому середовищі;

б) ядерні вибухи (табл. 5), що спричиняють радіоактивне забруднення місцевості внаслідок локального і глобального випадання радіоактивних опадів.

Глобальної шкоди доквіллю і людству загалом завдала аварія, яка сталася 26 квітня 1986 року на Чорно бильській АЕС. За масштабами викиду радіоактивних речовин вона не мала аналогів у світі. В атмосферу потрапило до 100 % радіоактивних благородних газів, 20—50 % ізотопів йоду, 12—30 % цезію-137, цезію-134, 3—4 % легких радіонуклідів від їх вмісту в реакторі на момент аварії (табл. 6).

Таблиця 5

Вихід довгоіснуючих радіонуклідів унаслідок ядерного вибуху, потужність якого еквівалентна 1 Мт тротилу

Радіонуклід	Період напіврозпаду	Активність, МБк
$^{89}\text{Sr}$	53 доби	$7,1 \cdot 10^9$
$^{90}\text{Sr}$	28 років	$3,7 \cdot 10^9$
$^{95}\text{Zr}$	65 діб	$9,3 \cdot 10^9$
$^{103}\text{Ru}$	40 діб	$6,8 \cdot 10^{11}$
$^{106}\text{Ru}$	1 рік	$1,1 \cdot 10^{10}$
$^{131}\text{I}$	8 діб	$4,6 \cdot 10^{12}$
$^{137}\text{Cs}$	30 років	$5,9 \cdot 10^9$
$^{135}\text{Cs}$	1 рік	$1,4 \cdot 10^{12}$
$^{144}\text{Ce}$	33 доби	$1,4 \cdot 10^9$

Таблиця 6

Оцінка радіонуклідного складу викидів аварійного блоку ЧАЕС

Нуклід	Активність викиду, ПБк (1015), за станом на			Частка активності, викинутої з реактора до 6 травня 1986 р., %	
	26.04.86	06.05.86		29	39—40
	29	29	39—40		
1	2	3	4	5	6
$^{133}\text{Xe}$	195	1665	6290—6500	До 100	До 100
$^{85\text{m}}\text{Kr}$	5,5	—	—	До 100	—
$^{85}\text{Kr}$	—	33	28—33	До 100	до 100
$^{131}\text{I}$	167	270	1200—1760	20	38—57
$^{132}\text{Te}$	148	410	1000—1150	15	22—27
$^{134}\text{Cs}$	5,5	19	44—54	10	25—36
$^{137}\text{Cs}$	11	37	74—85	13	28—33
$^{99}\text{Mo}$	168	111	168—210	2,3	27—3,8
$^{95}\text{Zr}$	16,8	140	170—196	3,2	2,9—4,1
$^{103}\text{Ru}$	22	118	170	2,9	3,5—4,5
$^{106}\text{Ru}$	7,5	59	59—73	2,9	2,9—8,6
$^{140}\text{Ba}$	19	159	240—270	5,6	4—5,6
$^{141}\text{Ce}$	14,8	104	130—200	2,3	2,3—3,6
$^{144}\text{Ce}$	16,8	89	116—140	2,8	3,0—4,3

1	2	3	4	5	6
$^{89}\text{Sr}$	9,3	81	81—115	4,0	2,0—4,9
$^{90}\text{Sr}$	0,55	8,1	8—10	4,0	3,5—5,0
$^{238}\text{Pu}$	0,0037	0,03	0,03—0,035	3,0	2,3—3,8
$^{239}\text{Pu}$	0,0037	0,026	0,026—0,03	3,0	2,7—3,2
$^{240}\text{Pu}$	0,0074	0,037	0,037—0,044	3,0	2,5—3,9
$^{241}\text{Pu}$	0,74	5,2	5,2—6	3,0	2,7—3,5
$^{242}\text{Pu}$	0,000011	0,000074	0,00007—0,00009	3,0	2,4—4,3
$^{242}\text{Cm}$	0,11	0,78	0,78—0,93	3,0	1,8—6,2
$^{239}\text{Np}$	—	—	850—1700	3,2	1,5—3,4

Радіоактивний матеріал поширився в атмосфері, розсіявся і випав на поверхню майже всієї Північної півкулі (табл. 7), максимально забруднивши територію України, Росії, Білорусі.

Таблиця 7

Радіоактивні опади в країнах після Чорнобильської аварії (за даними МАГАТЕ, 1990)

Країна	Максимальні радіоактивні опади, кБк/м <sup>2</sup>		Відношення максимальних радіоактивних опадів до середніх	
	Всього	Йод—131	всього	Йод—131
Швеція	190	950	23	22
Норвегія	100	—	9	—
Італія	100	500	15	16
ФРН	65	160	11	10
Австралія	60	700	2,6	5,8
Швейцарія	41	180	5,1	4,9
Фінляндія	30	190	3,3	3,7
Англія	20	40	14	8
Данія	4,6	4,2	2,7	2,5
Бельгія	3,0	10,0	2,3	2,6
Туреччина	0,9	8,0	11	9,1
Іспанія	0,04	0,09	10	9
Канада	0,07	0,24	1,5	2,4
США	Сліди	1,9	—	13

Внаслідок катастрофи на ЧАЕС була забруднена територія 74 районів в 12 областях України загальною площею 6,7 млн. га сільськогосподарських угідь, в т. ч. до 1 Кі/км<sup>2</sup> — 5,6 млн. га; 1 — 5 Кі/км<sup>2</sup> — 1 млн. га; 5— 15 Кі/км<sup>2</sup> — 100 тис. га; понад 15 Кі/км<sup>2</sup> — 27 тис. га і 58 тис. га в зоні відчуження (Кюрі (Кі, Ки) — позасистемна одиниця активності радіоактивних ізотопів,

$Ki = 3, 7 \cdot 10^{10}$  Бк =  $3,7 \cdot 10^{10}$  розп./с; Бекерель (Бк<sup>^</sup>), 1 Бк = 1 розп./с =  $2,7 \cdot 10^{-11}$  Ки.)

У грудні 1991 року Верховна Рада прийняла закони України «Про статус і соціальний захист громадян, які постраждали внаслідок чорнобильської катастрофи» та «Про правовий режим території, що зазнала радіоактивного забруднення внаслідок чорнобильської катастрофи». Відповідно до цих законів, у межах забруднених площ виділяють чотири зони:

- 1) зона відчуження — територія, з якої евакуйовано населення в 1986 р.;
- 2) зона безумовного (обов'язкового) відселення — територія, що зазнала інтенсивного забруднення довго-живучими радіонуклідами, з щільністю забруднення ґрунту понад доаварійний рівень ізотопами цезію від  $15 \text{ Ки/км}^2$  та вище, або стронцію від  $3,0 \text{ Ки/км}^2$  і вище, або плутонію від  $0,1 \text{ Ки/км}^2$  та вище, де розрахункова ефективна еквівалентна доза опромінення з урахуванням коефіцієнтів міграції радіонуклідів у рослини та інших факторів може перевищити  $5,0 \text{ м Зв}$  ( $0,5 \text{ бер}$ ) за рік понад дозу, яку людина одержувала у доаварійний період;
- 3) зона гарантованого добровільного відселення — територія, що зазнала інтенсивного забруднення довго-живучими радіонуклідами, зі щільністю забруднення ґрунту понад доаварійний рівень ізотопами цезію від  $5$  до  $15 \text{ Ки/км}^2$ , або стронцію від  $0,15$  до  $3,0 \text{ Ки/км}^2$ , або плутонію від  $0,01$  до  $0,1 \text{ Ки/км}^2$ , де розрахункова ефективна еквівалентна доза опромінення людини з урахуванням коефіцієнтів міграції радіонуклідів у рослини та інших факторів може перевищити  $1,0 \text{ м Зв}$  ( $0,1 \text{ бер}$ ) за рік понад дозу, яку вона одержувала у доаварійний період;
- 4) зона посиленого радіоекологічного контролю — територія, що зазнала інтенсивного забруднення довго-живучими радіонуклідами, зі щільністю забруднення ґрунту понад доаварійний рівень ізотопами цезію від  $1$  до  $5 \text{ Ки/км}^2$ , або стронцію від  $0,02$  до  $0,15 \text{ Ки/км}^2$ , або плутонію від  $0,005$  до  $0,01 \text{ Ки/км}^2$ , де розрахункова ефективна еквівалентна доза опромінення людини з

урахуванням коефіцієнтів міграції радіонуклідів у рослини та інших факторів може перевищити 0,5 мЗв (0,05 бер) за рік понад дозу, яку вона одержувала у доаварійний період.

Найбільше забруднені були території Київської, Житомирської, Чернігівської, Рівненської, Черкаської та Вінницької областей (табл. 8).

Таблиця 8

Забруднення цезієм-137 сільськогосподарських угідь в Україні

(станом на 01.01.95 р.), га.

Область	Всього	Щільність забруднення, кБк/м			
		До 37	37—185 (зона 4)	185—555 (зона 3)	Більше 555 (зона 2)
Вінницька	238 219	160 535 155	77 203	481	9 869 16
Волинська	161 562	170 291 065	6 327	65	700
Житомирська	618 035	1 276 100	237 965	42 676	471 54
Київська	1 537 000	134 189	212 600	31 600	27 094
Рівненська	288 734	115 865	310 886	10 661	
Сумська	127 612	83 436	6 386	150	
Тернопільська	93 822	1 762 263	10 386	5 385 475	
Чернігівська	1 836 901	118 231	6 872	6 514	
Чернівецька	135 517	1 209 200	1 744	933 98 940	
Черкаська	1 326 090	198 632	110 300		
Хмельницька	238 311	71 277	19 679		
Івано-Франківська	92 362	5 575 963	19 163		
Всього по Україні	6 694 165		1 034 911		

Умовою проживання і трудової діяльності населення без обмежень за радіаційним фактором є отримання за рахунок забруднення території радіоактивними ізотопами додаткової дози, яка не перевищує рівня опромінення 1,0 мЗв (0,1 бер) за рік.

Специфіка радіологічної ситуації, що склалася на обширній території після Чорнобильської аварії, полягає в тому, що основною загрозою здоров'ю людини є не променева хвороба, а високі дози додаткового внутрішнього та зовнішнього опромінення, що призводить до розвитку різноманітних захворювань. Внутрішнє опромінення можна зменшити, знижуючи вміст радіонуклідів у сільськогосподарській продукції. Найнебезпечнішими забруднювачами сільськогосподарських угідь і продукції є стронцій-90 та цезій-137. Вони характеризуються високим періодом напіврозпаду та здатністю включатися в харчові ланцюги.

В Україні діють «Допустимі норми вмісту радіонуклідів цезію-137 і стронцію-90 в продуктах харчування, питній воді» (ТДР-97), згідно з якими вміст цезію та стронцію у харчових продуктах і питній воді повинен бути не вищим від річної ефективної дози внутрішнього опромінення 1 мЗв. Активність добового раціону людини за цезієм-137 та стронцієм-90 має бути не вищою, відповідно, 210 і 35 Бк/добу (табл. 9). Досягти цих нормативів можна, лише реалізувавши низку компенсуючих заходів.

Таблиця 9

Допустимі рівні вмісту радіонуклідів  $^{137}\text{Cs}$  та  $^{90}\text{Sr}$  у продуктах харчування згідно з регламентуючими документами, Бк/кг, Бк/л.

Продукти	ДР—97 (Україна)		ДУА—96 (Росія)		РДУ—96 (Білорусь)		ВДУ—91 (СРСР)	
	$^{137}\text{Cs}$	$^{90}\text{Sr}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{90}\text{Sr}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{90}\text{Sr}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{90}\text{Sr}$
Картопля	60	20	320	60	100	3,7	590	37
М'ясо	200	20	160	50	370	—	740	—
Молоко	100	20	50	25	11	3,7	370	37
Овочі	40	20	130	50	100	—	590	—
Риба	150	35	130	100	370	—	740	—
Фрукти	70	10	40	50	370	—	590	—
Хліб	20	5	40	70	74	3,7	370	37
Лиця	6	2	5	3	22	—	45	—

Йода питна	2	2	8	8	18,5	0,4	18,5	3,7
Молоко згущене	300	60	200	100	740	—	1110	111
Молоко сухе	500	100	360	200	740	—	1850	185
(!віжі дикоростучі ягоди і гриби	500	50	500	50	370	—	1480	—
(Гушені дикоросту-чі ягоди і гриби	2500	250	2500	250	3700	—	7400	—
Лікарські рослини	600	200	—	—	—	—	7400	—
Інші продукти	600	200	200	100	370	—	—	—
Спеціальні продукти дитячого хпрчування	40	5	40— 100	30— 60	37	1,85	185	37

Отже, людина у процесі діяльності змінює природний радіаційний фон, забруднює штучно створеними радіонуклідами довкілля і створює небезпечні ситуації для населення. З метою спостереження, оцінювання радіаційного стану довкілля і попередження негативних радіаційних змін, контролю за дотриманням норм радіаційної безпеки створена система радіоекологічного моніторингу.

## 20.2. Радіоекологічний моніторинг, його основні складові і завдання

Головним завданням радіоекологічних досліджень є комплексне оцінювання стану екосистеми, включаючи її дію на людину. Воно реалізується у процесі радіоекологічного моніторингу як складової загального екологічного моніторингу.

Радіоекологічний моніторинг — комплексна інформаційно-технічна система спостережень, досліджень, оцінювання й прогнозування радіаційного стану біосфери, територій поблизу АЕС, потерпілих від радіаційних аварій.

Головними завданнями радіоекологічного моніторингу є:

- спостереження та контроль за станом забрудненої радіонуклідами зони, її окремих особливо шкідливих ділянок та пропонування заходів щодо зниження шкідливості;
- моніторинг стану об'єктів природного середовища за одними і тими самими параметрами, які характеризують радіоекологічну ситуацію як у зоні забруднення, так і за її межами;
- виявлення тенденцій до змін природного середовища, спричинених функціонуванням екологічно небезпечних об'єктів і при реалізації заходів, що проводяться на забруднених територіях;
- з'ясування тенденцій до змін стану здоров'я населення, яке проживає на забруднених радіонуклідами територіях;
- інформаційне забезпечення прогнозу радіоекологічної ситуації в забрудненій зоні та країні загалом.

Радіологічний моніторинг реалізують у трьох напрямках: базовий (стандартний), кризовий (оперативний), науковий (фоновий).

Базовий радіоекологічний моніторинг здійснюють за допомогою мережі пунктів спостережень, яка охоплює всю територію країни, включаючи служби радіаційного контролю на ядерному виробництві.

Система кризового радіологічного моніторингу формується на основі діяльності територіальних служб спостереження і контролю радіоекологічних параметрів навколишнього середовища на територіях, де виникли несприятливі радіологічні ситуації.

Науковий радіоекологічний моніторинг реалізують координуючі структури на базі науково-дослідних закладів (підрозділів НАН України), які розробляють методи та програми радіологічних досліджень.

Радіологічний моніторинг, який здійснюється у розвинутих країнах, є підсистемою екологічного моніторингу і передбачає спостереження за гамма-фоном та здійснення постійного радіологічного контролювання небезпечних радіаційних об'єктів виробничо-господарської діяльності.

В Україні після катастрофи на ЧАЕС здійснюють радіоекологічний моніторинг основних складових довкілля на різних територіальних рівнях за характерними лише для нашої держави показниками. Так, в зоні забруднення (крім об'єкта «Укриття» та 30-кілометрової зони відчуження) здійснюється радіоекологічний моніторинг у різних напрямках: моніторинг ландшафтно-геологічного середовища з метою отримання базової інформації для оцінювання та прогнозування загальної радіоекологічної ситуації на забруднених радіонуклідами територіях і її впливу на екологічну ситуацію в Україні; моніторинг поверхневих і підземних йодних систем; моніторинг природоохоронних заходів та споруд; моніторинг локальних довгочасних джерел реального і потенційного забруднення (об'єкт «Укриття», ставко-охолоджувач, пункти захоронення радіоактивних відходів, пункти тимчасової локалізації радіоактивних відходів); моніторинг біоценозів і заходів щодо використання природних угідь; медичний і санітарно-гігієнічний моніторинг.

Комплексний радіоекологічний моніторинг ґрунтуються на інформації, отриманій внаслідок здійснення пазових видів радіаційного моніторингу, яку використовують для вивчення об'єктів природно-техногенного «родовища за допомогою спеціальних методів дослідження. Основними складовими радіоекологічного моніторингу є ядерно-радіаційний моніторинг, радіогеохімічний моніторинг, моніторинг поверхневих водних систем, радіогідрогеологічний моніторинг.

Ядерно-радіаційний моніторинг. Його забезпечує система спостережень і контролю за станом потенційно небезпечних радіаційних об'єктів, до яких відносять АЕС, а також об'єкт «Укриття». В Україні у межах програми технічної допомоги Європейського Союзу «ТАСІ8» з 1994 р. створюється система радіаційного моніторингу ГАММА, широко впроваджена в європейських країнах. Реалізація першої стадії цього проекту передбачає створення мережі трьох постів радіаційного моніторингу на територіях навколо Рівненської, Запорізької та Інчалінської ( Білорусь ) АЕС.

Основними завданнями системи ГАММА є виявлення значних перевищень рівнів радіаційного фону на підконтрольних територіях, оповіщення відповідальних осіб про такі перевищення і забезпечення їх інформацією, необхідною для проведення захисних заходів.

Система ГАММА-1 на території України включає національний центр (інформаційно-кризовий центр ІКЦ), розташований в Мінекобезпеки, і два локальні центри (у містах Рівне та Запоріжжя). Окрім того, до складу системи входять 27 постів контролю потужності дози гамма-випромінювання, встановлених в зоні Рівненської АЕС; 11 постів контролю потужності дози гамма-випромінювання, встановлених у зоні Запорізької АЕС; 1 пост автоматичного контролю альфа- і бета-активності аерозолів, розміщений на відстані 5 км від Рівненської АЕС; 1 автоматичний пост контролю гамма-активності води на Рівненській АЕС; 2 автоматичні пости метеоконтролю (на Рівненській та Запорізькій АЕС).

Інформація про дози опромінення радіоканалами надходить від датчиків до локальних центрів, а далі спеціально виділеними телефонними каналами передається в національний центр. Міністерство з надзвичайних ситуацій України та обласні підрозділи міністерства в містах Рівне і Запоріжжя також мають доступ до інформації системи ГАММА-1 у режимі реального часу (режим on-line).

У 1992—1997 рр. на 5-му енергоблоці Запорізької АЕС було реалізовано пілотний проект системи дистанційного моніторингу АЕС. Мета системи дистанційного моніторингу полягає в отриманні й передаванні в ІКЦ незалежної інформації про стан АЕС у реальному масштабі часу. Цей проект здійснено в межах програми співробітництва з Федеральним міністерством екобезпеки Німеччини.

У 1997 р. німецька сторона поставила комп'ютерне і комутаційне обладнання, призначене для прийому, оброблення та візуалізації параметрів у ІКЦ. Проведена інсталяція виділеного телефонного каналу між ІКЦ та

Запорізькою АЕС, яким автоматично передають дані в ІКЦ у реальному масштабі часу.

Європейський Союз у межах програми ТАСІ8 паралельно з системою ГАММА розробив і впровадив систему КОБ08 — європейську систему підтримки прийняття рішень в реальному часі при реагуванні на ядерні аварії. У проекті ПООБ08 задіяні вчені більше 40 інститутів країн Центральної і Східної Європи, України, Росії та Білорусі. Основними завданнями системи є забезпечення засобами для оброблення і управління великими об'ємами інформації метеорологічного та радіаційного типу, оцінювання і прогнозування радіаційної ситуації, а також моделювання використання контрзаходів і варіантів дій у випадку аварії.

Ядерно-радіаційний моніторинг має важливе значення для оцінки ймовірності виходу радіонуклідів з диспергованого реакторного палива в навколишнє середовище. Його завданням також є контроль за станом ядерно-радіаційних об'єктів і напрацювання заходів щодо зниження ступеня їх шкідливості, оцінювання і прогнозування радіаційної обстановки на об'єктах природного середовища.

Радіогеохімічний моніторинг. Він є основним джерелом отримання регулярної і системно-організованої інформації про просторовий розподіл радіоактивних, зокрема техногенних, елементів або їх ізотопів і закономірності їх мобілізації, транзиту, локалізації та фіксації. З метою реалізації цього моніторингу оцінюють радіоекологічний стан природно-техногенних систем різних рівнів за допомогою гамма-зйомки території: на національному рівні (масштаб 1:1 000 000—1:500 000) оцінюють радіоекологічну ситуацію загалом по країні; регіональний рівень (масштаб 1:200 000—1:100 000) охоплює великі природно-територіальні комплекси або їх частини в природних адміністративних межах; локальний рівень (масштаб 1:50 000—1:25 000) — займається вивченням міських агломерацій особливо забруднених районів; на детальному рівні (масштаб 1:10 000—1:2000) оцінюють окремі райони міських агломерацій та інші природно-техногенні

комплекси вищих порядків. Для його здійснення формують регулярну мережу точок спостережень, які дають змогу з достатньою повнотою охопити елементи довкілля, що вивчаються, та охарактеризувати їх з допустимою достовірністю.

На основі отриманої інформації складають карти щільності поверхневого забруднення ґрунтів цезієм-137, стронцієм-90, одержують окремі дані про забруднення однорічної та багаторічної рослинності. Наприклад, в лабораторіях радіохімічного моніторингу інституту геохімії, мінералогії і рудоутворення НАН України визначають розподіл радіовуглецю за річними кільцями сосни забрудненого «рудого» лісу (2,5 км на захід від ЧАЕС).

У перші роки після аварії Управління дозиметричного контролю оцінило запаси основних довго існуючих радіонуклідів у ґрунтах зони відчуження. За даними наземного пробовідбору було встановлено, що на всій території, за винятком проммайданчика ЧАЕС та захороненні на той час радіоактивних відходів, орієнтовно знаходилося 100 кКі стронцію-90, 110 кКі цезію-137 та 800 Кі плутонію-239, 240. Активність усіх радіонуклідів на території у перші дні після аварії наближалась до 25 МКі, до середини літа вона за рахунок розпаду корот-коіснуючого компонента зменшилась до 6 МКі. Через 10 років після аварії активність усіх радіонуклідів чорнобильського викиду на території зони відчуження становила приблизно 240 кКі. Більшу частку активності зумовлюють стронцій та цезій, початкові запаси яких внаслідок розпаду зменшилися на 20—40 % .

Моніторинг однорічної рослинності дає змогу встановити сезонні коливання концентрацій радіовуглецю і у такий спосіб достатньо точно реагувати на зміну радіоекологічної ситуації в районах діючих атомних станцій. Він сприяє відстеженню радіаційного забруднення довкілля протягом довгих періодів.

Моніторинг поверхневих водних систем. Основною причиною здійснення цього виду моніторингу було потрапляння великої кількості

радіоактивних опадів у водозбори рік Прип'ять, Десна, Дніпро, які є основними водними артеріями водосховищ Дніпровського каскаду.

Установи НАНУ, Міністерства охорони здоров'я, гід-ромету відповідно до програми радіологічного моніторингу гідросфери басейну Дніпра здійснюють спостереження за всім каскадом Дніпровського водосховища, Чорним морем та усіма основними ріками України: Дніпром, При-ц'яттю, Південним Бугом, Десною, Тетеревом, Ужем, а також у місцях водозаборів з підземних джерел.

Радіогідрогеологічний моніторинг. Спочатку для спостережень за підземними водами використовували сільські шахтні колодязі та діючі водозабірні свердловини. У 1986—1987 рр. у зв'язку з організацією пунктів захоронення та пунктів тимчасової локалізації радіоактивних відходів, переважно в межах 5-кілометрової зони були пробурені свердловини, які інформували про найшкідливіші радіаційні об'єкти. У 30-кілометровій зоні проводяться режимні спостереження на гідрогеологічних постах, дренажних та осушувальних системах, на певних ділянках ґрунту, свердловинах.

Радіоекологічний моніторинг на території України має певні особливості, спричинені значним забрудненням довкілля внаслідок катастрофи на ЧАЕС, формуванням особливо небезпечної для людини 30-кілометро-вої зони відчуження та великою кількістю АЕС.

## **Тема 21. Організація радіаційного контролю**

### 21.1. Методи радіаційного контролю

21.2. Обстеження забруднених сільськогосподарських угідь і об'єктів ветеринарного нагляду

### **21.1. Методи радіаційного контролю**

Достовірність і точність отриманої у процесі радіологічного контролю інформації забезпечує його системність. Система радіаційного контролю передбачає виконання таких послідовних етапів: вимірювання рівня радіації на місцевості (польова радіометрія, дозиметрія), підбір проб і підготовку їх до дослідження, визначення радіоактивності експресними методами, радіохімічний розподіл радіонуклідів, радіометрію виділених радіонуклідів, розрахунок активності. Методи радіаційного контролю поділяють на радіометричні, радіохімічні, спектрометричні. Як правило, використовують перші ДВІ групи методів.

**Радіометричні методи.** До них належать польова радіометрія і дозиметрія, експресне визначення радіоактивності, радіометрія золи, радіохімічних препаратів.

Польова радіометрія і дозиметрія є першим етапом радіаційного контролю та моніторингу довкілля і об'єктів народного господарства, який передбачає отримання даних про радіоактивний фон та рівень радіоактивності середовища (сумарну інтенсивність саморозпаду радіоактивних елементів у середовищі, зумовлену природним фоном радіоактивності та радіоактивним забрудненням). Якщо польову радіометрію і дозиметрію проводять у звичайних умовах, можна одержати інформацію про рівень природного радіоактивного фону. Метод дає змогу вчасно виявити випадки підвищення рівня радіації та прийняти екстрені рішення про захист населення. Польова радіометрія і дозиметрія є основними методами контролювання радіоактивного забруднення продукції сільського господарства.

Спосіб, у який здійснюють польову радіометрію і дозиметрію, залежить від абсолютних величин радіації та розмірів площі, яку необхідно обстежити. Якщо площа обстеження мала, вимірювання можуть проводити дозиметристи без допоміжного транспорту. При обстеженні великих територій використовують спеціальні автомобілі, у яких змонтовані необхідні прилади (автозйомка). За необхідності вдаються до аерозйомки.

**Експресні методи** радіаційного контролю використовують для отримання оперативної інформації про ступінь радіоактивного забруднення об'єктів зовнішнього середовища, народного господарства.

Експрес-метод визначення питомої і об'ємної активності гамма-випромінюючих радіонуклідів у воді, продуктах харчування, продукції рослинництва та тваринництва ґрунтується на вимірюванні з допомогою приладу СРП-68-01 потужності дози випромінювання від чисто вимитих і подрібнених проб масою 0,7 кг, які розміщені в літровій банці або посудині Марінеллі, і перерахунку її в одиниці активності за формулою:

$$g=N_0 K,$$

де  $g$  — питома активність проби, Бк/кг;  $N_0$  — потужність дози опромінення проби без фону (мкР/год);  $K$  — коефіцієнт перерахунку.

Методику можна застосовувати при рівні радіоактивного забруднення  $2 \cdot 10^3$ — $4 \cdot 10^4$  Бк/л (кг).

Експрес-метод визначення питомої і об'ємної активності бета-випромінюючих радіонуклідів ґрунтується на вимірюванні швидкості зчитування частинок з «товстошарових» препаратів з наступним розрахунком активності за формулою:

$$g=(N-N_{\phi})/P,$$

де  $g$  — питома активність проби, Бк/кг;  $N$  — швидкість зчитування частинок проби з фоном імп/с;  $N_{\phi}$  — швидкість зчитування частинок фону, імп/с;  $P$  — чутливість радіометра.

Межа похибки вимірювання в обох випадках становить 50 %. Для проведення вимірювань використовують радіометри КРК-1, РУБ-01П,

«Бета». Подрібненою пробою заповнюють кювету і вимірюють швидкість зчитування за період не більший 1000 с. Методика може бути застосована при вмісті радіоактивних речовин в пробах не менше 37 Бк/кг.

За малої концентрації радіонуклідів в пробах сумарну бета-активність проби визначають по зольному залишку. Щоб збільшити концентрацію радіонуклідів в пробах, їх спалюють та озолують. Золю розтирають в дрібний порошок, наносять на стандартну підніжку 200—300 мг золи, рівномірно розподіляють і вимірюють швидкість відліку стаціонарним радіометром.

Питому активність розраховують за формулою:

$$A = N_0 K_{ce} K_{oz} / t,$$

де  $A$  — питома активність досліджуваної проби, Кі/кг (л), Бк/кг (л);  $IY_0$  — швидкість зчитування проби без фону, імп/хв.;  $K_{ce}$  — коефіцієнт перерахунку імпульсів за хвилину в активність,  $K_{oz}$  — коефіцієнт озолення, який дорівнює масі золи в грамах, одержаної при озоленні 1 кг проби;  $t$  — маса золи, взятої для радіометрії, г.

Для визначення коефіцієнта зв'язку готують 4—5 препаратів масою 200—300 мг із висушеного КСІ (еквівалентної маси препарату), вимірюють швидкість зчитування за тих же умов, в яких проводили вимірювання препарату. Коефіцієнт зв'язку розраховують за формулою:

$$K_{св} = A_{ет} / N_{ет} 2,22 \cdot 10^{12},$$

де  $A_{ет}$  — активність еталона КСІ, расп./хв. (для наважки 300 мг дорівнює 228 расп./хв.);  $N_{ет}$  — швидкість зчитування еталону без фону, імп/хв. у відсотках  $2,22 \cdot 10^{12}$  — коефіцієнт перерахунку розпадів, Кюрі.

Для експресних вимірювань питомої активності цезію-137 використовують двоканальні радіометри РУБ-01 П6, РКГ-05, РУГ-91, спектрометр «Прогрес-спектр», які дають змогу обчислювати участь калію в сумарній активності проби, тобто в радіоактивному забрудненні довкілля загалом.

**Радіохімічні методи.** Їх використовують, дотримуючись певної послідовності: відбір і підготовка проб досліджуваних об'єктів; внесення носіїв та мінералізація проб; виділення радіонуклідів із проб; очистка

виділених радіонуклідів від сторонніх нуклідів і супутніх макроелементів; ідентифікація і перевірка радіохімічної чистоти; радіометрія виділених радіонуклідів; розрахунок активності і висновки.

Відібрані радіологічними відділами зразки проб повинні бути типовими для досліджуваного об'єкта, а маса — достатньою для проведення радіохімічного аналізу (після озолення — 20—40 г) (табл. 1).

Таблиця 1

Терміни та норми відбору проб для дослідження на радіоактивність

Об'єкт	Строки відбору проб	Число проб	Маса, (об'єм) проб
Трава	Весна, літо, осінь	20—25	3—4 кг
Грубі корми	Осінь	20—30	2—3 кг
Силос, сінаж	Перед споживанням	10—15	4—5 кг
Коренеплоди	Осінь	10—15	3—6 кг
Концентрати	Постійно	20—30	2—3 кг
Молоко	Щоквартально	20	5—6 л
М'ясо	Весна, осінь	20	2—3 кг
Кості	Весна, осінь	20	0,5 кг
Свіжа риба	По мірі надходження	5	3 кг
Птиця	По мірі надходження	10	1 тушка
Яйця	По мірі надходження	10	10 шт,
Мед	—	10	0,2—1,0 кг
Вовна	—	5	0,2—0,5 кг
Вода	Весна, осінь	3	510 л

При відборі проб в контрольних пунктах вимірюють гамма-фон приладом СРП-68-01 на відстані 0,7—1 м від ґрунту і 1—1,5 см від об'єкта (скирти, кагати, тушки тварин тощо). Дані про гамма-фон записують у супроводжувальному документі.

Застосування різноманітних методів радіаційного контролю дає змогу здійснювати виміри радіоактивності різних складових середовища, продукції тощо. Вибір методів залежить від мети радіаційного контролю.

## **21.2. Обстеження забруднених сільськогосподарських угідь і об'єктів ветеринарного нагляду**

Радіоекологічну ситуацію, що склалася в агропромисловому виробництві внаслідок випадання радіоактивних речовин, характеризують за допомогою таких основних показників:

- потужність дози гамма-випромінювання;
- щільність забруднення сільськогосподарських угідь;
- вміст радіонуклідів в сільськогосподарській продукції.

Найоперативнішим способом визначення масштабів і ступеня радіоактивного забруднення сільськогосподарських угідь є гамма-зйомка місцевості. Вона дає змогу швидко визначити межі особливо забруднених територій, звідки можна очікувати надходження сільськогосподарської продукції з підвищеним вмістом радіонуклідів, а отже, необхідно організувати її контролювання. Такі обстеження проводять за допомогою аерозйомки або наземних експедицій з використанням радіометричних приладів. Для заміру гамма-фону можна використовувати радіометри СРП-68-01, ДРГ-01Т, ДБГ-06Т та ін. Гамма-зйомку сільгоспугідь проводять на висоті 1 м від поверхні ґрунту на кожному конкретному полі сівозміни за маршрутом з кроком 200 м. Початкові й кінцеві маршрути мають проходити на відстані не менше 50 м від межі поля. Дані гамма-зйомки фіксують на планах землекористування у масштабі 1 : 10 000. Результати обстеження наносять на карти у вигляді ізоліній, які обмежують території з заданими потужностями доз випромінювання.

На основі отриманої інформації обчислюють дози зовнішнього опромінення людей при проведенні робіт на забрудненій території. Відповідно слід розробити такий режим перебування на цих землях, який забезпечить працівникам радіаційну безпеку.

Одночасно з гамма-зйомкою місцевості вибірково відбирають проби з метою:

- встановлення фізико-хімічних властивостей радіоактивних речовин;

- виявлення «критичних» радіонуклідів, тобто найнебезпечніших з точки зору їх переходу в сільськогосподарську продукцію;
- визначення можливого ступеня забруднення продукції та реалізації заходів щодо обмеження її споживання.

Наступним етапом обстеження забруднених сільськогосподарських угідь є визначення щільності забруднення ґрунту. Для цього необхідно відібрати проби та провести спектрометричні та радіохімічні аналізи. Перед їх відбором визначають рівномірність розподілу радіоактивних речовин на досліджуваних полях за допомогою радіометрів, виокремлюють ділянки, щільність забруднення яких може бути охарактеризована однією пробєю.

Проби ґрунту відбирають на орних та цілинних землях літровим ґрунтовим буром з глибини 20 см методом конверта. На цілинних землях проби можна брати за допомогою металевого кільця діаметром 15 см і висотою 5 см. При відборі проб буром ретельно перемішують усі проби з досліджуваного поля і методом квартування виділяють частину ґрунту для вимірювання. Проби ґрунту для аналізу беруть згідно з «Методичними рекомендаціями по відбору зразків ґрунту для радіоізотопного аналізу при обстеженні сільгоспугідь» (Київ, 1991), а також згідно з «Довідником для радіоекологічних служб Мінсільгоспу України» (Київ, 1991). За результатами аналізів складають карти щільності забруднення окремими критичними радіонуклідами полів та пасовищ. Отриману інформацію використовують для планування агропромислового виробництва в забруднених районах.

Між щільністю забруднення ґрунту і гамма-фоном є пропорційний зв'язок, який можна визначити за формулою:

$$K = A_{\text{п}}/P_{\text{у}},$$

де  $K$  — коефіцієнт пропорційності,  $A_{\text{п}}$  — щільність забруднення ґрунту, виміряна спектрометричним чи радіохімічним методом,  $P_{\text{у}}$  — гамма-фон, виміряний у центрі площадки.

Для визначення середньої щільності забруднення ґрунту на площі 10 x 10 м беруть 10—15 зразків буром на глибині 20 см, а в центрі вимірюють

гамма-фон. Визначають концентрацію радіонуклідів у кожному зразку, а потім обчислюють середню концентрацію за формулою:

$$C_c = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{n},$$

де  $C_c$  — середня концентрація радіонукліду в ґрунті, Кі/кг;  $C_i$  — концентрація радіонукліду в  $i$ -тому зразку, Кі/кг ;  $n$  — кількість зразків.

Щільність забруднення ґрунту можна розрахувати за формулою:

$$A_{\text{п}} = 2 \cdot 10^8 \cdot C_c \cdot g,$$

де  $g$  — питома маса сухого ґрунту, г/см<sup>3</sup>.

Якщо в ґрунті міститься кілька радіонуклідів, то при визначенні концентрації якогось із них у формулу вводять поправку  $d$ :

$$A_{\text{п}} = K \cdot d \cdot P_{\gamma},$$

де  $K$  — коефіцієнт пропорційності, Кі/км<sup>2</sup>/мР/год;  $A_{\text{п}}$  — щільність забруднення, Кі/км<sup>2</sup>;  $P_{\gamma}$  — гамма-фон, мР/год ;  $d$  — поправка.

Поправку обчислюють за формулою:

$$d = \frac{\sum C_i - C_{i-1}}{\sum C_i},$$

де  $C_i$  — концентрація радіонукліду в ґрунті, Кі/кг.

У 1991 р. коефіцієнт пропорційності для орних земель встановлено 135 Кі/км<sup>2</sup> на 1 мР/год. по <sup>134</sup>Cs, <sup>137</sup>Cs.

Для розрахунку щільності забруднення ґрунту можна також використати формулу:

$$P = 2,7 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{A M}{m S n}, \text{ Кі/км}^2,$$

де  $A$  — активність зразка у день вимірювання, Бк;  $M$  — загальна маса зразка;  $m$  — маса зразка, взятого для аналізу;  $S$  — площа пробовідбірної пристрою, км<sup>2</sup>;  $n$  — кількість уколів ґрунту методом конверта для проведення спектрометричних та радіохімічних аналізів. Для перерахунку Кі/км<sup>2</sup> в кБк/м<sup>2</sup> отриманий результат перемножують на 37.

Вміст стронцію-90 в ґрунті визначають радіохімічним методом згідно з «Інструкцією для визначення стронцію-90 в пробах ґрунту на забрудненій

території» (1987). Методи та частота, періодичність взяття проб, розміри рослин, маса зерна та інших продуктів регламентовані документами, опублікованими в «Довіднику для радіологічних служб Мінсільгоспу України» (Київ, 1997).

Згідно з чинним законодавством України обов'язковому радіаційному контролю підлягають: молоко, картопля, овочі, що виробляються в приватному секторі. Проходять радіаційний контроль також зерно, молоко, м'ясо, картопля, гриби, дикоростучі ягоди, овочі, фрукти та інша продукція, яка призначена для державного постачання або вільного продажу. Рослинницьку продукцію обстежують у період збирання врожаю. Обов'язковому щоденному контролю підлягає молоко, яке надходить на молокопереробні підприємства, та продукція, що переробляється на м'ясокомбінатах.

Найбільшу частку внутрішнього опромінення населення отримує зі споживанням молока і м'яса. Для визначення середньозваженої величини забруднення молока за певний період можна використати формулу:

$$Q_{сз} = \frac{\sum_{i=1}^n q_i m_i}{\sum_{i=1}^n m_i},$$

де  $q_i$  — забруднення молока  $i$ -тої партії, яка надійшла на переробку за певний період (місяць, рік); /  $m_i$ , — кількість молока, що надійшла за цей період на переробку, л.

Аналогічно можна визначити середньозважену забрудненість будь-якого іншого продукту, виробленого на певній території за визначений проміжок часу.

На основі радіаційного моніторингу розробляють прогностичні моделі та прогнози розвитку радіологічної ситуації як наукової основи рекомендацій щодо захисту населення і навколишнього природного середовища від негативного впливу радіаційного забруднення.

Для здійснення радіаційного контролю об'єктів ветеринарного нагляду сформовані радіологічні відділи, основним завданням яких є контролювання

стану об'єктів ветеринарного нагляду і продуктів сільськогосподарського виробництва. Спеціалізовані радіологічні групи відстежують гамма-фон на території ветеринарних лабораторій, базарів, на підприємствах м'ясної та молочної промисловості, забрудненість радіоактивними речовинами виробничих приміщень і складів, технологічного обладнання, транспорту. Радіаційний контроль здійснюють у двох формах: поточний та попереджувальний. Поточному радіаційному контролю підлягає продукція, яка надходить від сільськогосподарських підприємств і населення на зберігання, переробку або реалізацію через торгівлю. Попереджувальний контроль передбачає контрольні перевірки на місцях під час вегетації рослин для підтвердження правильності прогнозу вмісту радіонуклідів в очікуваному врожаї і для визначення вмісту радіонуклідів в рослинності пасовищ та зеленому кормі літнього періоду.

У разі аварій та інших екстремальних ситуацій система контролю спрямована на оперативне виявлення рівня і масштабів забруднення з метою вироблення і вжиття термінових заходів щодо ліквідації небажаних наслідків і захисту людей та довкілля.

Організація системи радіологічного моніторингу дає змогу контролювати радіоактивно забруднені території та продукцію, передбачати небезпеки, виробляти систему захисту від радіаційного випромінювання.

## **Тема 22. Моніторинг довкілля на основі спостережень за біологічними об'єктами**

### 22.1. Біоіндикація

### 22.2. Біомоніторинг забруднення атмосфери за допомогою рослин

### 22.3. Біомоніторинг ґрунтів і водних ресурсів

Сучасні закордонні і вітчизняні дослідники пропонують оцінювати рівні забруднення на основі спостережень за біологічними об'єктами, які можуть бути індикаторами забруднень навколишнього середовища. Такий метод отримав назву «біоіндикація».

### **22.1. Біоіндикація**

Системи моніторингу, побудовані на основі дослідження поведінки рослин і тварин, дають змогу оцінити біологічні ефекти від впливу забруднення повітря, їх просторовий розподіл, можливе нагромадження на значних територіях.

У деяких видів рослин і тварин змінюються особливості розвитку (швидкість росту, процес цвітіння, утворення плодів, інтенсивність забарвлення та ін.) у відповідь на різні подразнюючі фактори. Ці властивості людство помітило уже давно і використовувало для практичних потреб. У зв'язку з загальною екологізацією різних наукових напрямів, людського мислення загалом методи біоіндикації усе частіше використовують сучасні науковці, зокрема і в моніторингу навколишнього середовища.

Моніторинг біологічних ефектів під впливом різних забруднювачів довкілля використовують у локальному, регіональному та національному масштабах.

**Біоіндикація** (грец. *bios* — життя і лат. *indico* — вказую) — оперативний моніторинг навколишнього середовища на основі спостережень за станом і поведінкою біологічних об'єктів (рослин, тварин та ін.).

Цей метод дедалі поширюється, оскільки має такі переваги:

- вимірювання сумарного ефекту зовнішнього впливу;
- вивчення впливу забруднення на рослини і тварин;
- визначення впливу у просторі й часі;
- можливість застосовувати профілактичні засоби.

Користуючись інструментальними методами дослідження, можна визначити характеристики повітря, води і ґрунту, але лише на момент відбору проб. Однак лишайники, наприклад, здатні накопичувати радіоактивні елементи, мікроелементи, вміст радіонуклідів у них може бути у 10 разів вищий, ніж у трав'янистих рослинах. Лишайники нагромаджують газоподібні й тверді речовини з атмосфери практично постійно і необмежено. Тому, відстежуючи процеси їх накопичення (відсутності), можна оцінити рівень забруднення середовища. Наприклад, біоіндикатором водного середовища може бути фітопланктон. Його надмірний розвиток спричиняє евтрофікацію водоймищ — підвищення рівня первинної продукції, зумовлене збільшенням концентрації біогенних елементів, азоту та фосфору, що призводить до загибелі риби внаслідок накопичення надмірної кількості азоту і фосфору, які різко прискорюють розвиток рослин.

У дніпровській воді виявлені черепашки, які раніше існували тільки у лиманних водоймах Чорноморського узбережжя, що свідчить про різке підвищення за останні роки вмісту солей у Дніпрі. Локальними індикаторами прісних ґрунтових вод у західних лиманах та сухих руслах північного і західного Казахстану є угруповання мезофільних злаків (мезофіти — рослини, які проростають при середньому зволоженні, помірно теплом режимі і достатній забезпеченості мінеральним живленням); постійними індикаторами засолених ґрунтів в західній Туркменії слугують галофіти (солестійкі).

Під впливом забруднень довкілля змінюються еколого-фізіологічні ознаки: пігментація, забарвлення рослин, їх спричиняє надлишок токсичних солей у ґрунті або нестача поживних речовин. Наприклад, галофіти при

помірному підвищенні засолення мають насичений зелений колір; за значної кількості солей у ґрунті — сіро-синюватий; при засоленні за умов недостатнього зволоження — оранжево-червоний.

Виокремлюють статичні і динамічні індикаційні ознаки. Наприклад, присутність певного індикатора (рослини), його форма — це статичні ознаки, а швидкість росту або інші зміни, що відбуваються в часі, належать до динамічних. Рослинність може бути використана не лише як індикатор окремих факторів середовища, а також як показник сумарних умов: типів ґрунту чи клімату, гірських порід, сільськогосподарських угідь. Біоіндикаторами можуть бути не лише ті рослини, які помітно реагують на аномалії. Зовнішні подразники впливають на кислотність середовища, щільність коріння.

Значення індикатора в екологічних дослідженнях визначають дві величини: екологічна спряженість індикатора (V) і зустріч індикатора на обсязі індикації (P). Загальну значущість індикатора можна виразити у вигляді індексу V/P (у відсотках).

Біоіндикація має певні переваги як метод отримання безпосередньої інформації про зміни стану біоти в конкретних умовах забруднення, але він повинен поєднуватись з хімічними й геофізичними дослідженнями для отримання не лише якісних, а й кількісних відомостей.

## **22.2. Біомоніторинг забруднення атмосфери за допомогою рослин**

Рослинний покрив як важлива складова біосфери відображає її загальний стан і перебіг майже усіх процесів, що відбуваються на планеті. Життя на Землі було б неможливе без безперервного процесу фотосинтезу, що відбувається в зелених частинах рослин, які є основним стабілізатором вуглекисло-кисневого балансу повітряного басейну. Рослини як важливий компонент біогеоценозу помітно впливають на інші його елементи, сприяють формуванню ґрунтового покриву, впливають на хімізм ґрунту і його

родючість, а також на життя усіх тварин і живих організмів, одночасно реагуючи на всі зовнішні фактори.

**Забруднюючі речовини і їх суміші, які впливають на рослинний покрив.** Рослини чутливо реагують на зовнішні умови. За достатньо високих концентрацій забруднювачів у багатьох з них ушкоджується листя, а зі зростанням кількості забруднюючого фактора протягом короткого проміжку часу можливе значне ураження рослини. Внаслідок некрозу (загибелі тканини) її колір змінюється від металево-сірого до коричневого, а в процесі старіння вона може втратити колір або вигоріти. Хронічне ушкодження рослин виникає і внаслідок дії невеликих концентрацій певних речовин протягом тривалого часу. До ознак хронічного ушкодження належать бронзове зафарбування листя, хлороз (знебарвлення), їхнє передчасне старіння. Відомо, що живі організми і рослини здатні поглинати певні забруднюючі речовини в особливо великих кількостях, тобто в них процеси накопичення або концентрування відбуваються інтенсивніше, ніж у навколишньому середовищі. Такі забруднювачі рослин вважають основними, однак флора накопичує другорядні забруднювачі і суміші речовин.

Основні забруднюючі речовини, на які реагують рослини. До них належать озон ( $O_3$ ), оксиди азоту, діоксид сірки, фториди (табл. 1).

Озон ( $O_3$ ) — газоподібна забруднююча речовина, яка утворюється внаслідок складної реакції між окислами азоту за участю сонячного світла. Озон потрапляє в рослину через листя внаслідок звичайного газообміну між рослиною і навколишнім середовищем. Найчутливіше до дії озону листя, яке формується, але найпомітніше він уражає старі листки рослини. Загальною ознакою ураження рослин озоном є плямистість, яка вказує на його гостру дію. Ознаки ушкоджень рослин озоном різні й залежать від виду та сорту рослини, концентрації озону, часу експозиції (дії світла), а також від багатьох інших факторів. Специфічна ознака гострої дії озону на рослину — поява цяточок, які з часом зливаються й утворюють плями на поверхні листка. Цяточки можуть бути білими, чорними, червоними або то-пурпуровими. За

низьких концентрацій  $O_3$  листя набуває червоно-бурого або бронзового кольору, що, як правило, призводить до хлорозу, старіння та опадання листя. Хлороз може бути єдиною ознакою хронічного впливу озону протягом тривалого часу.

Таблиця 1

Основні та другорядні забруднюючі атмосферу речовини і їх суміші, що впливають на рослинний покрив

Забруднюючі речовини	Джерела викидів	Токсична для рослин концентрація, $млн^{-1} г$
1. Основні фотохімічні оксиданти: озон нітрати оксиди азоту оксиди сірки фториди	Двигуни внутрішнього згорання Двигуни внутрішнього згорання Печі, двигуни внутрішнього згорання Печі (вугілля або нафта), інші промислові процеси Виробництво алюмінію, фосфатів, цегли та ін.	0,04—0,7 0,004—0,01 0,21—100 0,1—0,5 0,001
2. Другорядні: аміак бор хлор етилен та пропилен хлористий водень і соляна кислота тверді частки і важкі метали сірчаноокислий натрій	Втрати при виробничих процесах Двигуни внутрішнього згорання Різні виробничі процеси Печі, різні виробничі процеси Печі	0,0005—10

3. Суміші забруднюючих речовин озон і діоксид сірки діоксид сірки і діоксид азоту	Всі вказані вище джерела	
---	--------------------------	--

Оксиди азоту ( $\text{NO}_x$ ) — газоподібні забруднюючі токсичні сполуки  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ . У забрудненому повітрі вміст оксидів азоту зумовлює утворення озону. Однак у багатьох випадках концентрація оксидів азоту надто мала, щоб помітно ушкодити рослину. Низькі концентрації  $\text{NO}_2$  стимулюють ріст рослин, листя набуває темного кольору. Проте у деяких випадках виникає неспецифічний хлороз із наступним ушкодженням та опаданням листя. Англійські вчені виявили, що оксиди азоту є основною речовиною, яка забруднює повітря в теплицях, які обігрівають вуглеводневим паливом. Гостра дія  $\text{NO}_2$  може бути схожа з гострою дією на рослини  $\text{SO}_2$ .

Діоксид сірки ( $\text{SO}_2$ ) — забруднююча речовина, яку викидають у повітря теплові електростанції (особливо ті, що працюють на вугіллі) і деякі промислові підприємства, її концентрація в повітрі висока поблизу джерел викидів і поступово знижується із збільшенням відстані від нього. За природних умов можливе поєднання гострої та хронічної дії  $\text{SO}_2$ .

$\text{SO}_2$ , потрапляючи на листя, окислюється до високотоксичної сполуки  $\text{SO}_3$ , а потім повільно перетворюється на сульфат  $\text{SO}_4$ , менш токсичний. При низьких концентраціях  $\text{SO}_2$  у повітрі  $\text{SO}_3$  практично повністю окислюється до сульфату, і рослини не страждають. За високої концентрації  $\text{SO}_2$  на  $\text{SO}_3$  перетворюється швидше, ніж  $\text{SO}_3$  на  $\text{SO}_4$ , внаслідок чого відбувається гостре ушкодження — листя широколистяних рослин знебарвлюється, між жилками (з'являється бурий або білий колір) або на краях деяких листків спостерігається ефект «ялинки». Ознакою хронічної дії  $\text{SO}_2$  є хлороз, або знебарвлення листя із зміною їх кольору до червоно-бурого; у хвойних рослин — почервоніння голок зверху вниз. Рослини страждають за наявності концентрації  $\text{SO}_2$  0,05 — 0,50  $\text{млн}^{-1}$  при дії протягом 8 год. і більше.

Фториди перебувають у атмосфері у вигляді газу, твердої домішки або газоподібного фториду, адсорбованого іншою твердою речовиною. Фтористий водень (HF) у вигляді газу токсичніший, ніж у твердому стані. Він присутній у викидах стаціонарних джерел забруднення — плавильних заводів і заводів, які використовують алюміній. Рослинність поблизу джерел викидів страждає найбільше.

Хронічна дія HF викликає у рослин хлороз уздовж прожилок листя, гостра дія HF — некроз країв листя, який починається з верхньої частини листка і поширюється до його основи, внаслідок чого листя може деформуватися або скручуватися. Однодольною рослиною, яку використовують як індикатор, є гладіолус. У них колір листя змінюється від білого до бурого, починаючи з верхівки листка до основи. Чітка темно-бура смуга відокремлює мертву тканину рослини від живої. У хвойних рослин з'являються голки з «обпаленими» краями або «обпалені» повністю.

Особливістю фториду є його здатність накопичуватись в листі, особливо на краях і верхівках. Для оцінки ступеня ушкодження рослин HF застосовують аналіз тканини листка.

**Другорядні забруднюючі речовини, які діють на рослини.** Такими речовинами є аміак, бор, хлор, етилен, пропилен, хлористий водень, соляна кислота.

Аміак ( $\text{NH}_3$ ) надходить в атмосферу в результаті аварій на виробництві. Він особливо вражає рослини поблизу місця аварії. Як і у разі дії  $\text{NO}_x$  рослини ушкоджуються тільки за високої концентрації аміаку. Найчутливіше до дії  $\text{NH}_3$  листя середнього віку, яке може змінити колір із тьмяно-зеленого до бурого або чорного. Дія низьких концентрацій  $\text{NH}_3$  зумовлює появу на нижній стороні листка глянцеватості або сріблястості.

Таблиця 2

Види рослин, які пошкоджуються озоном, і типові ознаки пошкоджень

Рослини	ТИПОВІ ознаки
Ясен (Ргахіішз) Сосна (Ріпіз) Квасоля (Рііазеоііз)	Білі краплинки, пурпурова бронзовість Кінці голок жовтувато-коричневого кольору, плямистість голок Бронзовість, хлороз
Огірки (Сиситіз) Виноград (Протоеа) Цибуля (АПіит) Картопля (Зоїапит) Шпинат (бріпасіа) Тютюн (КГісоііапа) Кавун (Сіігііііз)	Білі цяточки Цяточки від червоно-коричневого до чорного кольору Білі плями, обезбарвлені кінчики Сірі, металевого відтінку плями Сіро-білі плями Біло-сірі плями Сірі, металевого відтінку плями

Бор (В) — речовина сірувато-чорного кольору. її дія на рослини, які ростуть поблизу джерел викидів, зумовлює некроз на краях листя та між жилками, а також плямистість. Листя набуває чашоподібної форми, деформується, особливо старе. Гострі ушкодження можливі на відстані до 200 м від джерела. Найчутливішими до дії бору є горіх сірий, клен, шовковиця, дикий виноград, а стійкі — в'яз, бузок, груша і більшість трав'янистої рослинності.

**Біомоніторинг забруднення атмосфери за допомогою рослин.** Хлор(СL) застосовують як окислювач. У зоні розливу хлору внаслідок аварій при транспортуванні рослини особливо ушкоджуються. На краях листка з'являються плями від темно-зеленого до чорного кольору, які потім знебарвлюються до білого або стають бурими. Ознаки ушкодження листя між жилками подібні до ознак спричинених дією  $SO_2$ . Можлива також поява цяточок, що нагадує результат впливу озону. У хвойних, як і при дії озону,

може виникати некроз кінчиків голок і плямистість. Чутливі до дії хлору гірчиця і соняшник.

Етилен ( $C_2H_4$ ) — природний рослинний гормон, який утворюється при ушкодженні рослин різними забруднювачами повітря. Він позначається на процесах цвітіння, дозрівання плодів, старіння та опадання. Етилен також присутній у вихлопних газах автотранспорту і є забруднюючою речовиною. До ознак ушкоджень рослин етиленом належать погіршення їх росту, передчасне старіння та опадання листя, погіршення цвітіння, передчасне розкриття бруньок, повільне розпускання листків, їх скручування.

Пропилен ( $C_3H_6$ ) — ненасичений ациклічний вуглеводень, безбарвний газ. Вплив пропилену на рослини подібний до дії етилену, але його спричинюють вищі концентрації. Пропилен пригнічує цвітіння у хризантем, уповільнює вертикальний ріст, але стимулює появу листя. Рослини, уражені пропиленом, мають менше за розміром, але товстіше листя.

Хлористий водень (HCl), безколірний димучий в повітрі газ з різким запахом) та соляна кислота (розчин хлористого водню у воді, безбарвна «паруюча» в повітрі рідина) надходять в атмосферу з локальних джерел. Типовою реакцією на дію хлористого водню є між-жилковий та краєвий хлороз, після чого настає некроз, який проявляється в зміні кольору від жовтого, бурого, червоного до чорного. Межі некротизованих ділянок можуть бути від білого до кремового кольору.

Ознаками ушкодження рослин аерозолем соляної кислоти вважають появу цяточок від червоно-коричневого до чорного кольору, а соляною кислотою — листову плямистість, причому плями облямовуються смугою білого або кремового кольору.

У рослинах хлориди, як і фториди, часто акумулюються у верхівках листків. Аналіз ушкодженого листя дає змогу встановити рівень вмісту в них хлоридів.

Тверді частинки (пил) та важкі метали. Вони проникають крізь листя або пошкоджені клітини епідермісу. Дрібні частинки можуть осідати на

листках, знижуючи світлопоглинання і відповідно фотосинтез, негативно впливати на запилення квітки, розміри і стан листя.

Важкі метали з атмосфери, осідаючи на рослину або земну поверхню, мають тенденцію накопичуватись, особливо у верхніх шарах ґрунту, звідки можуть потрапити у рослину. Концентрація важких металів у ґрунті залежить від вмісту в ньому глини та органічної речовини.

Найпоширенішим металом, що може потрапляти у рослину і ґрунт, є свинець. Він накопичується в ґрунті, але чітких доказів відносно того, що він уражає рослину, немає. Цинк, кадмій, мідь у середині літа спричиняють міжжилковий хлороз із наступним почервонінням листя дерев, які ростуть поблизу джерела.

Ртуть — єдиний важкий метал, який перебуває в рідкому стані за нормальної температури. Вона вражає майже всі рослини. Особливо чутливою до ртуті є троянда, на листі якої з'являються бурі плями, воно жовкне, а потім опадає.

Молоді бутони буріють і опадають. Визначення вмісту важких металів в рослинах можливе за допомогою методу атомно-адсорбційної спектроскопії.

Сульфат натрію трапляється поблизу целюлозно-паперових комбінатів. Дія  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  зумовлює уповільнений ріст і некроз листя у квасолі, зменшення висоти кущів помідорів, які вирощують у теплицях.

Суміші забруднюючих речовин. У повітрі, яке оточує рослини за звичайних умов, міститься кілька потенційних фітотоксичних забруднювачів. Суміші забруднюючих речовин можуть спричинити ті самі ушкодження рослин, що й окремі забруднювачі, а суміш газів може змінювати порогову чутливість рослин.

Суміш озону і діоксиду сірки. Ознаки ушкоджень нею схожі з ознаками ураження  $\text{O}_3$  або  $\text{SO}_2$  залежно від їх концентрацій. Якщо концентрації  $\text{O}_3$  і  $\text{SO}_2$  нижчі від порогової для  $\text{SO}_2$ , але дорівнюють або нижчі від порогової для  $\text{O}_3$ ,

то спостерігаються ознаки ушкоджень, схожі на отримані внаслідок дії  $O_3$ . Вплив суміші позначається на люцерні, капусті, цибулі, квасолі.

Діоксид сірки і діоксид азоту. Дія цих речовин в суміші з концентраціями нижча від порогових значень для кожного газу, вона проявляється в ушкодженні верхньої сторони листка редьки, помідорів, соєвих бобів.

Отже, забруднення довкілля хімічними сполуками призводить до часткової деградації рослинного покриву, знижуючи його біомасу та природоохоронні функції.

**Рослини-індикатори і рослини-монітори** За особливостями реакції на вплив забруднювачів рослини поділяють на рослини-індикатори й рослини-монітори.

Рослина-індикатор — рослина, у якої ознаки ушкодження виявляються при впливі фітотоксичної концентрації забруднюючих речовин або їх суміші. Рослина-індикатор є хімічним сенсором, який може виявити в повітрі присутність забруднюючої речовини, але спостереження за нею не дають змоги отримати дані про її кількість.

Індикаторами можуть бути такі рослини, які акумулюють у тканинах забруднюючу речовину або продукти метаболізму, утворені внаслідок взаємодії рослини із зовнішніми чинниками: важкими металами (свинець і кадмій), газоподібними речовинами, такими як фтористий водень ( $HF$ ) або сульфат ( $SO_4$ ). Внаслідок їх дії у рослин можуть змінюватись параметри розвитку: швидкість і якість росту і дозрівання, цвітіння, утворення плодів і насіння, процесів розмноження; знижуватися продуктивність і врожайність. Кожний параметр окремо або їх комплекс можна використати, щоб визначити наявність забруднюючих речовин у повітрі і (за допомогою проведення дослідів) у контрольованих умовах для того, щоб зіставити ознаки ушкодження або зміни у стані рослини з наявністю певної забруднюючої речовини або їх суміші. Такі дослідження засвідчили, наприклад, що тютюн дуже чутливий до дії озону і реагує характерними

ушкодженнями. Також виявлено, що кількість зав'язі і врожайність помідорів значно зменшуються при хронічному впливі на цю рослину озону у низьких концентраціях. У соєвих бобів за дії певних доз  $SO_2$  з'являються небажані ознаки, змінюються швидкість росту і врожайність.

Лишайники і мохи відомі як накопичувачі забруднюючих речовин, переважно важких металів, які ці рослини можуть акумулювати у кількостях, що значно перевищують їх концентрацію в навколишньому середовищі.

Отже, поява у рослин типової ознаки ушкодження вказує на наявність у повітрі забруднюючої речовини або їх суміші.

Зважаючи на важливість кількісної оцінки, особливо інформативними є організми, які у певний спосіб реагують саме на кількість забруднювача у довкіллі, тобто рослини-монітори.

Рослина-монітор — рослина, за ознаками ушкодження на якій можна отримати інформацію про кількість забруднюючих речовин або їх суміші у довкіллі.

Звичайно, з цією метою використовують різноманітні прилади. Однак прилади коштують дуже дорого, для їх роботи необхідні живлення, калібрування, спостереження за функціонуванням. Іноді вони надто чутливі і непридатні для роботи в умовах суворого клімату. На відміну від них рослини дешеві, легко відновлюються, швидко розмножуються і по-різному реагують на вплив, даючи змогу вибрати одну або кілька найхарактерніших реакцій для певного дослідження. Можна також використати недовговічні (трав'яні) рослини, які оновлюються кожного сезону чи кілька разів протягом одного вегетаційного періоду, або дерев'яні рослини (дерева, кущі), котрі можна висадити на потрібних ділянках і використовувати як індикатори протягом довгого періоду.

Для того щоб індикатор став монітором, тобто міг інформувати про якісні і кількісні характеристики забруднювача, необхідно визначити і використати залежності між реакцією рослин на забруднення і концентрацією цієї

речовини в навколишньому середовищі. Для цього використовують три основні способи:

- зіставлення ступеня ушкодження, спричиненого забруднюючою речовиною, із відомою концентрацією забруднюючої речовини у довкіллі;
- використання рослини як живого колектора (накопичувача забруднюючих речовин);
- вимірювання кількості забруднюючої речовини або метаболітів (новоутворених речовин), які з'явилися в рослинних тканинах після дії забруднювача, і зіставлення отриманих значень з концентрацією забруднюючої речовини в повітрі.

Оскільки внаслідок притаманної рослинам змінності види і сорти рослин по-різному реагують на вплив негативних факторів, слід відбирати ті рослини, реакція яких передбачувана. Такими є мохи, папороті, голо- і покритонасінневі, які використовують як біоіндикатори і (або) біомонітори.

Отже, моніторинг природних популяцій можна поєднувати із розведенням та селекцією з метою отримання чутливих до впливу забруднюючих речовин рослин з передбачуваними реакціями. Можливе виведення нових видів рослин, придатних для моніторингу забруднення повітря.

При проведенні дослідів з метою моніторингу довкілля вивчають ознаки ушкодження рослин, зміни їх в рості та розмноженні, зниження врожайності або продуктивності, а також зміни ареалів поширення різних видів. Однак такі реакції також значною мірою залежать від віку рослини, факторів довкілля та способів обробітку ґрунту. Тип ґрунту, вміст в ньому мінеральних речовин, відносна вологість, топографічні та метеорологічні умови впливають на тип реакції рослини, на дію певної концентрації або дози будь-якої забруднюючої речовини або їх суміші. У зв'язку із змінністю рослин навіть на території певної популяції при здійсненні моніторингу необхідно використовувати багато різних рослин і розміщувати їх у такий спосіб, щоб вони підлягали максимальному впливу вітрів.

**Оцінювання реакції рослин на забруднення.** У польових умовах необхідний ретельний відбір рослин для встановлення залежності «доза — відповідна реакція». Якщо рослина реагує на вплив ушкодженням листків, зміною темпів росту, врожайності, слід експериментально з'ясувати, як вона реагує на різні дози однієї і тієї самої речовини або суміші.

Ушкодження листя можна аналізувати за допомогою серії фотознімків методом прямих порівнянь знімків ураженого листя з контрольними знімками листя рослин, які зазнали впливу відомих концентрацій забруднюючих речовин в лабораторних умовах. Поділ досліджуваної ділянки з великою кількістю рослин на квадрати дає змогу виразити кількісно дані про пошкодження листя, з'ясувавши кількість їх ушкоджень; ступінь ушкодження; чисельність ушкоджень на одиницю поверхні. За допомогою лінійних графіків можна відобразити залежності ушкодження листя від періоду дії та дози забруднюючої речовини. Ці криві можна порівняти з кривими «доза — відповідна реакція», отриманими в лабораторних умовах. У такий спосіб можна визначити якісний склад повітря протягом певного періоду і встановити вид забруднюючої речовини або склад суміші.

Певний метод кількісної оцінки обирають залежно від рослинного матеріалу, забруднюючої речовини та вимірюваних параметрів, які потребують дослідження. Ступінь ушкодження листя трав'янистих рослин з'ясовують візуально, визначаючи площу (у відсотках) ушкодженої поверхні листя. У разі спостереження за хвойними рослинами оцінюють довжину голок, їх колір і форму, вік хвої, кількість ушкоджених голок на гілці (у відсотках).

Результати спостережень можна об'єднати в дві групи: площа ушкодженої листової поверхні (у відсотках); площа нових ушкоджень кожної рослини за визначений період часу.

Якщо рівень забруднення визначається за обсягом поглинання забруднюючої речовини, з'ясовують кількість забруднюючої речовини або кількість метаболітів, спричинених забруднювачем. Вміст сульфату в

тканинах слід зіставити з концентрацією  $SO_2$  в навколишньому середовищі, фтору — із концентрацією НІГ. Для порівняння результатів різних досліджень необхідна стандартизація методів збирання та оброблення рослинного матеріалу і приладів, які використовуються.

Рослини-колектори можна успішно використовувати для моніторингу важких металів. Наприклад, мох \ здатний поглинати такі важкі метали, як цинк, свинець, кадмій, нікель, мідь та магній. Метали не тільки накопичуються в листі лишайників, а й поглинаються їх тілом та акумулюються в тканинах. Висушивши, зваживши і здійснивши хімічний аналіз тканини зібраних рослин, можна визначити кількість поглинутого металу. Змінюючи проміжки часу між зборами рослин, можна зіставити вміст металу в їх тканинах із концентрацією металу в повітрі.

Лишайники можна використовувати для контролю вмісту  $SO_2$  в навколишньому середовищі. Здатність до акумуляції  $SO_2$  залежить від виду цих рослин. Поєднання методів інструментального моніторингу із спостереженнями за лишайниками дасть змогу встановити залежність між їх ростом і концентрацією  $SO_2$  в довкіллі. Швидкість росту і колір лишайника вказують на присутність або відсутність  $SO_2$  і його приблизну концентрацію в повітряних масах. Цей метод використовують при моніторингу  $SO_2$  в Англії, Ірландії, Канаді, Франції, Швеції та США.

**Відбір і підготовка біологічних матеріалів для біомоніторингу.** Отримання достовірних, повних і точних даних за допомогою біоіндикації можливе лише у разі точного дотримання низки вимог. Так, при виборі рослини для використання її в ролі біомонітора необхідно дотримуватися таких умов:

- наявність у рослини вираженої реакції на вплив забруднюючої речовини, тобто помітних ознак ушкодження, змін швидкості росту, морфологічних змін, порушень цвітіння, змін продуктивності або врожайності;
- відбір рослин, невибагливих до умов вирощування і догляду;
- відбір рослин, які мало піддаються впливу шкідників та хвороб.

Отримання усереднених зразків матеріалів рослинного походження (сформованих з 5—6 разових проб) є складним завданням, що потребує правильного обрання місця, способу і часу. Рослинні зразки слід збирати на достатньо великій відстані від будівель, доріг і джерел забруднюючих речовин. Досліджувану ділянку умовно розділяють на кілька квадратів, з кожного рівномірно відбирають рослинний матеріал (листя, стебла, кору) в необхідній кількості. Пробу рослин (цілі чи окремі частини) збирають у першій половині дня за сухої погоди. На ранніх стадіях розвитку (2—3 листки) у ній має бути не менше 10 рослин з одного гектара; для гречки, гороху, зернових — 25—30; у високорослих рослин беруть нижні, добре розвинуті листки (не менше 50 рослин). Проба повинна бути репрезентативною, тобто забезпечувати відповідність її хімічного складу хімічному складові аналізованого матеріалу (наприклад, кількість рослинного матеріалу квітів — 300 г, подрібненого листя і трави — 200 г, трави — 400—600 г, кори і коренів — 600—650 г).

Паралельно з відбором проб проводять біологічний облік відібраних рослин (висота рослин, кількість пагонів на одній рослині, фази розвитку). Аналізи рослинних зразків проводять відразу, або зберігають їх у холодильнику.

Призначений для аналізу рослинний матеріал передусім очищують від піску, землі та інших механічних домішок. Після цього листки, плоди і насіння обов'язково просушують до повітряно-сухого стану (крім випадків, коли необхідно зробити аналіз рослинного зразка у сирому вигляді), пробу гомегенізують (подрібнюють). Сирі рослинні матеріали подрібнюють у міксері або іншому гомогенізаторі, використовуючи чистий скляний посуд і зроблене з нержавіючої сталі дробильне обладнання. Інтенсивної вентиляції зразка при гомогенізації треба уникати, бо це може призвести до втрат деяких компонентів, особливо тих, які легко окислюються.

Сухі і висушені продукти (зерно, насіння) подрібнюють спеціальними млинками, іноді просівають ситом із визначеними розмірами отворів, щоб

отримати потрібну зернистість. Зразки біологічного походження перед аналізом, зазвичай, мінералізують сухим (спалювання органічної речовини за вільного доступу повітря, в результаті чого залишаються мінеральні елементи переважно у вигляді оксидів металів) або вологим (озолювання органічної речовини розчинами кислот, внаслідок чого утворюється розчин з мінеральними речовинами) методами. Щоб при сухій мінералізації (озоленні) не втратити летючі компоненти, рослинний зразок нагрівають до температури не вище 450°C. Оскільки при цьому у більшості випадків не вдається повністю позбутися органічних компонентів, до золи додають концентровану азотну кислоту і випарюють насухо. Для позбавлення від решток вуглецю використовують метод випарювання із соляною кислотою на піщаній бані. Елементи мінерального залишку визначають за допомогою певних хімічних реакцій.

У деяких випадках застосовують метод мінералізації зразка вологим способом за допомогою таких речовин, як азотна кислота, азотна кислота і соляна кислота з добавкою перекису водню, сірчана кислота і соляна кислота. У досліджувану пробу доливають суміші кислот, залишають на певний період до обуглення рослинної маси. Після цього розчин підігрівають на слабкому вогні 5—7 хв. до утворення однорідної коричнево-бурої маси, температуру озолення підвищують і продовжують його. Повне озолення триває 15—20 хв. Після його закінчення розчин охолоджують, розбавляють дистильованою водою і визначають потрібні елементи, застосовуючи характерні для того чи іншого елемента хімічні реакції.

Отже, головною умовою достовірності результатів біо-моніторингу є правильне відбирання рослинної проби, її підготовка до аналізу та проведення самого аналізу.

### **22.3. Біомоніторинг ґрунтів і водних ресурсів**

На основі екологічної характеристики організмів, тобто їх реакцій на вплив факторів середовища, виокремлюють еврибіонти — види з широкою

адаптаційною здатністю, які можуть жити при різних значеннях фактора, і стенобіонти — види з низькою адаптаційною здатністю, життєдіяльність яких обмежена вузьким діапазоном змін певного фактора. Саме стенобіонти (організми або їх угруповання), життєві функції яких тісно корелюють з певними чинниками середовища використовують для біоіндикації ґрунту і водних ресурсів. Ними можуть бути рослини, тварини, мікроорганізми, гриби.

**Рослинні індикатори хімічного складу Ґрунту.** На основі дослідження рослинного покриву можна визначити основні складові ґрунтів (рухомі сполуки основних елементів живлення рослин Ca, N<sub>2</sub>, P, S, K, Mg), оскільки певні види рослин домінують у місцевостях з відповідним складом ґрунту. Наприклад, нітрофіти (азотолюби) можна вважати надійними індикаторами ґрунту, збагаченого азотом, до них відносять берест, черемху, бузину, бруслину європейську. Найбільше їх росте на землях з підвищеним вмістом нітратів, дуже рідко вони трапляються на бідних азотом землях. Домінування різних рослин-галофітів (солестійких) пов'язано з засоленістю ґрунтів різними йонами. Певні види рослин відображають якісний склад катіонів у поглинаючому комплексі ґрунту.

Фітоіндикацію широко застосовують при визначенні кислотності ґрунтів. Так, на дуже кислих ґрунтах (рН = 3—4,5) ростуть крайні ацидофіли (надають перевагу кислим ґрунтам), до яких належать сфагнум, плавун булавовидний; на кислих ґрунтах (рН = 4,5—6,0) — помірні ацидофіли (калюжниця болотна, їдкий і повзучий жовтець); на слабо кислих ґрунтах (рН = 5,0—6,7) — слабкі ацидофіли (медунка, купина багатоквіткова, анемона жовтецева).

Біоіндикація дає змогу оцінити не тільки хімічний склад ґрунту, а й наявність і склад ґрунтових вод.

**Рослинні індикатори глибини рівня ґрунтових вод.** Рослини, які дають змогу визначити глибину залягання ґрунтових вод, називають гідроіндикаторами. Ця здатність зумовлена максимальною глибиною

проникнення їх корневих систем. Отримати точні гідро екологічні характеристики дають змогу дослідження сукупності гідроіндикаторів. Наприклад, формація Татагіх гатазіззіто росте на землях, де глибина залягання ґрунтових вод становить 0,5—0,7 м, а їх мінералізація — 3—15 г/л. Про глибину залягання ґрунтових вод свідчать також діаметри кущів гідроіндикаторів, наприклад рослин Татагіх гатазіззіто. Дослідження рослинних індикаторів одночасно з аналізом ландшафту дає змогу детально визначити рівні ґрунтових вод. Рослинність точніше відображає глибину близьких до поверхні ґрунтових вод.

#### **Рослинні індикатори хімічного складу ґрунтових вод.**

Водопостачання постійних гідроіндикаторів в аридних зонах відбувається за рахунок ґрунтових вод, тому вони помітно реагують на зміни мінералізації води. Індикаторами прісних вод служать глікофільні фреотофіти і мезофіти. Глікофільні види з ознаками ксерофітизму (рослини, що живуть у засушливих місцевостях, кактуси, агави, заяча капуста) ростуть на солонуватих водах. Фреотофіти з ознаками галофітизму поширеніші там, де вода помірно солонна, фреотофіти з вираженим галофітизмом — у місцевостях, де вода солонна.

Оцінити мінералізацію ґрунтових вод дає змогу вивчення показників гідроіндикаторів та індикаторів засолених ґрунтів у комплексі.

Рослинність відображає вміст кисню, органічних речовин, закисного заліза, жорсткість та інші властивості, що визначають питну якість ґрунтових вод. Наприклад, ґрунтові води, що живлять вільхово-вербові рослини, насичені сірководнем, містять сполуки заліза, збагачені органічними речовинами і зовсім не придатні для вживання.

**Біоіндикація забруднення води.** Склад і стан рослинності може вказати на наявність забруднювачів води в межах різноманітних промислових комплексів.

Наявність і розподіл водоростей є надійним показником забруднення і санітарного стану вод у морях, ріках та озерах. Деякі види водоростей

зникають при наближенні до джерел забруднення, а інші (наприклад, \_\_\_\_\_) поширені за підвищеного забруднення вод. У місцях витоку стічних вод залишається лише бідна флора полісапробіонтних водоростей, що витримують велику концентрацію органічних речовин у воді і тому є індикаторами дуже забруднених вод.

Водорості бентосу є ще точнішими індикаторами санітарного стану морських вод. У бухтах Чорного моря в чистих водах живуть десятки видів діатомей, що зникають в міру забруднення води. При слабкому забрудненні з'являються полісапробіонтні діатомеї (мелозірі та ін.) На максимальне забруднення води вказує масовий розвиток \_\_\_\_\_.

Виявити присутність небезпечної забруднюючої речовини у водоймі можна за допомогою проявів її токсичного ефекту на рибах (табл. 8.3).

Таблиця 3

Деякі зовнішні ознаки отруєння риб

Токсиканти	Ознаки отруєння
Хлор	Вражені зябра та війковий епітелій. Кінчики зябер світлі. При загибелі — швидкі обертальні рухи
Важкі метали	Товста слизова оболонка тіла і зябер. На зябрах і шкірі — відклади гідроксидів відповідних солей
Фосфор	Вирячування очей
Аміак та солі амонію	Судоми, віялоподібні обертальні рухи, розширення плавників, зяброва кровотеча, рот зімкнутий. Риба тоне хвостом донизу
Залізо та його солі	На зяберних пелюстках бурий наліт гідроксиду заліза
Фтор	Водянка, вирячування очей
Мідь	Тіло вкрите голубуватим слизом
СПАР	Ураження шкіри та плавників з наступним їх руйнуванням. Зябра яскраво-червоні, запалені

Встановлено, що найбільша чутливість дефіциту кисню збігається з чутливістю до органічного забруднення. Щодо стійкості до органічних забруднень і дефіциту кисню розрізняють такі індикаторні групи організмів: полісапроби — організми, які витримують сильний ступінь дефіциту кисню (личинки комара *Chaoborus*, мухи-бджоловидки *Fristalis tenax*); мезосапроби — організми, що витримують лише середній ступінь забруднення (інфузорія парамеція, карась, короп, лин); олігосапроби — організми, які витримують лише слабкий ступінь забруднення, вимогливі до кисню (форель, багато личинок мошок). Потреба у кисні в різних груп риб неоднакова: у форелі — висока, яка становить 7—11 см<sup>3</sup>/л; у піскаря, коблика — середня (5—7 см<sup>3</sup>/л); у плотви, йоржа — низька (4 см<sup>3</sup>/л); у коропа, лина — наднизька (0,5 см<sup>3</sup>/л).

Отже, рослини, тварини та їх угруповання представляють перспективну галузь біоіндикації через високу чутливість до змін довкілля, що відбуваються під впливом антропогенних чинників. За допомогою рослин і їх угруповань оцінюють дію та наслідки антропогенних впливів: порушення природних ландшафтів, забруднення повітря, водного середовища та ґрунтів; обґрунтовують заходи з організації екологічного моніторингу.