502.3
Б61

Г.О. Білявський
Л.І. Бутченко

ОСНОВИ ЕКОЛОГІЇ

теорія та практикум

ЛІБРА

Г.О. Білявський
Л.І. Бутченко

ОСНОВИ ЕКОЛОГІЇ

теорія та практикум

Навчальний посібник
для студентів вищих навчальних закладів

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
Лист №14/18.2-1008 від 13.05.02

Видання 2-е, перероблене та доповнене

Видавництво "Лібра"
Київ, 2004

ББК 28.081 я 7
Б 61

Науковий редактор: **В.Я.Шевчук**, доктор економ. наук, професор, Керівник Апарату Ради Національної безпеки і оборони України

Рецензенти: **Ю.М.Саталкін**, канд. техн. наук, головний наук. співробітник Українського ін-ту досліджень навколишнього середовища і ресурсів РНБОУ

В.І.Лялько, докт. г.-м. наук, чл.-кор. НАНУ, директор Центру аерокосмічних досліджень Землі, Ін-т геол. наук НАНУ

Білявський Г.О., Бутченко Л.І.
Б 61 **Основи екології: теорія та практикум.** Навч. посіб. — К.: Лібра, 2004. — 368 с.

ISBN 966-7035-42-5

У **першій** — теоретичній частині посібника викладено основні положення, поняття й завдання сучасної екології, розглянуто основні сучасні концептуальні підходи до проблеми гармонійного розвитку суспільства, висвітлено специфіку екологічно збалансованого розвитку України. Акцентовано увагу на екологічних аспектах і екологічних взаємозв'язках біосфери, техносфери, агросфери і ноосфери, стисло викладено еколого-економічні основи природокористування.

У **другій** частині (практикум) наведена інформація про особливості екологічних методів досліджень, описано понад 60 завдань для практичних занять із визначення екологічного стану повітря, водних об'єктів, грунтів, рослин, тварин, мікроорганізмів, визначення загальної якості довкілля. Наведено приклади розрахунків економічних збитків від забруднення довкілля.

Цікавою і корисною для широкого кола студентів та викладачів буде й **третя** частина — додатки, в яких наведена найновіша інформація щодо екологічних завдань і міжнародної стратегії людства у XXI сторіччі, законодавчо-нормативні документи та інформація про сучасний екологічний стан України.

Посібник розраховано на студентів усіх вищих навчальних закладів України, де вивчається екологія. Він стане в нагоді спеціалістам-екологам, працівникам природоохоронних установ, представникам "зелених" організацій, учням старших класів, які вивчають екологію.

ISBN 966-7035-42-5

ББК 28.081 я 7

© Г.О.Білявський, Л.І.Бутченко, 2004
© Видавництво "Лібра",
оригінал-макет, 2004

Зміст

Від наукового редактора 5

Вступ 7

Частина І. Теоретичні аспекти сучасної екології 9

Розділ 1. Сучасна екологія: предмет, методи, завдання, структура 10

1.1. Основні термінологічні визначення, поняття, положення. 1.2. Найголовніші екологічні закони, правила і принципи. 1.3. Методологічні особливості сучасної екології

Розділ 2. Біосфера 34

2.1. Становлення біосфери та її характеристика. 2.2. Жива речовина. 2.3. Екологічні чинники середовища. 2.4. Типи взаємовідносин між організмами. 2.5. Популяції. 2.6. Екосистеми

Розділ 3. Техносфера 60

3.1. Техногенний вплив на атмосферу. 3.2. Техногенний вплив на гідросферу. 3.3. Проблеми відходів людської діяльності

Розділ 4. Агросфера 111

4.1. Агроекосистеми. 4.2. Ґрунт. 4.3. Розподіл ґрунтів у світі. 4.4. Причини втрат ґрунтів. 4.5. Основні забрудники ґрунтів. 4.6. Рекультивація земель. 4.7. Системи землеробства

Розділ 5. Ноосфера. Від зародження концепції до стратегії гармонійного розвитку 132

5.1. Витоки ноосферної ідеї. 5.2. Сучасні підходи до ідеї ноосфери. 5.3. Екологічний виклик і сталий розвиток. 5.4. Індикатори гармонійного розвитку. 5.5. Проблеми гармонійного розвитку України

Розділ 6. Еколого-економічні основи природокористування 163

6.1. Основні завдання економіки природокористування. 6.2. Правові основи природокористування. 6.3. Основи екологічного управління і менеджменту

Частина ІІ. Практикум 179

Вступ 180

Розділ 1. Сучасні методи дослідження стану довкілля 182

1.1. Хімічні методи. 1.2. Фізико-хімічні методи. 1.3. Фізичні методи. 1.4. Біохімічні методи

Розділ 2. Визначення екологічного стану повітря 190

2.1. Оцінка запиленості повітря. 2.2. Оцінка запиленості листя дерев та токсичності пилу. 2.3. Визначення вмісту вуглекислого газу (оксиду карбону (IV)). 2.4. Оцінка забрудненості повітря за допомогою лишайників (ліхеноіндикація). 2.5. Оцінка впливу автотранспорту на стан повітря

Розділ 3. Визначення екологічного стану водних об'єктів 201

3.1. Особливості відбору проб на аналіз. 3.2. Консервування та підготовка проб води до аналізу. 3.3. Методи аналізу води. 3.4. Основні екологічні характеристики водойм. 3.5. Органолептичні властивості води. 3.6. Завислі і розчинені речовини. 3.7. Перманганатна і дихроматна окиснюваність. 3.8. Біохімічне споживання кисню. 3.9. Оксид карбону (IV). 3.10. Твердість води. 3.11. Розчинений кисень (метод Вінклера). 3.12. Кислотність і лужність вод. 3.13. Сполуки нітрогену (аміак, нітрити, нітрати). 3.14. Фосфати. 3.15. Хлориди (метод Мора). 3.16. Сульфати. 3.17. Сульфіди.

3.18. Флуориди. 3.19. Ферум. 3.20. Хром. 3.21. Алюміній. 3.22. Меркурій. 3.23. Активний хлор. 3.24. Нафтопродукти. 3.25. Загальна токсичність водного середовища. 3.26. Дослідження антропогенної евтрофікації водойм

4. Визначення екологічного стану ґрунтів 247

4.1. Гідроскопічна вода. 4.2. Органічні речовини. 4.3. Гідролітична кислотність ґрунту. 4.4. Обмінна кислотність. 4.5. Хімічний склад засолених ґрунтів. 4.6. Нітрати. 4.7. Катіонообмінна здатність ґрунтів. 4.8. Рухливий алюміній. 4.9. Купрум. 4.10. Гідрогенсульфур у ґрунтах, забруднених нафтою і нафтопродуктами. 4.11. Залишкова токсичність ґрунту. 4.12. Антропогенні порушення ґрунтів. 4.13. Розпізнавання мінеральних добрив як можливих забруднювачів ґрунтів і поверхневих природних водойм

5. Екологічні дослідження живої природи 276

Рослини

5.1. Інтенсивність фотосинтезу у рослин (за вмістом карбону). 5.2. Витрати органічної речовини рослинами в процесі дихання. 5.3. Гігроскопічна вода. 5.4. "Сира" зола. 5.5. "Мокре" озолення. 5.6. Вміст хлорофілу в листках рослин — біоіндикаційна ознака середовища. 5.7. Каротин. 5.8. Розділення рослинних пігментів методом тонкошарової хроматографії. 5.9. Нітрати в овочевих культурах. 5.10. Плюмбум. 5.11. Аутекологічні дослідження рослин. 5.12. Порівняльний аналіз анатомічних особливостей рослин із різних екотопів. 5.13. Екологічні особливості лишайників і мохів. 5.14. Визначення стану дерев на вулицях міста. 5.15. Визначення стійкості рослин до засолення ґрунтів. 5.16. Визначення фітотоксичності важких металів

Тварини

5.17. Життєві форми тварин. 5.18. Аутекологічні дослідження тварин. 5.19. Екологічні функції дощових черв'яків. 5.20. Оцінка якості бджолиного меду. Бджоли як біоіндикатор стану довкілля

Мікроорганізми

5.21. Екологічні функції мікроорганізмів у ґрунті. 5.22. Мікроорганізми і фітонциди рослин. 5.23. Біотестування залишкової токсичності рослин

6. Визначення якості довкілля 309

6.1. Екологічний стан ділянки території. 6.2. Оцінка рівня радіаційного фону та забрудненості води, ґрунту, харчових продуктів. 6.3. Складання геоекологічних карт. 6.4. Оцінка побутових і промислових відходів. 6.5. Визначення ртуті у змивах зі стін приміщень і обладнання

7. Розрахунки економічних збитків від забруднення довкілля 321

Обчислення розміру збору за забруднення природного середовища та компенсації за шкоду, заподіяну знищенням тварин і рослин

7.1. Розрахунок обсягу позалімітного викиду забруднюючих речовин в атмосферне повітря. 7.2. Розрахунок суми збору за викиди в атмосферне повітря забруднюючих речовин стаціонарними джерелами. 7.3. Розрахунок суми збору за викиди в атмосферне повітря забруднюючих речовин пересувними джерелами. 7.4. Розрахунок суми збору за скиди забруднюючих речовин. 7.5. Розрахунок суми збору за розміщення відходів

Додатки 332

Приклади контрольних тестових завдань 359

Список основної рекомендованої літератури 365

Список допоміжної рекомендованої літератури 366

Від наукового редактора

Початок XXI століття характеризується тим, що ідея захисту довкілля у всій світовій культурі трансформується у панівну суспільну парадигму*. Причиною цього стала тривога за майбутнє людства. XX ст. закінчилося формуванням і розростанням глобальної кризи цивілізації в усіх напрямах — соціальному, духовному, демографічному, економічному, екологічному. Про це свідчать жорстокі сутички людини з навколишнім середовищем в усіх регіонах земної кулі. Науково-технічний прогрес, швидкість якого на кілька порядків перевищує швидкість створення біосферою нових видів організмів, які були б адаптовані до змінених людиною умов існування, породжує нові джерела збурення, тиску на біосферу, її перезабруднення, знищення природних ресурсів, катастрофічне зменшення біорозмаїття. А економіка, що керується силами і законами ринку, активно втілює в життя все потужніші технології, які дедалі більше руйнують довкілля. Світовий валовий продукт людства наприкінці XX ст. збільшився порівняно з 1900 роком у 330 разів, досягнувши 20 трильйонів доларів! Ресурсоспоживання людства за останні 100 років зросло майже в 100 разів. Результатом активного розвитку економіки стали непередбачувано швидкі загрозливі зміни клімату, а повітря, ґрунти і поверхневі води перестали бути відновними ресурсами.

Цивілізація виникла всередині біосфери, є її частиною і без біосфери існувати не зможе. Незважаючи на це, люди продовжують вести спосіб життя, що суперечить екологічним законам, сподіваючись на свою технічну могутність та наукові досягнення, які допоможуть вижити.

Провідні вчені-екологи світу, спираючись на результати глибокого аналізу глобальних екологічних проблем, стверджують, що ніякі науково-технічні новації, економічні та соціальні реформи самі по собі не зможуть забезпечити поступальний екологічно збалансований розвиток людства. Для успішного розв'язання складних екологічних проблем потрібен перехід до нової ідеології життя, до екологізації економіки й виробництва, до формування постіндустріальної екологічно зорієнтованої цивілізації.

Особливістю сьогодення є те, що в екологічній загрозі людству нині домінує глобальний фактор. Тому думка, що можна створити необхідні екологічні умови для існування окремих груп людей чи окремих країн, є повною ілюзією. Трансграничні забруднення та локальне поліпшення стану довкілля за рахунок руйнування екосистем і безконтрольного виснаження природних ресурсів інших регіонів лише призводять до подальшої деградації глобальної екосистеми та посилення небезпеки для всієї планети.

Подолання численних локальних, регіональних і глобальних кризових екологічних ситуацій, збереження й відновлення екосистем, природних ресурсів, генофонду націй потребують не тільки нової ідеології життя, а й нової системи знань, побудованої на єдиній теоретичній основі, що охоплює низку питань, які виходять за межі біологічної екології, стосуючись проблем природокористування, охорони довкілля, здоров'я людей, розвитку й використання найсучасніших фізичних, хімічних і геологічних методів екологічного моніторингу, моделювання екологічних процесів, еко-

---

* Парадигма (грец. paradeigma — зразок, приклад) — загальноприйнята теорія, яка охоплює різні сторони наукової і громадської діяльності.

логічного аудиту, підприємництва та екологічного управління. За останні кілька десятиліть екологія з окремого розділу біології перетворилася на комплекс фундаментальних і прикладних дисциплін, що переживає нині стадію активного формування. Десять років тому видатний російський біолог М.Реймерс, який зробив неоціненний внесок у розробку теоретичних основ сучасної екології, автор всесвітньо відомих праць з екології, блискучий класифікатор, гуманіст і палкий пропагандист екологічного імперативу (вимога підкорення законам Природи), назвав сучасну екологію "великою", "всезагальною", "мегаекологією". Вона охоплює цілу низку екологічних напрямів, умовно об'єднаних у такі структурні блоки, як біоекологія, геоекологія, прикладна екологія, соціальна екологія, космічна екологія.

Автори посібника одними з перших в Україні, ставши наприкінці 1980-х років на позиції М.Реймерса та його послідовників, із початку 1990-х років почали розробляти власну класифікацію сучасних екологічних знань на нових засадах. У своїх статтях, підручниках і посібниках (1993—2001 рр.) вони аргументовано й усебічно висвітлювали сутність, структуру і значення сучасної екології як нової філософії життя, комплексної науки, що покликана формувати екологічний світогляд та екологічну культуру.

Нині екологічний імператив має стати керівним у практиці підготовки спеціалістів будь-якого профілю діяльності. Мислення фахівців найрізноманітніших професій має стати екологічним.

Саме формуванню такого екологічного мислення та екологічної свідомості у молоді широкого спектра професій сприятиме пропонований оригінальний посібник з екології, який буде корисним не тільки для студентів вищих та спеціальних середніх навчальних закладів, а й для викладачів, фахівців-екологів та працівників природоохоронних установ.

У пропонованому посібнику, в його першій, теоретичній частині, спираючись на найновіші факти і результати особистих, вітчизняних і закордонних досліджень із різних галузей екології, автори й надалі чітко, переконливо й аргументовано висвітлюють структуру, сутність, громадянське значення і завдання екології XXI ст., наводять важливі і цікаві думки стосовно цього провідних учених-екологів світу, торкаються найактуальніших практичних екологічних проблем. Методологічною основою і вихідною, базисною ідеєю теоретичних положень посібника є ідея збалансованого, екологічно безпечного (гармонійного) розвитку.

Значною цінністю посібника є те, що в ньому вперше в компактній, сконцентрованій формі подано великий обсяг навчальної екологічної інформації, потрібної студентам як для підготовки з теоретичних питань екології, так і для виконання лабораторних та практичних занять, комплексних контрольних і тестових завдань. Вперше серед українських наукових і навчальних джерел автори наводять важливі критичні міркування щодо концепцій збалансованого розвитку суспільства, в основі яких лежать інтереси лише високорозвинених країн, і пропонують шляхи подолання екологічної кризи, найбільш прийнятні для України. Як вагомий позитивний показник слід зазначити також і те, що вперше ***посібник зроблено комплексним, коли для зручності студентів в одній книжці наводяться і найнеобхідніші теоретичні, лекційні матеріали, і описи різних типів практичних занять з екології*** *(їх близько 60), а також контрольно-тестові завдання та необхідні довідкові нормативно-практичні матеріали.*

Доктор економічних наук, професор
Василь Шевчук

"Почалася нова епоха в історії — епоха розумної взаємодії людини з Природою, де Природа виступає як фундамент життя, а не як сукупність ресурсів, з якої можна черпати довічно..."

В.Данилов-Данильян, К.Лосєв

Вступ

У третє тисячоліття людина має увійти з новою філософією життя, згідно з якою вона є часткою єдиної людської сім'ї, планетарного братства з високою екологічною культурою, в основі якої лежить знання і дотримання законів розвитку біосфери. Ми маємо усвідомити, що цивілізація виникла в біосфері, є її частиною й ізольовано існувати не зможе. Подальший розвиток можливий лише як результат етико-культурного оновлення людства, формування нової моралі й системи цінностей. Необхідні радикальні зрушення у ставленні людини до природи і до захисту своїх нащадків від наслідків власної діяльності. Екологічна культура передбачає розуміння законів розвитку і стійкості біосфери, знання законів і принципів біотичної регуляції станом довкілля, підтримання стійкості навколишнього природного середовища природними біологічними угрупованнями біосфери. Вона передбачає реалізацію екологічного імперативу, який визначає необхідність розв'язання таких основних проблем: збереження вцілілих і відновлення до рівня природної продуктивності низки здеформованих екосистем, раціоналізацію споживання, екологізацію виробництва, стабілізацію чисельності населення. Головним чинником, який має допомогти розв'язанню зазначених проблем, має стати конверсія свідомості людей, її екологізація, формування екологічного мислення.

Екологічна культура покликана протистояти віковому імперативу підкорення природи, щоб виправити згубний перебіг історії цивілізації і зберегти біосферу для майбутніх поколінь.

Можливість виживання людства залежить від того, як воно відновить природну біоту на більшій частині території планети. Чисельність цієї біоти має бути достатньою для збереження її здатності до регуляції стану довкілля в межах усієї земної кулі. Найголовніше завдання людства — не зменшення забруднень довкілля, а збереження природної біоти планети як на суші, так і в межах Світового океану, збереження й відтворення біорозмаїття.

Значно поширена в усьому світі після екологічної конференції в Ріо-де-Жанейро (1992) концепція сталого розвитку (Sustainable development), як засвідчує аналіз провідних учених світу (В.Данилов-Данильян, Г.Дейлі, Ю.Арський, В.Горшков, С.Шліхтер, М.Моісєєв, Т.Акимова і В.Хаскін та ін.), не може допомогти людству вирішити глобальну екологічну проблему. Її нині не можна розглядати як наукову базу сталого розвитку. Причина в тому, що, по-перше, більшість учасників конференції, які розробляли концепцію "сталого розвитку", не мали для цього достатньої наукової бази, відповідних аналітичних даних і, по-друге, враховували інтереси переважно високорозвинених країн.

Поширені останнім часом ***ідеї коеволюції*** людини і Природи (М.Моісєєв, 1996—1998) та ***неотехнооптимізму*** (технологічні оптимісти Заходу, серед них — Е.Вайцзеккер, 1997) також остаточно розв'язати проблему не спроможні. Значною мірою ці ідеї можуть бути використані як при формуванні етичних норм сталого розвитку (концепція коеволюції), так і для сповільнення розвитку екологічної кризи (пропозиції технооптимістів).

Вважають, що єдиною науковою базою сталого розвитку нині може бути концепція (теорія) біотичної регуляції довкілля (В.Данилов-Данильян, 2000). Саме цієї точки зору дотримуються автори посібника і саме з таких позицій розглядають весь комплекс теоретичних і практичних екологічних проблем, які необхідно дослідити й розв'язати. Автори впевнені, що нині конче потрібно якнайширшим фронтом саме з позиції бачення екології як нової філософії життя вести просвітницько-виховну і освітянську екологічну підготовку не лише молоді, а й старшого покоління, особливо представників керівної ланки, щоб усі глибоко усвідомили необхідність узгоджувати свої потреби з можливостями Природи, могли відмовитися від надлишків і культу речей. Нині всі люди мають знати будову Землі, біосфери, усвідомлювати місце і роль людини в довкіллі, мати уявлення про численні й складні взаємозв'язки в системі "техносфера — біосфера", зв'язки між екологією і економікою, добробутом людей і станом довкілля. Такі фундаментальні знання про середовище нашого життя може дати сучасна екологія — система наук про Землю, її оточення та взаємозв'язки між живою і неживою природою, наука про умови виживання на нашій планеті.

Найголовніша інформація щодо згаданих вище сучасних глобальних і регіональних екологічних проблем, сутності і завдань екології XXI ст., особливостей сучасної екологічної ситуації в Україні, концепцій збалансованого розвитку та можливих шляхів подолання екологічної кризи викладена ***в першій частині посібника (теоретичні аспекти).***

У частині II (екологічний практикум) описано практичні завдання, що стосуються визначення якості атмосферного повітря, природних і стічних вод, ґрунтів, загальної екологічної якості довкілля, екологічного стану рослин; визначення економічних збитків від забруднень довкілля.

У додатках наведено корисні табличні матеріали еколого-нормативного характеру, загальнодовідкова екологічна інформація, необхідна для проведення лабораторних і практичних занять, приклади тестових завдань.

Автори будуть вдячні за всі критичні зауваження, пропозиції та рекомендації щодо поліпшення якості посібника.

Частина I

ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ СУЧАСНОЇ ЕКОЛОГІЇ

Розділ 1. СУЧАСНА ЕКОЛОГІЯ: ПРЕДМЕТ, МЕТОДИ, ЗАВДАННЯ, СТРУКТУРА

Розділ 2. БІОСФЕРА

Розділ 3. ТЕХНОСФЕРА

Розділ 4. АГРОСФЕРА

Розділ 5. НООСФЕРА. Від зародження концепції до стратегії гармонійного розвитку

Розділ 6. ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНІ ОСНОВИ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

Розділ 1

СУЧАСНА ЕКОЛОГІЯ: ПРЕДМЕТ, МЕТОДИ, ЗАВДАННЯ, СТРУКТУРА

1.1. Основні термінологічні визначення, поняття, положення

Нині існує багато визначень екології. Це пояснюється не лише стадією її активного формування, а й тим, що екологічні проблеми в житті людства вийшли на перший план і їх розв'язанням почали займатися вчені практично всіх наукових напрямів — біології, геології, географії, фізики, хімії, математики, соціології, економіки.

Вперше термін "екологія" (грец. ойкос — місце проживання, логос — учення) ввів у науковий обіг видатний німецький біолог, природознавець, послідовник Ч.Дарвіна Е.Геккель (1866).

Його визначення: ***"Екологія — це пізнання економіки природи, одночасне дослідження всіх взаємовідносин живого з органічними і неорганічними компонентами середовища".***

З часів Е.Геккеля поняття "екологія" доповнювалося, змінювалося, його значення то розширювалося, то звужувалося і до середини XX ст. екологія здобула статус науки про організацію і функціонування надорганізменних біологічних систем усіх рівнів. Проте в останні десятиріччя, коли під впливом агресивно-технократичної природопідкорювальної діяльності людини почала активно розвиватися глобальна екологічна криза й існування цивілізації опинилося під загрозою, екологія значно розширила коло своїх наукових і практичних завдань. Завдяки процесу проникнення проблем і ідей екології в інші науки і сфери діяльності людини широкого розвитку набуло явище екологізації, завданням якого стало відвернення глобальної екологічної кризи завдяки об'єднанню зусиль учених і практиків усіх галузей діяльності. Екологія перетворилася на комплекс фундаментальних і прикладних дисциплін, головним завданням яких стало збереження життя і цивілізації на планеті, на систему наук про Землю та її оточення, в центрі уваги якої залишаються живі організми та людина. На початку XXI ст. поняття "екологія" досягло найвищого політичного рівня і ***екологічний імператив*** став визначати розвиток матеріального виробництва та духовної культури.

У науковій і навчальній літературі останнього десятиліття можна знайти понад десяток визначень екології як науки, як навчальної дисципліни, але далеко не всі з них відображають її сучасну сутність і значення.

Визначення екології сучасними провідними вченими з новим баченням її ролі і завдань:

М.Реймерс (1992): "Современная экология — новый раздел знания, наука о выживании в окружающей среде, фундаментальная основа для природоохранного и средоохранного знания... Для экологии характерен широкий, системный межотраслевой взгляд, она из строго биологической науки превратилась в значительный цикл знания, вобрав в себя разделы географии, геологии, химии, физики, социологии, теории культуры, экономики, даже теологии..."

Т.Акимова, В.Хаскін (1998): "Экология — междисциплинарная область знания об устройстве и функционировании многоуровневых систем в природе и обществе в их взаимосвязи. Основные разделы современной экологии: общая, биоэкология, экология человека, социальная, прикладная экология".

В.Корміліцин та ін. (1997): "Современная экология изучает взаимосвязи между растительными и животными сообществами и окружающей средой, а также взаимодействия человека и биосферы, общественного производства с окружающей его природной средой и другие проблемы".

Н.Воронков (1999): "Современную экологию можно рассматривать как науку, занимающуюся изучением взаимоотношений организмов, в том числе и человека, со средой, определением масштабов и допустимых пределов воздействия человеческого общества на среду, возможностей уменьшения этих воздействий или их полной нейтрализации. В стратегическом плане — это наука о выживании человечества и выходе из экологического кризиса, который приобрел глобальные масштабы".

Ю.Одум (1975, 1980, 1986): 1. "Экология — биология окружающей среды".

2. "Экология — междисциплинарная область знания об устройстве и функционировании многоуровневых систем в природе и обществе в их взаимосвязи".

3. "Сегодня экология сформировалась в принципиально новую интегральную дисциплину, которая связывает физические и биологические явления и создает мост между естественными и общественными науками".

О.Яблоков (1990): "Экология в широком понимании объединяет в себе десятки научных направлений, хотя, к сожалению, в наше время еще не имеется так необходимых экологов-профессионалов широкого профиля. Эта ситуация крайне опасна: она ведет к серьезным экономическим потерям и социальному ущербу. Экологи высшей квалификации все еще разъединены".

М.Лємєшев (1998): "Для преодоления кризиса и успешного решения возникших экологических проблем необходим переход к новой идеологии, к экологизации экономики и производства... Нужна новая система знаний, построенная на единой теоретической основе и выходящая за традиционные рамки биологической экологии".

К.Петров (1997): "Экология — не только система наук, а нечто необозримо большее — это мировоззрение. Ученые всех специальностей должны сделать вклад в разумение нашего ойкоса".

В.Данилов-Данильян (1998): "Экология — более чем научная дисциплина, она представляет собой проблемно ориентированную систему научных знаний. Экология очень молода и пока составляющие ее блоки не всегда безупречно сплочены... Ориентация на экономику — одна из важнейших задач как для теоретической, так и для прикладной экологии, поскольку экологизация производства и потребления, всей экономической системы — обязательное условие успешного решения экологических проблем, предотвращения экологической катастрофы".

М.Моісєєв (1995): "Перед человечеством во весь рост поднимается проблема выживания — центральная проблема современной науки. Дисциплина, которая ее изучает, и носит название экология".

К.Ситник (1997): "Экология — недавно одна из биологических наук... стала междисциплинарной наукой, проблемы которой приобрели глобальный характер..."

Нижче наведемо ще кілька визначень фахівців, які дотримуються дещо іншої точки зору на сутність і завдання сучасної екології:

Е.Гірусов та ін. (1998): "Социальная экология — область знания, которая изучает человеческое общество в аспекте его совместимости с особенностями природной среды. Прикладные области социальной экологии: экология человека (медицинские аспекты),

инженерная экология, урбоэкология, экология промышленной деятельности, экология сельского хозяйства, экология транспорта, геоэкология, химическая экология, экология культуры, проблемы экологического образования, рекреационная экология и т.д.".

М.Назарук (1999): "Екологія належить до молодих біологічних наук, коло зацікавлень яких лежить у вивченні біологічних явищ, пов'язаних із життям живих організмів".

В.Некос (1999): "Учебная литература по экологии отчетливо разделяется на две группы. Первая создавалась специалистами в области классической экологии, ... вторая специалистами в области техники, энергетики, экономики и т.п., лишь недавно — обратившимися к экологической проблематике. Выделяется и группа исследователей, которые занимают позицию между "крайне левыми" и "крайне правыми", осознавая, что экологии в современном понимании нет и быть не может без классической экологии... Не вызывает сомнения необходимость разделения традиционной и современной экологии, которая все еще представляет собой синтетическую дисциплину, соединяющую естественные, общественно-политические, технические и другие науки — вплоть до теологии... Современную экологию целесообразно было бы именовать "неоэкологией".

В.Крисаченко (1998): "Сучасна екологія характеризується певним спектром напрямів, що розрізняються своєю загальністю та спрямованістю, а також множиною образів самої науки, які формуються певними філософіями науки (найвищими рівнями організації екологічного знання, на яких конструюється образ екології). Тому вона є наукою полісимфонічною та мультиспрямованою... Найкраще її визначити як ***науку про взаємини біосистем з природним довкіллям***, котре визначає просторові та часові параметри їх існування та розвитку... Сучасна екологія являє собою складний комплекс взаємопов'язаних наукових дисциплін та напрямів, виділення котрих, як і структурування екології взагалі, визначається окремими феноменологічними, субстанційними, гносеологічними, прагматичними та іншими чинниками чи їх комбінацією... ***Екологія є одним із найважливіших напрямів теоретичного освоєння дійсності і внаслідок цього виконує певну гносеологічну функцію в суспільстві...*** Повнота цивілізованого поступу, очевидно, значною мірою визначатиметься тим, наскільки ефективно та повно будуть реалізовані всі соціальні функції екології (її різноманітне значення для сучасного суспільства): гносеологічна, освітня, інформативна, світоглядна, креативно-мистецька, сакральна, практично-регулятивна, політична, технологічна, правова, валеологічна, естетична, етична".

Існують і чисто біологічні визначення:

Екологія — дисципліна, що вивчає загальні закони функціонування екосистем різного ієрархічного рівня.

Екологія — наука, що вивчає людину як вид і суспільство в екосфері планети, її зв'язки з екологічними системами і засоби впливу на них.

Екологія — це біологія Землі.

Екологія — одна з біологічних наук, що вивчає живі системи у їх взаємозв'язках із довкіллям.

Як випливає з визначень, переважна більшість найвідоміших учених-екологів дотримується нового бачення сутності і завдань сучасної екології. В Росії нині серед провідних фахівців переважає розширене тлумачення поняття екології (комплексна міждисциплінарна фундаментальна наука, нова консолідована наукова система), як і серед більшості українських фахівців, що займаються проблемами прикладної екології (геоекологи, техноекологи, агроекологи, урбоекологи). Фахівців, які дотримуються старого, традиційного поняття екології як частини біології, в Україні стає дедалі менше.

У розвинених країнах (США, Канада, Західна Європа), як показує аналіз найвідоміших підручників з екології за останні 15 років, термін "екологія" вживається тільки як традиційне суто біологічне поняття ("біоекологія"). Там, де йдеться про широке поняття сучасної екології, її прикладні аспекти, західні автори вживають терміни: "наука про довкілля", "вплив людини на екосистеми", "життя в навколишньому середовищі", "система наук про довкілля", "діяльність для стійкого розвитку", "людина і екосистеми Землі", "людське середовище і природні системи", "інвайронментологія", "інженерна екологія" та ін.

З погляду авторів, **сучасна екологія XXI ст. — це одна з головних фундаментальних комплексних наук** про виживання на планеті Земля, завданням якої є пізнання законів розвитку і функціонування біосфери як цілісної системи під впливом природної і, головне, антропогенної діяльності, а також про визначення шляхів і засобів еколого-економічно збалансованого співіснування техносфери і біосфери. Стисліше: ***екологія XXI ст. — комплекс наук про будову, функціонування, взаємозв'язки багатокомпонентних і багаторівневих систем у Природі й Суспільстві та засоби кореляції взаємного впливу техносфери і біосфери з метою збереження людства і біосфери.***

Основний об'єкт досліджень — екосистеми планети всіх рівнів та їх елементи.

Основний предмет досліджень — взаємозв'язки між живими організмами, їх групами різних рангів, живими і неживими компонентами екосистем, а також особливості впливу природних і антропогенних чинників на функціонування екосистем та біосфери в цілому.

Мета досліджень — визначення оптимальних шляхів координації гармонійного еколого-економічно збалансованого співіснування техносфери й біосфери, принципів і критеріїв ефективної локальної, регіональної та глобальної екополітики.

Основні завдання сучасної екології: вивчення загального стану сучасної біосфери (біологічних систем усіх рівнів), умов його формування, причин і обсягів змін під впливом різних природних і антропогенних чинників; прогнозування динаміки стану екосистем і біосфери в цілому в часі й просторі; розроблення шляхів гармонізації взаємовідносин людського суспільства і Природи з урахуванням основних екологічних законів, збереження здатності біосфери до саморегуляції і самовідновлення.

Центральним завданням сучасної екології, як зазначалося вище, залишається дослідження живої компоненти біосфери, пізнання всіх процесів функціонування життя.

Найважливіші біоекологічні принципи:

- адаптація (здатність живих організмів пристосовуватися й існувати в певних умовах навколишнього середовища завдяки комплексу морфологічних, фізіологічних та популяційних особливостей);
- еволюція (полягає в незворотних змінах живих організмів);
- зворотні зв'язки (біосистеми самопідтримуються та саморегулюються завдяки наявності в них різноманітних зворотних зв'язків);
- біологічна ієрархія (полягає в наявності у біосистемах різних рангів та можливостей їхнього впорядкування в ієрархічні структури, де кожний вищий елемент ієрархії базується на нижчих);
- дискретність (жива матерія завжди існує в розчленованому на дискретні елементи вигляді — особини рослин і тварин);
- найпростіша конструкція (оптимальність), коли з усіх можливих конструкцій біосистем у природі реалізується найпростіший за організацією, що свідчить про прагнення екосистем до мінімізації витрат речовини та енергії;
- адекватність (біологічні системи відповідають за своєю конструкцією та функціями тому абіотичному середовищу, в якому вони існують).

Структура сучасної екології зображена на ***рис. 1.1.*** Близько 90 **напрямів і піднапрямів** (розділів і підрозділів) сучасної екології, які сформувалися впродовж останніх десятиліть в усіх галузях людської діяльності, де відбуваються процеси екологізації*, умовно об'єднані в чотири блоки — біоекологію, геоекологію, техноекологію та соціоекологію.

Деякі фахівці (Т.Акимова, В.Хаскін та ін.) серед інших підрозділів сучасної екології виокремлюють "загальну екологію" (більшість біологів ототожнюють біоекологію і загальну екологію) як таку, що об'єднує різні екологічні знання на ще й досі єдиному науковому фундаменті. Головною складовою загальної екології вважають теоретичну екологію, яка встановлює загальні закони функціонування екосистем. Цьому допомагають експериментальна та математична екологія (моделювання екологічних процесів, обробка інформації та кількісний аналіз), що входять до складу загальної екології.

Ми також дотримуємося думки, що загальну екологію слід відділити від низки прикладних екологічних наук як теоретичну, але з умовою, що основою її є біоекологія з усім колом сучасних проблем. Вона вивчає найбільш загальні закономірності взаємостосунків організмів і їх угруповань із середовищем у природних умовах.

Важливо зазначити, що кожен із напрямів екологічних наук має свою специфіку, своє коло вирішуваних екологічних питань, свої методи й масштаби досліджень, контролю та менеджменту, але завдання в усіх одне: визначити характер і обсяги забруднень довкілля, пов'язаних з конкретним видом діяльності людини, ступінь їх небезпечності, можливості нейтралізації, шляхи екологізації виробництва, підвищення ефективності охорони природи, економії та відтворення природних ресурсів. Як видно зі схеми, **різнопланові екологічні дослідження мають завершуватися узагальненням екологічної інформації, отриманої в усіх блоках, для розроблення і реалізації планів та програм раціонального природокористування на локальному, регіональному і глобальному рівнях, створення наукових засад економіки природокористування**, а також для формування регіональної і національної екологічної політики**, укладання міжнародних програм, угод, договорів у сфері природокористування, охорони довкілля та екологічної освіти, тобто **визначення тактики і стратегії еколого-безпечного розвитку людства, збереження біосфери і життя на Землі.**

Особливості окремих блоків сучасної екології коротко можно визначити так.

Агроекологія є одним із головних розділів прикладної екології. Це комплексна наукова дисципліна, об'єктом вивчення якої є агросфера планети, а предметом — взаємозв'язки людини з довкіллям у процесі сільськогосподарського виробництва, вплив сільського господарства на природні комплекси, взаємозв'язки між компонентами агроекосистем і специфіка колообігу в них речовин, енергії та інформації під впливом техногенних навантажень.

---

* Екологізація — процес неухильного і послідовного впровадження систем технологічних, управлінських та інших рішень, що дають змогу підвищувати ефективність використання природних ресурсів і умов з одночасним збереженням або поліпшенням природного середовища (або взагалі життя) на локальному, регіональному та глобальному рівнях. Екологізація науки, культури, всіх видів людської діяльності — найважливіша вимога сучасності, один з головних чинників гармонійного розвитку людства.

** Економіка природокористування — дисципліна, що розглядає економічні аспекти раціонального використання природних ресурсів і охорони довкілля; новий розділ науки економіки (такою ж мірою — екології), який вивчає методи і засоби найбільш ефективної взаємодії людини і природи з метою підтримання та відродження останньої, збереження динамічної рівноваги колообігу речовини та енергії в природі.

Агроекологія — ідеологічна основа раціонального, екологічно збалансованого виробництва екологічно чистої сільськогосподарської продукції.

Головна мета агроекології — забезпечення сталого виробництва якісної біологічної продукції, збереження і відтворення природно-ресурсної бази аграрного сектора, ефективна екологізація всіх галузей сільськогосподарського виробництва.

Агроекологія вивчає особливості екологічних процесів у агросфері. Об'єкт її досліджень — території розвитку сільського господарства, найдавнішої галузі діяльності людини.

Агроекологія — ідеологічна основа екологічно збалансованого функціонування агросфери в XXI ст.

Біоекологія займається формуванням уявлень про екологію як економіку природи на основі вивчення потоків речовини, енергії та інформації в життєдіяльності організмів, їх груп та біологічних систем. Вона є праматір'ю і головною складовою сучасної екології.

Біоекологія — основа всієї сучасної екології. Її головна частина — екологія природних біологічних систем (аутекологія, демекологія, синекологія, біогеоценологія). Друга складова — екологія таксономічних груп; третя — еволюційна екологія.

Геоекологія вивчає специфіку взаємовідносин організмів і середовища їх існування в різних географічних зонах, на суші і в океані, в тундрі, тайзі і тропіках, у горах і пустелях тощо; дає екологічну характеристику різних географічних регіонів, областей, районів, ландшафтів; розглядає екологічні наслідки ендо- і екзогенних геологічних процесів, видобутку корисних копалин; займається екологічним картографуванням (нині існує ще кілька визначень геоекології (В.Боков, І.Черваньов, І.Дедю, В.Некос), які суттєво близькі до вищезазначеного).

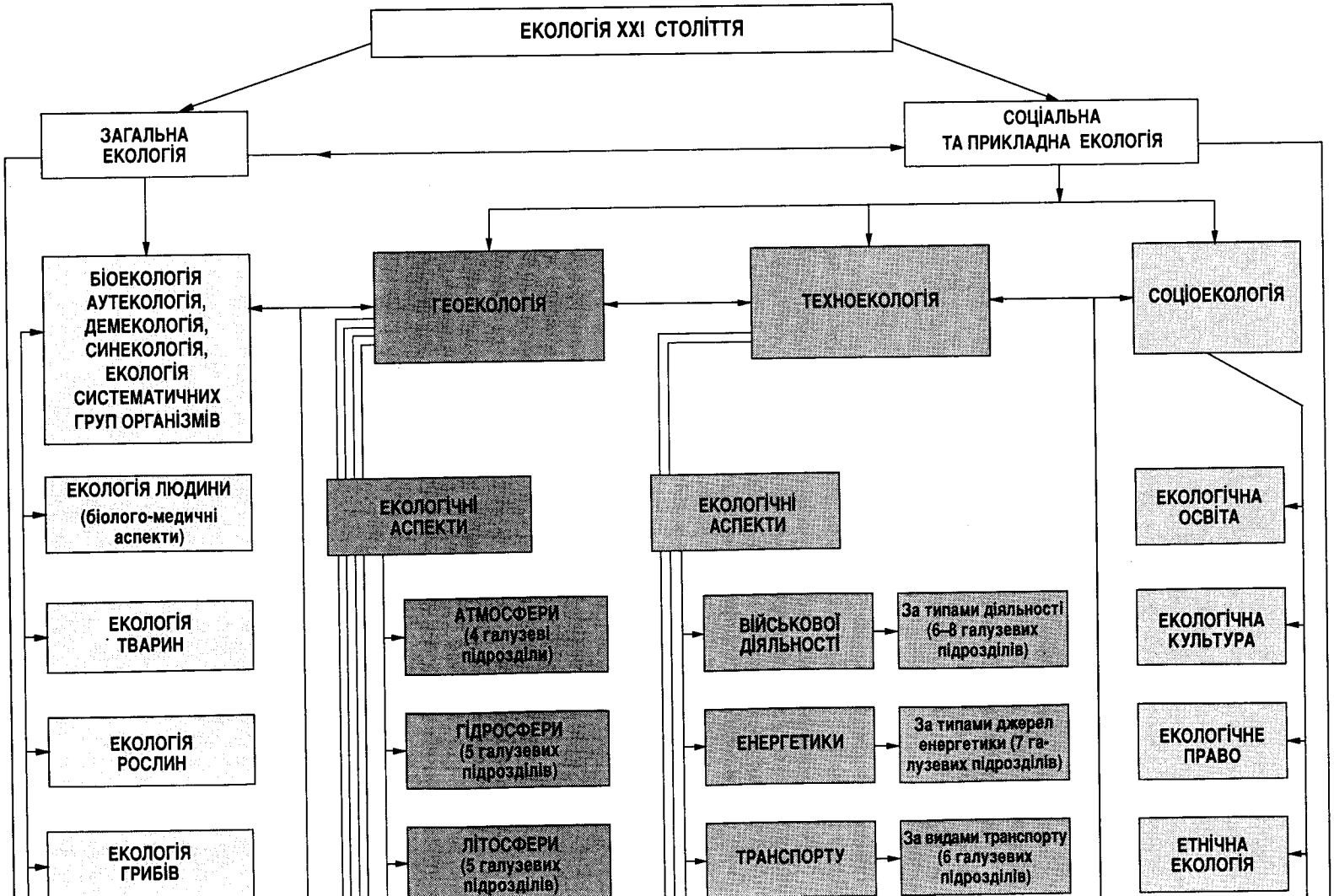
Екологія природних сфер досліджує екологічні процеси, що відбуваються на територіях, де вплив людини ще не відіграє вирішальної ролі у функціонуванні екосистем (заповідні території, позашельфові зони океанів і морів, пустелі, великі лісові масиви, гори, де антропогенні забруднення мінімальні або в межах допустимих для функціонування біоти норм).

Соціальна екологія — розділ сучасної екології, де вивчається специфічна роль людини в довкіллі не як біологічного виду, а як соціальної істоти, відмінності цієї ролі від ролі інших живих істот. Вона вивчає шляхи оптимізації взаємовідносин людського суспільства з природою. Тісно пов'язана з етнографією і соціологією.

Соціоекологія займається формуванням екологічної свідомості, екологічної культури за допомогою нових методів і підходів екологічної освіти та виховання, вивченням і формуванням законів про екологічне природокористування, визначенням принципів і критеріїв екологічного менеджменту, контролю й бізнесу, соціально-екологічним моніторингом, формуванням основ локальної, регіональної та глобальної екологічної політики.

Техноекологія — найбільший за обсягом блок прикладних екологічних напрямів (відповідно, дисциплін), пов'язаних із такими об'єктами людської діяльності, як енергетика, промисловість, транспорт, військова справа, сільське господарство, космос. Займається вивченням обсягів, механізмів і наслідків впливу на довкілля та здоров'я людини різних галузей і об'єктів діяльності, особливостей використання ними природних ресурсів; розробкою регламентацій природокористування і технічних засобів охорони природи; проблемами утилізації відходів виробництва та відтворення зруйнованих екосистем; екологізацією виробництв.

Серед прикладних екологічних напрямів найефективніше розвиваються техноекологічні. Нині у сфері техноекології потреби у фахівцях-екологах найгостріші (тут зайнято 60—70% загальної кількості працівників екологічних спеціалізацій).


ЕКОЛОГІЯ XXI СТОЛІТТЯ
ЗАГАЛЬНА ЕКОЛОГІЯ
СОЦІАЛЬНА ТА ПРИКЛАДНА ЕКОЛОГІЯ
БІОЕКОЛОГІЯ АУТЕКОЛОГІЯ, ДЕМЕКОЛОГІЯ, СИНЕКОЛОГІЯ, ЕКОЛОГІЯ СИСТЕМАТИЧНИХ ГРУП ОРГАНІЗМІВ
ГЕОЕКОЛОГІЯ
ТЕХНОЕКОЛОГІЯ
СОЦІОЕКОЛОГІЯ
ЕКОЛОГІЯ ЛЮДИНИ (біолого-медичні аспекти)
ЕКОЛОГІЯ ТВАРИН
ЕКОЛОГІЯ РОСЛИН
ЕКОЛОГІЯ ГРИБІВ
ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ
АТМОСФЕРИ (4 галузеві підрозділи)
ГІДРОСФЕРИ (5 галузевих підрозділів)
ЛІТОСФЕРИ (5 галузевих підрозділів)
ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ
ВІЙСЬКОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ
За типами діяльності (6–8 галузевих підрозділів)
ЕНЕРГЕТИКИ
За типами джерел енергетики (7 галузевих підрозділів)
ТРАНСПОРТУ
За видами транспорту (6 галузевих підрозділів)
ЕКОЛОГІЧНА ОСВІТА
ЕКОЛОГІЧНА КУЛЬТУРА
ЕКОЛОГІЧНЕ ПРАВО
ЕТНІЧНА ЕКОЛОГІЯ

НТБ ВНТУ
м.Вінниця

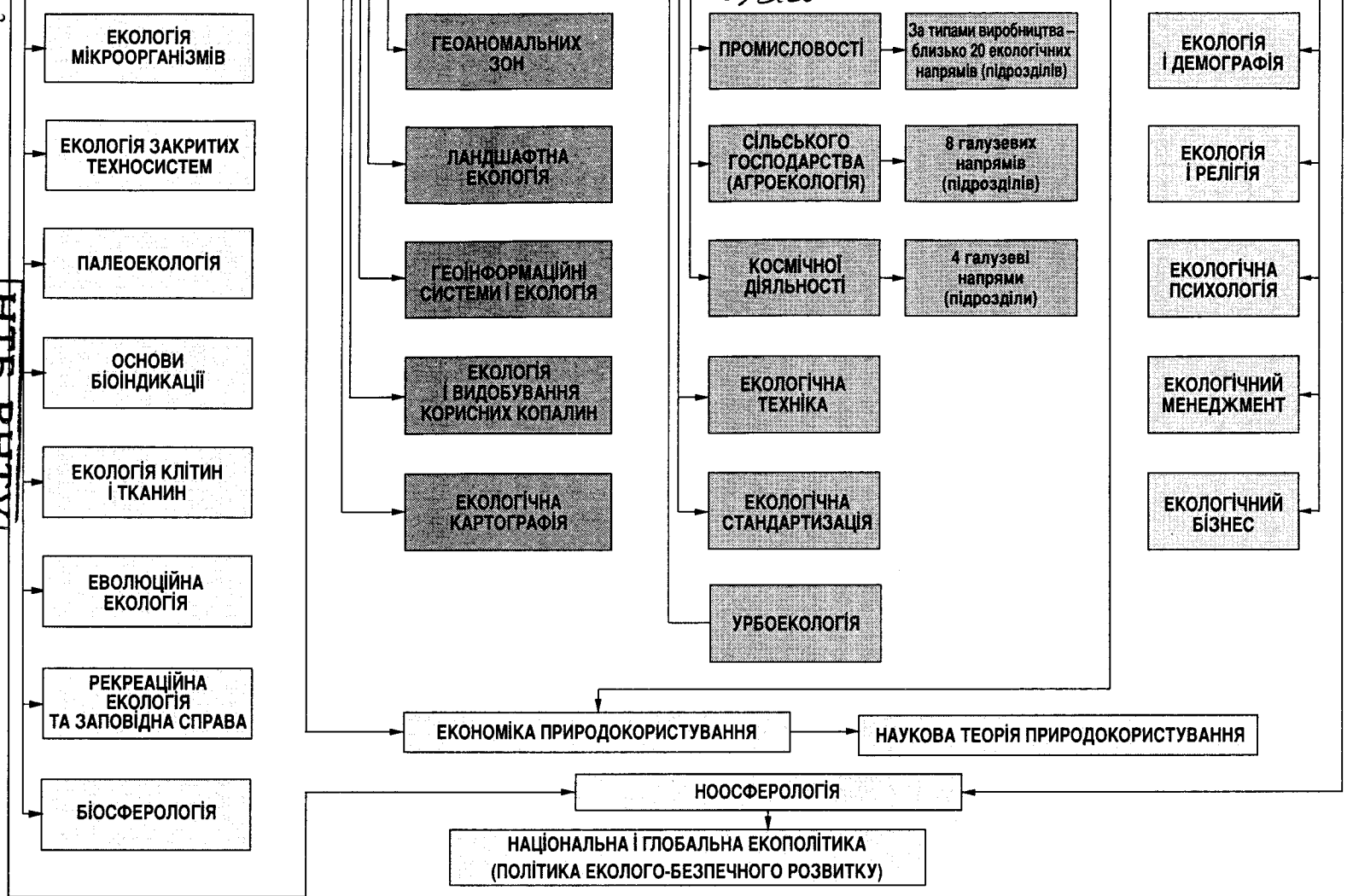


Рис. 1.1. Схема структуризації сучасної екології

За останнє десятиліття в техноекологічних розділах виокремилися галузеві підрозділи, кожен з яких має свої методи екологічних досліджень і контролю, свою специфіку впливу на довкілля, утилізації відходів та свої методи й шляхи екологізації:

- **військова діяльність** — до 8 підрозділів за типами діяльності (екологічні проблеми механізованих військ; екологія і ракетна справа; екологія і військово-морський флот; екологічні проблеми військово-промислового виробництва; екологічні наслідки воєн і військових навчань; екологічна освіта військових кадрів; екологічна безпека військової радіотехніки; військова техніка і стан довкілля та ін.);
- **енергетика** — екологія і ядерна енергетика; гідроенергетика і екологія; екологічні проблеми теплоенергетики; альтернативна енергетика — потужний чинник еколого-безпечного розвитку (вітрова, сонячна, біоенергетика, геотермальна та ін.);
- **промисловість** — близько 20 галузевих підрозділів (екологічні проблеми металургійної, нафтопереробної, хімічної, машинобудівної, будівельної, цементної, м'ясо-молочної, цукровиробничої, фармацевтичної, деревообробної та ін.);
- **транспорт** — 6 підрозділів (екологічні проблеми повітряного, наземного автомобільного, водного, залізничного, трубопровідного, підземного транспорту);
- **сільське господарство** (агроекологія) — понад 10 підрозділів (екологія культурних рослин; екологія сільськогосподарських тварин; екологічні проблеми землеробства; екотоксикологія агросфери; заповідна справа в агросфері; агроекологічний контроль: моніторинг, аудит, експертиза; агроекологічний менеджмент і бізнес; альтернативне землеробство; соціальна екологія агросфери; агроекологічна освіта і виховання; геолого-інформаційні системи (ГІС) в агропромисловому комплексі; екологічні проблеми електрифікації і механізації сільського господарства та ін.);
- **космічна діяльність** — 4 підрозділи (екологія ближнього і дальнього космосу, екологія космічних апаратів; екологія землеподібних космічних тіл).

Урбоекологія досліджує процеси урбанізованих і промислових територій, які формують екологічні умови та особливості функціонування екосистем під впливом енергетики, транспорту, будівництва, різних галузей промисловості. Це території найбільш техногенно навантажені.

Крім того, активно розвиваються такі напрями, як екологічна техніка, екологічна метрологія і стандартизація, економіка природокористування, екологічна політика.

Останнім часом виокремлюється і такий напрям як *"екологія людини"*. Об'єктом досліджень цієї науки є людина, але не як соціальний об'єкт, а як біологічний вид. Фактично, це — екологія біологічного виду Homo Sapiens. Але чітких, обґрунтованих розмежувань між соціальною екологією і екологією людини поки що не зроблено. Існують також певні неузгодженості і з такими науками, як валеологія, безпека життєдіяльності, медична географія та медична екологія (щодо цілей, завдань, методів досліджень, підходів). М.Реймерс (1990) визначив екологію людини як екологію людської популяції, яка включає як соціально-психологічні і етологічні стосунки людей між собою, так і ставлення людей до природи, тобто як комплексну еколого-соціально-економічну галузь знань.

На завершення огляду поняття про сучасну екологію необхідно зазначити, що нині ще не можна говорити про цю науку як про консолідовану наукову систему. Формування фундаментальних основ її тільки починається, існує низка надзвичай-

но складних проблем, розв'язання яких вимагає глибоких професійних знань, універсальної підготовки фахівців, їх взаєморозуміння і координації. Існує небезпека спрощень, профанації і помилкових вирішень як практичних, так і теоретичних екологічних питань.

У зв'язку з виникненням останнім часом (1995—2001 рр.) нових напрямів екологічної діяльності та, відповідно, нових термінів і понять, вважаємо за необхідне навести найголовніші з них, які не увійшли у відомі екологічні довідники М.Реймерса, К.Ситника та ін.

Алармізм — акцентування громадської думки на негативних і катастрофічних актуальних і потенційних наслідках науково-технічного прогресу. Може спричинити стресові ситуації та психічні захворювання.

Аудит екологічний — інструмент управління, який охоплює систематичну, документовану, періодичну та об'єктивну оцінку того, наскільки відповідає організаційна система управління охороною довкілля та функціонування устаткування того чи іншого виробництва екологічним цілям і вимогам. Основна мета екологічного аудиту — постійна перевірка екологічної безпеки виробництва та відповідності дій останнього дійсним екологічним нормативам і законодавству.

Бізнес екологічний — будь-яка комерційна діяльність, що поліпшує екологічні умови, сприяє охороні навколишнього середовища, екологізації виробництва. Бізнес екологічний становить більшу частку валового національного продукту, темпи його зростання в 1990-х роках становили близько 10% на рік.

Бізнес екологічний включає виробництво контрольно-вимірювальної апаратури, екологічно чистих харчових продуктів і промислових товарів; розроблення екологічних технологій і техніки; створення очисних пристроїв і споруд, використання вторинних ресурсів; відновлення природних ресурсів; екологізацію побуту, туризму тощо.

Біоіндикатори — (грец. біос — життя, індикатор — вказівник) — група особин (угруповань) рослин чи тварин, за наявністю і станом яких, а також за їхньою поведінкою визначають зміни в навколишньому середовищі.

Біотична регуляція навколишнього середовища — процеси перетворення довкілля живою речовиною біосфери за допомогою сонячної енергії через динамічно замкнені колообіги речовин, потоки яких на багато порядків перевищують потоки руйнування навколишнього середовища.

Гармонізація відносин суспільства і природи — сукупність антропогенних заходів, спрямованих на зменшення техногенного тиску на довкілля, збереження біосфери й відтворення екосистем.

Геопатогенна зона — територія, в межах якої люди хворіють, почувають себе дискомфортно і навіть помирають від негативного впливу геофізичних чинників, пов'язаних із специфічною будовою земної кори (наявність під тонким шаром осадових молодих порід потужних тектонічних розломів — провідників різного типу фізичних збурень, що завжди активізуються під час космічних змін фізичних полів у межах навколоземного простору; великих карстових пустот, значних родовищ металевих руд чи підземних вод тощо).

Гілобіологія — нова наука, яка займається вивченням руйнування матеріалів живими організмами (біологічного руйнування).

Матеріали, вироби та будівлі пошкоджують бактерії, гриби, лишайники, водорості, вищі рослини, найпростіші, кишковопорожнинні, черви, моховатки, молюски, членистоногі, голкошкірі, риби, птахи, ссавці — тобто весь живий світ планети.

Побутує думка, що живі організми неспроможні впоратися з новими синтетичними матеріалами і ксенобіотиками — речовинами, сторонніми для організмів. Проте це не так. Живі організми пошкоджують камінь, цеглу, бетон, папір, клей, фарби, нафту й нафтопродукти, пластмасу, гуму, кабелі, нафтопроводи, архівні документи.

Руйнівна дія живих організмів завдає значних економічних збитків: 20% втрат металів від корозії викликають залізобактерії, тіонові, нітрифікуючі та сульфатредукуючі бактерії; 77% збитків від корозії нафтового обладнання зумовлено діяльністю бактерій. Понад 25% пластмас руйнуються бактеріями з утворенням численних органічних сполук різної хімічної природи: кислот, ефірів, алкалоїдів тощо.

Господарська ємність біосфери — гранично допустимий антропогенний вплив на біосферу, перевищення якого веде до збурення її стану, з часом — до незворотних деградаційних процесів. Це, насамперед, граничний потік енергії, який людство має право споживати, використовуючи всі відомі джерела енергії, і який становить близько 1% загального потоку енергії в біосфері. Його перевищення призводить до деформації біохімічних колообігів, скорочення біорозмаїття, глобальних порушень навколишнього середовища.

Детеріорація — процес, протилежний меліорації, — погіршення, псування землі або інших природних ресурсів, об'єктів (розвиток пустель, солонців тощо).

Екологічна ліцензія — дозвіл, який видається державою (спеціальними її природоохоронними органами) природокористувачеві і в якому вказані види, обсяги, ліміти господарської діяльності та природних ресурсів, а також екологічні вимоги до їх використання з вказанням наслідків невиконання цих вимог. Екологічні ліцензії видаються також як дозвіл на викиди конкретного забрудника протягом певного проміжку часу. Ці права можуть продаватися державою підприємствам і одним підприємством іншому. Ціна екологічної ліцензії залежить від часу доби, сезону, ситуації в регіоні. Торгівля квотами на забруднення — це найгнучкіший з усіх відомих заходів економічного регулювання якості природного середовища.

Екологічний лізинг — підприємницька діяльність, пов'язана з довгостроковою орендою на конкретних контрактних фінансових умовах на певний період екологічного устаткування, вимірювальної екомоніторингової апаратури, ГІС-технологій, банків екологічних даних тощо з поступовою, поетапною виплатою повної вартості орендованих екологічних послуг, що дає змогу більш ефективно і оперативно організовувати природоохоронні заходи. Екологічний лізинг — це підприємницька діяльність, спрямована на підвищення ефективності використання екологічних інвестицій шляхом надання лізингодавцем у виняткове користування на певний термін лізингоодержувачу майна, що є власністю лізингодавця або переходить у його власність за дорученням і погодженням з лізінгоодержувачем у відповідного продавця майна, за умови сплати лізингоодержувачем періодичних лізингових зборів. Особливо ефективний екологічний лізинг при проведенні екологічної модернізації, технічного переозброєння, екологізації виробництв.

Об'єкти екологічного лізингу — будь-яке рухоме і нерухоме майно, що може стосуватися основних фондів відповідно природоохоронного й природоресурсного (екологічного) законодавства, у тому числі продукція екологічного призначення, не заборонена до вільного обігу на ринку і щодо якої немає обмежень про передачу в лізинг.

Екологічний менеджмент — підсистема загальної системи управління в будь-якій галузі виробництва, яка гармонізує діяльність і розвиток кожного підприємства та всієї галузі в довкіллі і в екологічному правовому полі. Екологічний менеджмент забезпечує екологізацію загальних функцій управління, планомірну діяльність з охо-

рони природи і забезпечення екологічної безпеки. **Система екологічного менеджменту** — організаційна і функціональна структури, які забезпечують реалізацію екологічної політики підприємства; вона охоплює діяльність із планування, обов'язки, відповідальність, досвід, методи, методики, процеси і ресурси для формування, здійснення, аналізу та вдосконалення екологічної політики.

Екологічна політика — система концепцій, принципів, підходів, заходів, що визначає вплив суспільства на навколишнє природне середовище, тактику й стратегію екологічно збалансованого розвитку.

Екологічний паспорт — важливий комплексний екологічний документ, на основі якого визначається вплив об'єкта людської діяльності на довкілля з метою контролю й мінімізації цього впливу. Екологічний паспорт є так само необхідний кожному підприємству для розв'язання питань екологічно збалансованого розвитку, як історія хвороби — для визначення шляхів поліпшення здоров'я кожної людини.

Екологічний паспорт складається з двох частин. У першій містяться загальні відомості про підприємство: площа, яку воно займає, тип ґрунтів, які вилучено з вжитку, вид і кількість природних ресурсів, що використовуються (мінеральна сировина, вода та ін.); кількість споживаної електроенергії; опис технології виробництва основної продукції, типів і обсягів відходів та засобів і схем очищення викидів у повітря і стічних вод; дані про кількість робітників, шкідливі для здоров'я працівників чинники виробництва, особливості захворювань працівників. У другій частині екологічного паспорту наводиться перелік заходів, які планується вжити з метою екологізації виробництва, зменшення забруднень довкілля та шкідливого впливу на здоров'я людей. При цьому вказуються конкретні терміни, обсяги витрат, розрахунки зменшення викидів і скидів шкідливих речовин, економії ресурсів та енергії.

Екологічні паспорти регулярно поновлюються і затверджуються відповідними адміністративними та екологічними комісіями, відповідальними особами і пред'являються на першу вимогу екологічних аудиторських, моніторингових чи експертних комісій.

Екологічна паспортизація — функція державного обліку об'єктів людської діяльності з метою їх класифікації та інвентаризації за особливостями впливу на довкілля (типами і обсягами забруднень) для розроблення планів і програм екологізації та еколого-безпечного розвитку.

Екологічна мережа — єдина територіальна система, яка включає ділянки природних ландшафтів, що підлягають особливій охороні, і території та об'єкти природно-заповідного фонду, курортно-оздоровчі, рекреаційні, водозахисні, полезахисні території та об'єкти інших типів, що визначаються законодавством України і є часткою структурних територіальних елементів, природних регіонів, екологічних коридорів, буферних зон.

Екологічний прибуток — збалансована на користь людини й природи вигода, одержана за рахунок зменшення шкідливого впливу людини на довкілля, підвищення ефективності природокористування і зменшення екологічних витрат. Це також прибуток від продажу екологічно чистої продукції, надання екологічних консультацій та послуг, виконання екологічних робіт.

Екологічно чистий продукт — продукт найвищої споживчої якості і конкурентоспроможності, що відповідає чинним екологічним стандартам і є сертифікованим із наданням відповідної екологічної відзнаки маркування.

Екологічна катастрофа — широкомасштабна зміна екологічної та економічної ситуації, яка призводить до повної деградації екосистем, загибелі значної кількості живих істот, тривалої зміни характеру захворювань і надзвичайних соціально-економічних потрясінь.

Екологічна аварія — локальний техногенний інцидент з немасштабними екологічними наслідками, але з можливими людськими жертвами і значними економічними збитками.

Екологічна безпека — ступінь захищеності територіального комплексу, екосистеми, людини від можливих екологічних уражень. Визначається величиною екологічного ризику.

Екологічний ризик — усвідомлена небезпека виникнення небажаних негативних змін екологічної ситуації у певному місці і часі з обрахованими величинами імовірних збитків.

Ємність екосистеми — максимальний розмір популяції одного виду, який конкретна екосистема здатна підтримувати в певних екологічних умовах упродовж тривалого часу.

Екологічний імператив — звернена до людства вимога (подібно до закону моральної категорії) обмежити і зупинити згубне для природи господарювання і в своїй діяльності співвимірювати антропогенний тиск на довкілля з екологічною витривалістю біосфери. Це дотримання всіх екологічних правил і вимог, обмежень і заборон, чинних і таких, що можуть виникнути в майбутньому, насамперед збалансованість виробництва з природою, співіснування техносфери й біосфери згідно з концепцією збереження та відтворення останньої.

Екоцид — значне пригнічення і загибель екосистем, різних організмів, зокрема й людей, під впливом різких або довготривалих змін одного чи комплексу екологічних чинників.

Екологічна ємність території — узагальнена характеристика території, що кількісно відповідає максимальному техногенному навантаженню, яке може витримувати впродовж тривалого періоду сукупність реципієнтів і екологічних систем території без порушення їхніх структурних і функціональних властивостей.

Екофобії — загальна назва фобій (грец. фобос — боятися), спричинених несприятливими екологічними умовами (радіофобія, хемофобія, магнітофобія та ін.).

Екологізація науки — процес проникнення ідей і проблем екології в інші галузі знань (гуманітарні, технічні, природничі). Вирізняють три рівні екологізації науки: внутрішньодисциплінарний, міждисциплінарний, проблемний (останній — інтеграція різних наук для розв'язання екологічних проблем довкілля).

Екологічні захворювання — захворювання, викликані несприятливими екологічними умовами або отруєннями внаслідок викинутих у довкілля забруднювачів — продуктів людської діяльності (вплив радіації, електромагнітних, вібраційних і шумових аномалій, токсичних речовин тощо).

Екологія людини — розділ великої екології, що розглядає біосферу як екологічну нішу людства і вивчає природні, соціальні та екологічні умови як чинники середовища існування людини, які мають забезпечувати їй нормальний стан здоров'я, розвитку і відтворення. Медична екологія — один із напрямів екології людини.

Ефект густоти населення — погіршення фізіологічного стану, розвиток стресів у результаті збільшення кількості населення на одиницю площі вище від певної межі. Надмірна скупченість людей і напружений ритм життя породжують побутову і політичну агресивність, наркоманію, алкоголізм, злочинність, тероризм.

Інформаційне суспільство — суспільство постіндустріального періоду розвитку цивілізації, в якому переважаючою формою суспільних зв'язків стають потоки інформації, а матеріальною-енергетичні потоки мінімізуються за рахунок економії, високої ефективності виробництва і технологій.

Коеволюція — паралельний, спільний розвиток людства і природи; вживається не в прямому розумінні, оскільки реальні швидкості еволюції біосфери і техносфери абсолютно несумісні (вони різняться на порядки), тобто практично не паралельний розвиток, а адаптація.

Контамінаційний еквівалент енергії — загальна маса техногенних забрудників середовища (з урахуванням їх приведеної токсичності), що припадає на одиницю спожитої енергії в певній технології чи галузі виробництва.

Ліцензування природокористування — системи державних дозволів на використання природних ресурсів, які оплачуються користувачами.

Моделі світу — модне з 70-х років XX ст. математичне моделювання майбутнього розвитку людства, його взаємовідносин з природними ресурсами і біосферою. Особливо відомі моделі членів Римського клубу (Д. Медоуза, М. Мессаровича і Е. Пестеля, Я. Тінбергена, Е. Ласло, Е. Вайцзеккера та ін.,1972, 1974, 1976, 1990, 1995).

Ноосфера:

1) завершальна фаза (етап) еволюції біосфери (за В.Вернадським);
2) "мислячий пласт, який розгортається поза біосферою і над нею, еволюція духу" (за П.Тейяром де Шарденом);
3) параантропосфера — просторово-часова фаза мегаантропосфери, яка прийде на зміну неоантропосфері і переважаючим видом якої буде людина вчена (Homo Docktus, за С.Швіндлерманом);
4) соціальна утопія (за В.Кутирєвим);
5) "світла і далека від реальності мрія і віра у велику місію науки... в гармонійне поєднання природи і суспільства, в торжество розуму і гуманізму, ...у світ без зброї, воєн та екологічних проблем..." (за М.Реймерсом).

Більш детально — у розділі "Ноосфера".

Пасіонарність (грец. пасіо — пристрасть) російський учений, історико-географ Л.Гумільов визначає як нездоланне прагнення людей (свідоме чи частіше несвідоме) до діяльності. Має велике значення для вивчення особливостей діяльності різних етносів у довкіллі.

Природний коридор — природна або приведена до природного стану ділянка землі чи водної поверхні, яка на різних рівнях просторової організації екологічної мережі забезпечує для природного середовища умови безперервності, системної єдності та функції біокомунікації.

Принцип збалансованого природокористування — розміщення і розвиток матеріального виробництва на певній території має здійснюватися згідно з її екологічною стійкістю до техногенних навантажень.

Природно-ресурсний потенціал — здатність певної території без відчутної для себе втрати "віддавати" певний обсяг природних ресурсів для народного господарства.

Рекреаційне навантаження — ступінь впливу відпочивальників на рекреаційні об'єкти (лісові, водні, гірські та інші зони відпочинку, турбази тощо).

Сталий розвиток (стійкий, англ. Sustainable development) — усталений, еколого-економічно збалансований, екологічно безперервно підтримуваний. На 1989 рік було близько 30 визначень, нині їх значно більше, хоча точного загальноприйнятого ще не існує. Найпоширенішими є:

1) шлях максимізації довготривалих вигод для людства;
2) економічне зростання і розвиток, які взаємодоповнюються і не антагоністичні стосовно навколишнього середовища й суспільства;

3) такий економічний розвиток, який не підриває природну базу для майбутніх поколінь і зростає в розрахунку на душу населення;
4) процес гармонізації людства і навколишнього середовища;
5) коеволюція техносфери і біосфери;
6) підвищення якості життя людей, які проживають у межах підтримувальної ємності екосистем.

Одні сприймають "сталий розвиток", як керівництво до дії, інші — як політичне гасло, треті — як фальшивий прапор. Вважаємо, що найвдалішим українським відповідником англійського терміну Sustainable development має бути **гармонійний розвиток.**

Визначення В.Данилова-Данильяна: **сталий розвиток — це безперервно підтримувальний розвиток, це підтримка глобальної економіки в межах несучої ємності екосистем планети; це такий розвиток, який не виводить глобальну цивілізацію за межі господарської ємності біосфери, не викликає в ній процесів руйнування і деградації.**

Технологічний оптимізм — переконаність певної групи вчених-технократів у тому, що за допомогою наукових знань, високих технологій, новітньої техніки та комп'ютеризації можна панувати над природою, відділити людство від біосфери і вижити незалежно від неї (що є абсолютно помилковим).

Фітооптимізація техногенних екосистем — оптимізація за допомогою рослин, площа насаджень яких має становити не менш, як 50 м^2 на кожну людину, що знаходиться в даній системі; кількість рослин повинна компенсувати витрати кисню на виробничі процеси і процеси життєдіяльності всіх живих організмів екосистеми, враховувати естетичні потреби людини.

Питання для самоконтролю

1. Дайте сучасне визначення екології.
2. Чим відрізняються визначення екології, дані М.Реймерсом, Т.Акимовою, М.Моісєєвим, О.Яблоковим від визначень М.Назарука, консервативних біологів?
3. Назвіть основні структурні блоки сучасної екології.
4. Які ви знаєте основні завдання екології?
5. Назвіть головні біоекологічні принципи.
6. Що таке екологічний паспорт?
7. Що таке екологічний менеджмент?
8. Дайте визначення екологічній ліцензії й екологічному лізингу.
9. Що таке екологічний імператив?
10. Що таке біотична регуляція навколишнього середовища?

1.2. Найголовніші екологічні закони, правила і принципи

У 1994 р. М.Реймерс вирізнив близько 250 законів, закономірностей, принципів і правил, якими користується сучасна екологія.

Сучасному фахівцю-екологу, хоч би в якій галузі виробництва він не працював, потрібно знати основні закони, правила і принципи екології, наведені нижче, і неодмінно використовувати їх у своїй повсякденній практиці.

Закон константності живої речовини в біосфері (*В.Вернадський*): кількість живої речовини (біомаса всіх організмів) біосфери для конкретної екологічної епохи є сталою.

Закон мінімуму (*Ю.Лібіх*): біотичний потенціал (життєздатність, продуктивність організму, популяції, виду) лімітується тим з екологічних чинників середовища, який перебуває в мінімумі, хоча інші умови сприятливі.

Закон максимізації енергії та інформації в еволюції: найкращі можливості самозбереження має та система, яка найбільшою мірою сприяє надходженню, виробленню й ефективному використанню енергії та інформації.

Закон незворотності еволюції (*Л.Долло*): еволюція незворотна; організм (популяція, вид) не може повернутися до попереднього стану.

Закон оптимальності: будь-яка система з найбільшою ефективністю функціонує в певних характерних для неї просторово-часових межах.

Закон розвитку системи за рахунок довкілля: будь-яка система може розвиватися лише за рахунок матеріально-енергетичних та інформаційних можливостей навколишнього середовища; абсолютно ізольований саморозвиток неможливий.

Закон толерантності (*В.Шелфорд*): чинники середовища, які мають у конкретних умовах песимальне (несприятливе, як надмірне, так і недостатне) значення, обмежують можливості існування виду в даних умовах, всупереч і незважаючи на оптимальний збіг інших чинників.

Закон біогенної міграції атомів (*В.Вернадський*): міграція хімічних елементів у біосфері та інших геосферах здійснюється або за безпосередньої участі живої речовини, або ж відбувається в середовищі, геохімічні особливості якого зумовлені живою речовиною, як сучасною, так і тією, що функціонувала на Землі в минулі геологічні епохи.

Закон максимуму: для біосфери кількісні зміни екологічних умов не можуть збільшити біологічну продуктивність екосистеми чи господарчу продуктивність агросистеми понад речовинно-енергетичні ліміти, які визначаються еволюційними властивостями біологічних об'єктів та їх співтовариств.

Закон послідовності проходження фаз розвитку: для природної екосистеми фази розвитку можуть проходити лише в еволюційно закріпленому порядку, зазвичай від простого до складного.

Закон фізико-хімічної єдності живої речовини (*В.Вернадський*): вся жива речовина Землі фізико-хімічно єдина. Шкідливе для одних видів організмів не може бути нейтральним для інших. Будь-які фізико-хімічні агенти, смертельні для одних організмів, шкодять і іншим.

Американський еколог *Б.Коммонер* (1974) дуже вдало сформулював свої чотири "закони", які, по суті, об'єднують у собі по кілька найважливіших закономірностей і екологічних особливостей природи. Це, радше, **екологічні аксіоми:**

- все пов'язано з усім;
- все повинно кудись подітися;
- ніщо не дається задарма;
- природа знає краще.

Перша аксіома підтверджує всезагальність зв'язків об'єктів і явищ у природі та в людському суспільстві. І природа, і суспільство перебувають в єдиній мережі системних взаємозв'язків. Важливі наслідки цих взаємозв'язків:

1) дія **закону великих чисел** (сукупна дія великої кількості випадкових чинників за деяких загальних умов приводить до результату, майже незалежного від випадку, тобто такого, що має системний характер);
2) дія принципу Ле Шательє (при зовнішньому впливі, який виводить систему з рівноваги, ця рівновага зміщується в напрямку, за яким ефект зовнішнього впливу

зменшується; у біологічних системах цей принцип реалізується у вигляді здатності екосистем до авторегуляції);

3) розвиток ланцюгових реакцій у разі виникнення окремих локальних змін у системі; ці реакції йдуть у бік нейтралізації збурення, що виникло, або формування нових взаємозв'язків;

4) будь-які зміни в системі "природа" прямо чи опосередковано впливають на людину (від індивіда до суспільства).

Друга аксіома ("все повинно кудись діватися") свідчить про закони збереження в природі. На відміну від людського виробництва, в природі не буває сміття. В біосфері завжди спостерігається кількісний баланс швидкостей синтезу живої речовини та її розкладання, що свідчить про високий ступінь замкненості колообігу речовини у біосфері. Діяльність людини викликала нагромадження в природі дедалі більшої кількості ***ксенобіотиків*** — синтетичних сполук, які стійкі у довкіллі, токсичні і, накопичуючись у величезних кількостях, становлять дедалі більшу загрозу для людства.

Третя аксіома ("ніщо не дається задарма", або ж — "за будь-яке втручання і збитки природі треба платити", або ж — "природа за все віддячить") вказує на те, якою ціною дістається людству науково-технічний прогрес. В економіці природи, як і в економіці людини, не існує безкоштовних ресурсів. Все, що було взято людиною з природи, мусить бути їй повернуто, компенсовано. Невиконання цього закону неминуче призводить до екологічної кризи.

Четверта аксіома ("природа знає краще") свідчить про незрівнянні переваги природних конструкцій над людськими. Все, створене природою, пройшло надзвичайно жорсткий конкурс на місце в біосфері впродовж тисяч і мільйонів років природного добору та адаптацій. При цьому головним критерієм добору була вписаність у глобальний біотичний колообіг, збільшення його ефективності, заповнення всіх екологічних ніш, виключення "мертвих зон" з мережі природних взаємозв'язків.

Останнім часом формулюють **ще один закон — *закон обмеженості ресурсів***. Він стверджує, що, згідно із законом константності кількості живої речовини на планеті, збільшення чисельності і маси одних організмів у глобальному масштабі може відбуватися лише за рахунок зменшення кількості й маси інших організмів. Саме суперечливість між швидкостями розмноження багатьох організмів і обмеженістю ресурсів харчування є своєрідним регулятором, що запобігає "біологічному вибуху" космічного масштабу. Маса продуктів для живлення всіх форм життя на Землі (зокрема й для людини) обмежена і вичерпна, тому виживання цивілізації можливе лише за умов реалізації обґрунтованих і жорстко контрольованих самообмежень.

Правило К.Бергмана: у теплокровних тварин, що зазнають географічної мінливості, розміри тіла особин статистично (в середньому) більші у популяцій, які мешкають у холодніших районах ареалу.

Правило 1%: для біосфери загалом частка можливого споживання чистої первинної продукції (на рівні консументів вищих порядків) не перевищує 1%.

Правило 10% (правило піраміди енергій Р.Ліндемана): з одного трофічного рівня екологічної піраміди переходить на інший, вищий рівень у середньому близько 10% енергії.

Правило екологічної ніші: екологічна ніша порожньою не буває, вона обов'язково заповнюється природним шляхом.

Правило внутрішньої несуперечливості: у природних екосистемах діяльність видів, що до них входять, спрямована на підтримання цих екосистем як середовища власного існування.

Правило максимального "тиску життя": живі організми розмножуються в природі з інтенсивністю, яка забезпечує їхню максимально можливу кількість. Однак цей процес жорстко обмежується ємністю середовища, дією правил взаємопристосованості, внутрішньої несуперечливості та відповідності середовища генетичному призначенню організму.

Правило харчової кореляції: у процесі еволюції зберігаються лише ті популяції, для яких швидкість розмноження узгоджена з кількістю харчових ресурсів середовища їх існування.

Правило генетичної пристосованості: будь-який вид організмів може існувати доти й настільки, наскільки навколишнє середовище відповідає генетичним можливостям пристосованості цього виду до змін і коливань екологічних чинників даного середовища.

Правило Ю.Одума: при незмінному потоці енергії через трофічну мережу дрібні наземні організми з вищим питомим метаболізмом* створюють меншу біомасу, ніж великі організми.

Правило взаємопристосованості (К.Мебіуса — Г.Морозова): усі види в біоценозі пристосовані один до одного настільки, що їх співтовариство становить єдине і взаємно визнане несистемне ціле.

Правило вікаріата (Д.Джоржна): ареали близьких родинних форм тварин (видів і підвидів) зазвичай займають суміжні території й істотно не перекриваються. Родинні форми, як правило, вікарують, тобто географічно змінюють одна одну.

Принцип Ле Шательє: при зовнішньому впливі, який виводить систему зі стану стійкої рівноваги, ця рівновага зміщується в напрямі, за якого ефект зовнішнього впливу слабшає.

Принцип мінімуму розсіювання *(дисипації) або принцип економії енергії* (Л.Онзагер — І.Пригожин): за ймовірності розвитку процесу в деякій множині термодинамічно допустимих напрямів реалізується той, що забезпечує мінімум розсіювання енергії.

Принцип збалансованого природокористування: розвиток і розміщення об'єктів матеріального виробництва на певній території мають здійснюватися згідно з її екологічною стійкістю до техногенних навантажень.

Принцип винятку (Т.Гаузе): два види не можуть існувати в одній і тій самій місцевості, якщо їхні екологічні потреби ідентичні, тобто якщо вони займають одну й ту саму екологічну нішу.

Відомий еколог **Д.Чирас** визначив такі **чотири основні загальні принципи,** на підставі яких функціонує і розвивається природа:

- рециклічності, або повторного багаторазового використання найважливіших речовин;
- постійного відновлення ресурсів;
- консервативного споживання, коли живі істоти споживають лише необхідне і в такій кількості, яка їм необхідна;
- популяційного контролю — природа не допускає вибухоподібного зростання популяцій, регулюючи кількість особин того чи іншого виду створенням відповідних умов для його існування та розмноження.

---

* Метаболізм (грец. метаболе — зміна) — обмін речовин, сукупність процесів біохімічних перетворень речовини й енергії у живих організмах.

Вирізняють також кілька **природоохоронних** правил і законів:

- ***закон шагреневої шкіри:*** глобальний початковий природно-ресурсний потенціал безперервно виснажується у процесі розвитку людства; це потребує від людства науково-технічного вдосконалення природокористування;
- ***закон неусуненості відходів і (або) побічних впливів виробництва:*** в принципі у будь-якому господарстві відходи, що утворюються, цілком усунути (ліквідувати) неможливо — вони можуть бути лише переведені з однієї фізико-хімічної форми в іншу, або переміщені у просторі; це відповідає закону збереження маси та енергії (сумарна кількість відходів у вигляді речовин, енергії та ін. фактично стала, оскільки у виробничих циклах змінюється лише місце їх виникнення і фізико-хімічна або біологічна форма);
- ***правило "екологічне — економічне"*** (нині підтверджується величезною кількістю прикладів і має датися взнаки якщо не в близькій, то у віддаленій перспективі);
- ***закон компонентної і територіальної екологічної рівноваги*** (недотримання його призводить до природних дисбалансів, руйнування природних енергетичних процесів і деградацій екосистем);
- ***закони охорони природи П.Ерліха:***

1) в охороні природи можливі лише успішна оборона або відступ, наступ неможливий, бо знищений вид чи екосистема не можуть бути відновлені;
2) зростання населення і охорона природи принципово суперечать одне одному;
3) економічна система, охоплена манією зростання, і охорона природи також принципово суперечать одне одному;
4) брати до уваги під час прийняття рішень щодо використання Землі одні лише найближчі цілі і негайне благо Homo sapiens є смертельно небезпечним не лише для людей, а й для біосфери загалом;
5) охорона природи має бути не тільки закликом (який мало хто чує), а й пріоритетом державної та міжнародної політики;

- ***правило економіко-екологічного сприйняття,*** сформульоване Дж.Стайкосом у 1970 р., показує, що проблеми довкілля сприймаються в чотири етапи: 1) ні розмов, ні дій; 2) розмови, але бездіяльність; 3) розмови і початок діяльності; 4) припинення розмов, рішучі природоохоронні дії.

Це відповідає таким фазам еколого-економічних суспільних відносин: 1) економічний розвиток за цілковитого ігнорування екологічних законів; 2) виникнення екологічних обмежень у природокористуванні; 3) розвиток суспільства з переважним дотриманням екологічного імперативу; 4) максимальна екологізація всіх сфер людської діяльності заради виживання;

- ***принцип віддаленості події:*** явища, віддалені від нас у часі й просторі, психологічно здаються менш істотними, не надто важливими; прихильники цього принципу наражають себе на велику небезпеку.

✉ *Питання для самоконтролю*

1. Для чого необхідно знати основні екологічні закони?
2. Про що говорять "Закони" Б.Коммонера?
3. У чому полягає сутність закону мінімуму?
4. У чому полягає правило 10%?
5. Що означає принцип збалансованого природокористування?

1.3. Методологічні особливості сучасної екології

Методологічною засадою сучасної екології є комплексне використання натурних спостережень, вимірювань, експериментальних лабораторних досліджень, екологічного картування і моделювання. Більшості екологічних досліджень притаманний системний підхід. У сучасних екологічних дослідженнях широко використовують методи інших наук — хімії, фізики, геології, біології, математики. Ці методи можна об'єднати в кілька груп:

1. Методи реєстрації та оцінки якості довкілля, насамперед різні типи екологічного моніторингу, зокрема біомоніторинг і біоіндикація, дистанційний аерокосмічний моніторинг.
2. Методи кількісного обліку організмів і методи оцінки біомаси та продуктивності рослин і тварин.
3. Вивчення особливостей впливу різних екологічних чинників на життєдіяльність організмів (як складні й тривалі спостереження в природі, так і, частіше, експерименти в лабораторних умовах — токсикологічні, біохімічні, біофізичні, фізіологічні та ін.).
4. Методи вивчення взаємозв'язків між організмами в багатовидових угрупованнях.
5. Методи математичного моделювання екологічних явищ і процесів, а також екосистем (останнє — набагато складніше), імітаційне моделювання; моделювання від локальних до регіональних і глобальних екологічних процесів і ситуацій.
6. Створення геоінформаційних систем і технологій для розв'язання екологічних питань різних масштабів і в різних сферах діяльності.
7. Комплексний еколого-економічний аналіз стану різних об'єктів, територій, галузей виробництва.
8. Геоекологічні методи дослідження, геоекологічний моніторинг.
9. Технологічні методи екологізації різних виробництв з метою зменшення їх негативного впливу на довкілля.
10. Медико-екологічні методи вивчення впливу різних чинників на здоров'я людей.
11. Методи екологічного контролю стану довкілля: екологічна експертиза, екологічний аудит, екологічна паспортизація.

У зв'язку з тим, що серед перелічених методів сучасної екології в навчальній літературі найменш висвітлені методи біоіндикації, наведемо детальнішу характеристику цих екологічних досліджень.

Інформація про інші методи є в численних підручниках і посібниках з прикладної екології. Методики сучасних хімічних, фізико-хімічних і фізичних методів викладено у ***частині 2***. Метод біоіндикації специфічний, висвітлений менш широко, тому йому приділено дещо більшу увагу.

Біоіндикація

Біоіндикація (лат. індікаре — вказувати, виявляти) — метод оцінки абіотичних і біотичних чинників середовища за допомогою біологічних систем.

Організми або їх угруповання, життєві функції яких тісно корелюють з певними чинниками середовища і можуть використовуватися для їх оцінки, називають ***біоіндикаторами***. Ними можуть бути рослини, тварини, мікроорганізми, гриби.

Форми біоіндикаторів:

- ***неспецифічна*** — якщо різні чинники зумовлюють однакову реакцію;
- ***специфічна*** — зміна, пов'язана лише з одним чинником;
- ***чутлива*** — коли біологічний об'єкт реагує значним відхиленням життєвих проявів від норм;
- ***акумулятивна*** — біоіндикатор накопичує дію чинника, тривалий час її не виявляючи;
- ***пряма*** — чинник діє безпосередньо на біологічний об'єкт;
- ***непряма*** — біоіндикація виявляється лише після зміни стану під впливом інших безпосередньо заторкнених елементів;
- ***рання*** — коли реакція організму помітна при низьких дозах і короткочасній дії чинника та відбувається в місці впливу чинника на елементарні молекулярні чи біологічні процеси.

Історія фітоіндикації сягає сивої давнини. Перші записи про рослини-індикатори є в працях Теофраста (IV—III ст. до н.е.). За видом рослин та їх зовнішнім виглядом люди навчилися визначати родючість ґрунтів, відшукувати воду, руди, діставати інформацію про клімат минулих часів.

Залежно від мети фітоіндикація має такі напрями: агроіндикація, біогеохімічна індикація (індикація корисних копалин), галоіндикація, гідроіндикація, геоіндикація, фітоіндикація кліматичних параметрів, природоохоронна (созоекологічна) індикація.

Прикладом фітоіндикації може бути використання рослин із метою визначення кислотності ґрунтів, на яких вони ростуть:

Стресорами можуть бути температура (холод і спека), вода (посуха і затоплення), тиск, шум, магнетизм, електричний струм, хімічні речовини (солі, озон, оксиди нітрогену та сульфуру тощо).

Існує кілька типів чутливості біоіндикаторів відповідно до часу розвитку біоіндикаційних процесів:

I — біоіндикатор діє через деякий час, упродовж якого він не реагував на вплив (одноразова реакція), і одразу втрачає чутливість;

II — реакція миттєва, але триває певний час, а потім зникає;

III — біоіндикатор реагує з моменту появи порушувального впливу з однаковою інтенсивністю тривалий час;

IV — після швидкої й сильної реакції відбувається її поступове згасання;

V — при появі стресора починається реакція, яка посилюється, досягаючи максимуму, а потім згасає;

VI — реакція має синусоїдний характер і багаторазово повторюється ***(рис. 1.2)***. Для біоіндикації можна використати організми з типами чутливості I, II, V.

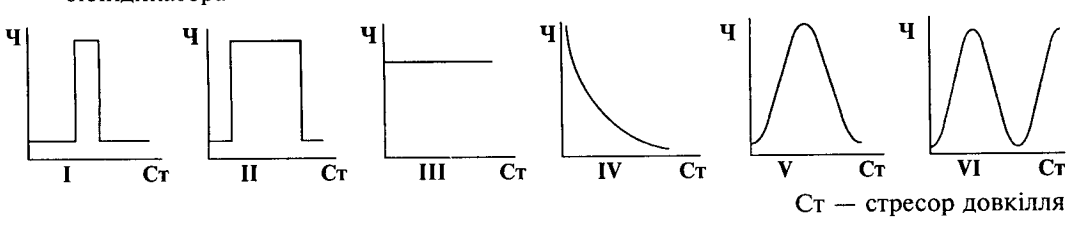


Рис. 1.2. Типи чутливості біоіндикаторів залежно від часу розвитку біоіндикаційних процесів (за Stöber)

Біоіндикатори використовують при веденні двох типів моніторингу:

пасивний моніторинг — дослідження видимих і непомітних пошкоджень чи відхилень від норми — ознак стресового впливу в організмах, що вільно живуть у природі;

активний моніторинг — виявлення впливу біотичних і абіотичних чинників на тест-організми, які перебувають у стандартизованих умовах та на досліджуваній території.

Залежно від змін, що відбуваються з живими організмами, їх угрупованнями, біогеоценозами, ландшафтами під впливом різних чинників, говорять про рівні біоіндикації.

Біохімічні та фізіологічні реакції — зміни в організмі, що відбуваються під впливом певного чинника довкілля на рівні мембран (наприклад, при збільшенні в повітрі концентрації оксиду сульфуру (IV) він дифундує в міжклітинний простір, розчиняється в міжфібриляторній воді клітинної стінки, утворюючи йони SO_3^{2-} і HSO_3^-, які руйнують зовнішню мембрану клітини, збільшують її проникність внаслідок розриву дисульфідних містків білкового шару, зміни pH і окисно-відновного потенціалу), ферментів, гормонів, компонентів клітин, пігментів, інтенсивності фотосинтезу.

Морфологічні, біоритмічні та поведінкові відхилення від норми в організмів під впливом антропогенних чинників.

Вплив на морфологічну структуру. Ще в середині XIX ст. у Великій Британії та Бельгії поблизу содових заводів було помічено зміну форми органів, забарвлення та продуктив-

ності окремих рослин. Морфологічні індикатори використовують для складання екологічних карт (антропогенного забруднення територій), для ведення пошуку родовищ корисних копалин за допомогою дистанційних методів, виявлення засолення ґрунтів тощо.

Макроскопічні зміни — це некрози (відмирання окремих ділянок тканин), наприклад, крайові некрози листя лип, що ростуть на тротуарах, зумовлені засоленням ґрунтів; зміна забарвлення (під впливом SO_2 в листі смородини руйнується хлорофіл і виявляється червоне забарвлення антоціанів), передчасне старіння (під дією етилену; тому для прискорення дозрівання фруктів їх обробляють цим газом); обпадання листя; зміна форми чи розмірів органів; зниження продуктивності; навіть формування нехарактерної для певного виду крони (у разі забруднення повітря SO_2 і HF дерева набувають кущо- і подушкоподібних форм).

Мікроскопічними змінами може бути зміна розмірів клітин і субклітинних структур (руйнування хлоропластів у листках під впливом оксиду сульфуру (IV) і хлориду натрію) тощо.

Вплив на анатомо-морфологічні структури тварин виявляється в зміні розмірів тіла чи окремих його частин, зміні забарвлення (в 1948 р. у промисловому районі Великої Британії було вперше помічено метелика — темного п'ядуна березового, який пристосувався до зміненого довкілля — темних від осідання сажі й пилу стовбурів берез; через 50 років кількість його вже становила 99% місцевої популяції).

Дія на біоритми (наприклад, передчасне пожовтіння та обпадання листя).

Хорологічні та популяційно-динамічні зміни (зміна продуктивності окремого виду, народжуваності й смертності, розширення чи скорочення ареалу).

Біоіндикацію використовують для вивчення стану повітря, вод, ґрунтів, складання карт забруднення території, ведення дистанційного моніторингу. Зокрема, озон і пероксоацетилнітрат як обов'язкові компоненти фотохімічного смогу визначають за появою на листках тютюну, шпинату, кропиви жалкої, тонконога однорічного некротичних плям.

Санітарний стан питної води оцінюють за об'ємом води, в якому міститься одна кишкова паличка (Coli-титр); за цією характеристикою воду поділяють так:

Клас чистоти води	Об'єм води, в якому виявлена одна кишкова паличка, мл	Якість води
I	100	Здорова
II	10	Достатньо здорова
III	1,0	Сумнівна
IV	0,1	Нездорова
V	0,01	Цілком нездорова

У місцевостях, де поширюються епідемії тифу чи холери, природні води обов'язково аналізують на наявність збудників цих захворювань.

Бактеріологічний аналіз води може бути індикатором родовищ нафти, рідкоземельних і поліметалевих руд. Мікрофлорою, що свідчить про наявність нафти і газу, є бактерії, які окиснюють метан, пропан, пентан, гексан або гептан.

Про поклади рідкоземельних металів свідчить наявність у ґрунтових і підземних водах Thiobacillus thiooxidans; підвищена активність Th. ferrooxidans пов'язана з наявністю сульфідних мінералів: піриту FeS_2, халькопіриту $CuFeS_2$; молібденіту

MoS_2; сфалериту ZnS, оскільки вони окиснюють малорозчинні сульфіди до розчинних сульфатів.

За фізіологічним станом бактерій можна встановити напрям біохімічних процесів, що відбуваються в підземних водах.

Здатність поглинати радіонукліди яскраво виражена у липи, в'яза, ясена, берези, тополі, тимофіївки, полину, що робить їх не лише індикаторами, а й очисниками природного середовища.

Отже, приглядаючись до рослин і тварин, що нас оточують, помічаючи певні зміни в їх зовнішньому вигляді чи поведінці, можна оцінювати якість навколишнього середовища.

Питання для самоконтролю

1. Які методи використовують при екологічних дослідженнях?
2. Які ви знаєте методи екологічного контролю?
3. Що таке біоіндикація?
4. Що таке активний моніторинг?

Розділ 2

БІОСФЕРА

2.1. Становлення біосфери та її характеристика

Біосфера (грец. біос — життя, сфера — оболонка) — оболонка Землі, в якій існує життя.

Біосфера — це цілісний комплекс усіх екосистем планети, відкрита термодинамічна система, яка зовні отримує енергію і речовини для синтезу органічних сполук і виділяє в природне середовище відходи, що забезпечує її стійкість. Об'єм біосфери становить близько 0,4% об'єму планети.

В.Вернадський вирізняв шість типів речовин біосфери (***табл. 2.1***):

Таблиця 2.1. **Маса головних резервуарів біосфери**

Резервуари біосфери	Маса, (г) · 10^{21}	Резервуари біосфери	Маса, (г) · 10^{21}
Морські води гідросфери	1410	Мули океанів	0,1
Інші види гідросфери	85	Ґрунти континентів	0,05
Атмосфера	.5,2	Жива речовина	0,0041

- ***жива речовина*** — сукупність усіх існуючих на Землі рослин, тварин, мікроорганізмів, грибів;
- ***біогенна речовина*** — продукт життєдіяльності організмів (торф, крейда, горючі сланці, апатит);
- ***нежива речовина*** — в утворенні якої організми не брали участі (гірські породи абіогенного походження);
- ***біокосна речовина*** — продукт взаємодії живої речовини і неживої матерії (ґрунт);
- ***радіоактивна речовина*** — радіонукліди ^{40}K, ^{235}U, ^{232}Th, які зумовлюють існування радіогенної теплоти, та продукти їх розпаду;
- ***космічна речовина*** — космічний пил та метеорити.

До складу біосфери входять частини геосфер, умови яких придатні для існування живих організмів:

- нижня частина атмосфери (від поверхні Землі до озонової оболонки, тобто до висоти близько 25—30 км);
- вся гідросфера (до найбільшої глибини — Маріанської улоговини в Тихому океані — 11 030 м)
- верхня частина літосфери, де вода перебуває в рідкому стані (до глибини приблизно 5 км, хоча поклади корисних копалин біогенного походження — сліди колишніх біосфер, які В.Вернадський назвав "палеобіосферами", — розташовані значно глибше).

Усі ці складники об'єднують в єдину оболонку життя живі організми, які не лише існують у біосфері, а й є її творцями. Тому В.Вернадський писав, що *"Біосферу*

можна розглядати як простір над земною корою, зайнятий "трансформаторами", що перетворюють космічне випромінювання на корисну земну енергію — електричну, механічну, хімічну, термічну та інші".

Між живим і неживим неподоланої межі не існує. Живою називають динамічну систему, яка активно сприймає і перетворює молекулярну інформацію з метою самозбереження.

Молекулярна інформація — сукупність сигналів, які передаються специфічними молекулами. Щоб сигнал сприймався і трансформувався, система повинна мати:

- структурну організацію; запас концентрованої нерозсіюваної енергії;
- необхідні речовини, які знижують енергетичні бар'єри хімічних реакцій (каталізатори, ферменти) і молекули-перетворювачі, які трансформують хімічну енергію в молекулярну інформацію й роботу (біосинтез, осмос, м'язові скорочення тощо);
- закодовані програми зчитування та реалізації інформації;
- рецептори, здатні до молекулярного розпізнавання.

Основна функція живої системи — самозбереження за рахунок упереджувального реагування. Для відновлення і збереження енергії в системі необхідне надходження енергії ззовні, з навколишнього середовища, та обмін речовин і енергії — **метаболізм**. У метаболізмі поєднані процеси асиміляції і дисиміляції (синтезу і розпаду) речовин. Наявність програми відтворення у вигляді ДНК і її велика стабільність порівняно з іншими структурами біологічної системи зумовлює спадковість. Під впливом змін екологічних чинників спадковість може змінюватися, відбуваються **мутації** — індуковані зміни в генетичному апараті.

Ті зміни, що успадковуються, і їх відбір під впливом екологічних чинників зумовлюють видоутворення і збільшення біологічного розмаїття. Різноманітність видів забезпечує більшу ймовірність збереження життя за рахунок найкраще пристосованих до змін довкілля форм. Відбувається біологічна еволюція.

Нині виокремлюють ***шість головних рівнів організації живої матерії***:

- молекулярно-генетичний — редуплікація генів, формування ідентичних молекул на основі матеріалів, що забезпечують спадковість і мінливість;
- організменний — цілісність функцій, ріст, онтогенетичний розвиток;
- клітинний;
- популяційно-видовий — еволюція, тривале існування, таксономічні характеристики;
- біоценотичний — трофічні, хімічні, енергетичні зв'язки, колообіг хімічних елементів, перетворення енергії;
- біосферний — форма життя, яка поза біосферою не існує.

Кожен із цих рівнів має особливості, але всі вони тісно пов'язані між собою, впливають один на одного, створюючи єдине ціле — живу речовину, що об'єднує чотири царства природи: дроб'янок, грибів, рослин і тварин.

Зазначені вище основні властивості живих систем реалізуються вже на клітинному рівні, однак уся повнота життя представлена тільки на екосистемному та біосферному.

У наш час зареєстровано понад 1,7 мільйона видів організмів, проте фахівці вважають, що реально їх у 3–5 разів більше. Всього живих організмів у біосфері налічують до 10^{26}–10^{28}. Це величезна, незбагненна кількість. Розмір організмів змінюється від мікронів до багатьох метрів, маса — від мікрограмів до сотні тонн. На всіх структурних рівнях організації матерії, включно з біологічним, реалізована лише дуже незначна частка можливих комбінацій молекул. Це означає, що кожен біологічний

вид, кожна жива істота вищою мірою є унікальними, оскільки вони мають ряд властивостей, за допомогою яких ефективно адаптуються до навколишнього середовища та його змін.

Явище еволюційного прогресу — появи і розвитку дедалі складніших і досконаліших форм молекулярних та біологічних структур має певну матеріальну природу і підкоряється загальним фізичним законам, зокрема термодинамічним. На основі колообігу неорганічних речовин під впливом сонячної енергії виник ***біотичний колообіг*** — цикл синтезу і розпаду органічних речовин.

Еволюція біосфери тісно пов'язана з еволюцією Землі й умовно поділяється на кілька фаз: перша — формування ранньої земної кори, атмосфери і гідросфери, виникнення ***геологічного колообігу речовини;*** великий геологічний колообіг — циркуляція атмосферних мас, води і розчинених у них мінералів, переміщення продуктів руйнування гірських порід на поверхню планети і знову в її надра (близько 4,6 млрд років тому); друга — хімічна еволюція (4,6—3,8 млрд років тому) — розвиток процесів синтезу і накопичення простих органічних сполук, необхідних для існування життя (амінокислот, простих пептидів, азотистих основ, простих вуглеводів); третя (3,8—1,2 млрд років тому) — розвиток давньої біосфери, еволюція прокаріотичного світу, виникнення біологічного колообігу речовин, формування кисневої атмосфери; четверта — виникнення еукаріотів, заселення суші, розвиток сучасного біорозмаїття світу (1,2 млрд років тому — теперішній час). Перші живі організми були ***анаеробами*** (існували в безкисневому середовищі), потім з'явилися організми ***автотрофи***, здатні синтезувати органічні речовини з неорганічних сполук (вуглекислого газу, води, нітрогеновмісних і фосфоровмісних сполук) за допомогою сонячної енергії ***(фотосинтез)*** або окисних реакцій ***(хемосинтез)***. Першими фотосинтезуючими організмами були бактерії ***(ціанобактерії)***, які дали початок розвитку процесів у ***трофічному ланцюгу*** "продуценти — консументи — редуценти" — ланцюгу живлення, який через неживу речовину — мінеральні сполуки — замкнувся в коло. З потоку речовин у цьому колі утворився ***біологічний колообіг речовин.***

Геологічний і біологічний колообіги речовин разом склали ***біогеохімічний колообіг,*** з'єднавши в ньому величезну потужність геологічного і надзвичайні швидкість та активність біологічного. Біогеохімічний колообіг формувався впродовж 1,5—2 млрд років, потім стабілізувався і суттєво не змінювався останні 2 млрд років. Фотосинтезуючі продуценти практично сформували на Землі кисневу атмосферу.

Біосфера є відкритою термодинамічною системою. Енергію вона отримує від Сонця і з надр Землі (теплова енергія радіоактивного розпаду речовин у земній корі і ядрі планети). У біосфері отримана ззовні енергія трансформується і розсіюється, підпорядковуючись двом фундаментальним ***законам термодинаміки***. *Перший закон термодинаміки* — це закон збереження енергії (енергія не може ні з'явитися, ні зникнути, вона лише трансформується з однієї форми в іншу). *Другий закон термодинаміки* вивчає напрям якісних змін енергії в процесі її трансформації з однієї форми в іншу (закон описує співвідношення корисної та марної роботи під час трансформацій форм енергії). За другим законом термодинаміки, будь-яка робота супроводжується трансформацією високоякісної енергії в енергію нижчої та найнижчої якості — теплоту — й призводить до зростання **ентропії** (кількості енергії найнижчої якості, непридатної до корисної роботи, тобто розсіювання енергії); ***ентропія екосистеми*** — міра невпорядкованості екосистеми, міра кількості енергії, недосяжної для використання; максимальна ентропія характерна для деградованих екосистем, або таких, що перебувають на стадії вимирання.

Вважають, що еволюція біосфери відбувалась у напрямі зменшення ентропії. Чим довшими є ланцюги живлення, тим вони енергетично досконаліші. Саме завдяки

ланцюгам живлення в біосфері постійно відбувається не лише колообіг води, постійний обмін енергії, а й колообіг речовин, які живі організми використовують на утворення і підтримання життєдіяльності своїх тіл та забезпечення процесів розмноження. Усього відомо близько 80 хімічних елементів, необхідних біоті. Із продуктами життєдіяльності або після смерті ці елементи повторно потрапляють у довкілля і знову використовуються іншими організмами (постійний колообіг речовин). Хімічні елементи, які зазвичай використовуються у великих кількостях (не менш як 0,1% загальної маси організму) — ***це макроелементи*** (біогенні елементи): C, H, N, O, Na, P, S, K, Mg, Ca. Вони вбираються організмами з довкілля, поглинаються, концентруються в клітинах. Елементи, потрібні організмам у менших кількостях (до 0,1%), називають ***мікроелементами:*** Cu, Mo, Zn, B, I, Si та ін.

Великий і малий колообіги речовин (насамперед води, карбону, нітрогену, фосфору, сульфуру, калію, магнію, кальцію) — життєво важливі процеси біосфери — мільйони років не порушувалися, доки діяльність людини не набула сили планетарного характеру. За останні сто років, особливо в останні десятиріччя XX ст., антропогенна діяльність призвела до значних порушень колообігу речовин у біосфері, розвитку глобальної екологічної кризи. Саме діяльність людини значно прискорила процеси вивітрювання гірських порід, зумовила накопичення в атмосфері такої кількості газів, яка призвела до розвитку негативних кліматичних змін (парниковий ефект), появи озонових дір та кислотних дощів, деградації ґрунтів через надмірне накопичення в них токсичних хімічних сполук. Внаслідок збільшення в природних водах, повітрі й ґрунтах концентрації важких металів, нафтопродуктів, пестицидів деградують і гинуть екосистеми, уповільнюються процеси колообігу речовин у біологічному циклі, частішають спалахи "цвітіння" вод внаслідок масового розмноження мікроскопічних водоростей не тільки ставків, водосховищ, а й Світового океану, що сильно пригнічує розвиток консументів і призводить до порушень функціонування екосистем. Людина продукує також у величезних кількостях речовини, які не можуть бути залучені до біологічного колообігу (пластмаси, поліетилен тощо), оскільки не розкладаються редуцентами.

Накопичення в атмосфері вуглекислого газу, спричинене людською діяльністю, може призвести найближчим часом до потепління, танення льодовиків і підйому рівня води в океанах більш ніж на 100 м.

Антропогенна деструкція біосфери, спричинена неконтрольованим популяційним вибухом, надзвичайно швидкими темпами зростання населення, тягне за собою перевиснаження природних ресурсів, перевиробництво і, нарешті, перезабруднення довкілля. За прогнозами фахівців, якщо людина не почне сама регулювати зростання своєї популяції і обмежувати хижацьке споживання природних ресурсів, природа, згідно із законами регулювання, ліквідує цей чинник збурення в біосфері.

За теорією І.Пригожина система "суспільство — природа", досягнувши точки біфуркації* (наша цивілізація її практично досягла), повинна буде перебудуватися. Однак розпад старої системи зовсім не означає, що в системі настане хаос. Біфуркація слугуватиме стимулом до розвитку біосфери новим, невідомим шляхом. Безперечно, біосфера продовжить свій розвиток, але людині з такою філософією життя, як сьогодні, в ній місце навряд чи знайдеться.

В.Данилов-Данильян та ін. так визначають значення і стійкість біосфери:

- біосфера слугує не просто джерелом ресурсів для людини, а й приймачем відходів її виробництва та життєдіяльності; це значно складніша система,

---

* Біфуркація (лат. біфуркус — роздвоєний) — розгалуження у траєкторії руху системи в певній точці.

фундамент життя, в якій біота сама забезпечує стабільність стану навколишнього середовища;

- біосфера має граничну господарську ємність, перевищення якої порушує стійкість біоти і довкілля;
- у межах господарської ємності біосфера і екосистеми функціонують згідно з принципом Ле Шательє, швидко відновлюють усі порушення рівноваги у довкіллі, залишаючи його стан стабільним; здатність до відновлення в абсолютних величинах, як і межа господарської ємності, змінюється від ландшафту до ландшафту залежно від продуктивності біоти: в пустелях вона найменша, в лісах — найбільша;
- перевищення господарської ємності зумовлює недотримання принципу Ле Шательє біотою, порушення біологічного колообігу речовин, деградацію екосистем, забруднення довкілля;
- забруднення і руйнування навколишнього середовища призводить до трансформації екологічних ніш і загибелі багатьох видів організмів;
- головне завдання людини — збереження і відновлення природних угруповань організмів у таких масштабах, які забезпечать господарську ємність біосфери в цілому;
- межу росту людства зумовлює господарська ємність біосфери, верхнім порогом якої є переведення в антропогенний канал понад 1% чистої первинної продукції біоти (фотосинтезу); перевищення цього порогу призведе до глобальної екологічної катастрофи і розпаду генома людини і, як наслідок, зникнення її як виду.

2.2. Жива речовина

Сукупність усіх живих організмів на планеті, біомаса яких становить мізерну частку біосфери (~0,001%), В.Вернадський назвав "живою речовиною". Планету населяє приблизно 500 тис. видів рослин і 1,5 млн видів тварин. Якщо зрівняти поверхню Землі і рівномірно розподілити на ній існуючих рослин, тварин і мікроорганізмів, то вони утворять шар завтовшки всього 2 см.

Видовий склад і біомаса живої речовини наведені в ***табл. 2.2.***

Таблиця 2.2. **Жива речовина Землі**

Компоненти живої речовини	Жива біомаса, кг	Суха біомаса, кг
Продуценти		
Фітомаса наземна	$6,5 \cdot 10^{15}$	$2,6 \cdot 10^{15}$
Фітопланктон	$0,9 \cdot 10^{12}$	$0,18 \cdot 10^{12}$
Консументи		
Зоомаса суші	$6,0 \cdot 10^{12}$	$2,0 \cdot 10^{12}$
Зоопланктон	$21,2 \cdot 10^{12}$	$4,2 \cdot 10^{12}$
Зообентос	$6,6 \cdot 10^{12}$	$2,4 \cdot 10^{12}$
Нектон (мешканці пелагіалі, здатні до активного руху, — від ракоподібних до китоподібних)	$1,0 \cdot 10^{12}$	$0,23 \cdot 10^{12}$
Уся жива речовина суші	$6,5 \cdot 10^{15}$	$2,6 \cdot 10^{15}$
Уся жива речовина океану	$29,9 \cdot 10^{12}$	$7,05 \cdot 10^{12}$

Жива речовина — невіддільна складова біосфери, що об'єднує всі її компоненти в єдине ціле, є її функцією і одночасно "однією з наймогутніших геохімічних сил на нашій планеті"(В.Вернадський).

Жива речовина розміщена на планеті дуже нерівномірно, що пов'язано з різними умовами існування. Біомаса — кількісна оцінка живої речовини.

Біомаса — виражена в одиницях маси чи енергії кількість живої речовини тих чи інших організмів (популяцій, видів, окремих живих організмів, угруповань у цілому), яка припадає на одиницю площі чи об'єму.

Щороку продукція живої речовини досягає $3{,}8 \cdot 10^{11}$ т, тобто 1/8 частини існуючої *(табл. 2.3)*. Швидкість оновлення живої речовини біосфери залежить від численних чинників:

- виду організму;
- чисельності потомства;
- кліматичних умов;
- опору середовища тощо.

Таблиця 2.3. **Кількісна характеристика біомаси і продуктивності сучасної біосфери** (за Т.Акимовою і В.Хаскіним, 1998)

Показник	Маса, млрд т
Біомаса живої речовини біосфери	8344
Суха речовина біомаси біосфери	1360
Органічна речовина біомаси біосфери	1276
Річна продукція живої речовини (брутто)	847
Суха речовина продукції	138
Органічна речовина продукції	130
Річне споживання і виділення CO_2	224
Річне споживання і виділення води	21695
Річний обмін метаболічної води	69
Річне виділення і споживання кисню	163
Річний потік нетто-енергії фотосинтезу (10^{18}Дж)	2327

Основна маса живої речовини зосереджена на межі літосфери й гідросфери та у верхній частині гідросфери. Є "згущення життя" і "розрідження життя".

З наближенням до екватора від полюсів спостерігається:

- збільшення кількості видів (у вологих тропіках — гілеях — понад 8000 видів рослин — половина всіх існуючих на планеті, 67% усіх видів тварин, тоді як у тундрі — менш ніж 500 видів рослин, у хвойних і листяних лісах — до 2000 видів рослин);
- збільшення біомаси (первинна продукція екосистем тундри — в середньому 140 г сухої органічної речовини на 1 м^2 на рік, степових екосистем помірної зони — 5—30 т/га, з яких на зоомасу припадає 10—50 кг/га);
- збільшення висоти дерев (у тундрі це низькі, покручені, часто повзучі або подушкоподібні форми рослин — береза, верба; у тропіках висота сягає 30—40 м);
- зростання потужності ґрунту.

Океан бідніший на життя: біомаса Світового океану в 1000 разів менша від біомаси суші. Загальна первинна продуктивність фітопланктону Світового океану становить 50 млрд т на рік, тобто близько третини всієї первинної продукції біосфери. Найбільша

щільність життя в океані, як і на суходолі, — в екваторіальній зоні, особливо в коралових рифах.

Світ живої природи надзвичайно різноманітний і його будову, зв'язки, функціонування розглядають на різних рівнях і з різних точок зору.

Форми існування особин

З метою кращого пристосування до умов середовища (добування їжі, захист потомства, розмноження) тварини можуть вести як поодинокий спосіб життя, так і утворювати численні угруповання.

Поодинока форма існування особин характерна для зайців, сонечок.

Сімейна форма існує у ведмедів, бобрів, вовків, птахів до вильоту пташенят (пташенят годують або обоє батьків, або один, що надзвичайно важко, адже за підрахунками орнітологів пара великих синиць упродовж двох тижнів приносить їжу пташенятам не менше 10 685 разів!). Кількість відкладених яєць часто залежить від їх безпеки: орли, що живуть у недоступних місцях, відкладають 1-2 яйця, перепілки, гніздо яких розташоване в траві і незахищене від ворогів, — до двох десятків.

Соціальні групи — невеликі групи тварин (прайди), які живуть разом. Так, леви утворюють невеликі групи, в яких самиці полюють і турбуються про потомство.

Колонії — це великі скупчення тварин. Кенійські щурки гніздяться на піщаних відслоненнях, формуючи колонії чисельністю до 225 пар. Часто в разі нестачі їжі кілька птахів обслуговують одну пару.

Колонії бджіл, термітів, мурах мають дуже складну організацію, в якій кожна група виконує свої соціальні функції (добуває їжу, прибирає житло, охороняє і вирощує потомство).

Надорганізми — найвищий ступінь взаємодії організмів у колонії з утворенням єдиної самодостатньої системи. Корал — це тисячі крихітних тварин — коралових поліпів, що злилися в єдиний кораловий організм.

2.3. Екологічні чинники середовища

Живі організми, що населяють нашу планету, освоїли чотири основні середовища, кожне з яких має свій склад і особливості, свої екологічні чинники (абіотичні й біотичні): водне середовище, водно-повітряне, ґрунт, самі організми.

Екологічні чинники за ставленням до них організмів поділяють на

- життєво необхідні для організмів (вода, температура);
- не необхідні, але впливові (вітер, радіаційний фон);
- нейтральні — байдужі для організмів (інертні гази).

Первинними чинниками середовища є вода, світло, температура, хімічні та механічні фактори; ***комплексні групи чинників*** — кліматичні, орографічні (рельєф), едафічні (ґрунти), біотичні.

Абіотичні чинники середовища

Абіотичні чинники навколишнього середовища — це фізичні та хімічні чинники (світло, температура, вологість, вітер, вогонь, солоність вод і ґрунтів, pH середовища, біофільні елементи тощо). Всі вони по-різному впливають як один на одного, так і на біотичний компонент екосистеми.

Для кожного виду організму існує:

- ***зона оптимуму*** (організм існує в найсприятливіших для розвитку умовах);
- ***зона песимуму*** (стресова зона);
- ***діапазон стійкості,*** за межами якого організм гине (стосовно кожного чинника середовища).

Закон обмежувальних чинників (*закон Лібіха*): "Навіть єдиний чинник за межами зони свого оптимуму викликає стресовий стан організму, а поза межами стійкості — загибель".

Температура. Тепло розподіляється на Землі нерівномірно: найбільше сонячної енергії отримують тропічні зони, найменше — території біля полюсів, де сонячне проміння неначе ковзає по їхній поверхні.

У природному середовищі спостерігаються широтні, сезонні, добові, висотні, глибинні, мікрокліматичні та інші температурні зміни. Для оцінки температурного режиму використовують такі характеристики:

- середньорічні температури;
- суму активних температур понад +10° С;
- радіаційний баланс.

При низьких температурах знижується інтенсивність біохімічних процесів, при високих — руйнується білок, зокрема той, що входить до складу ферментів.

Нормальне функціонування рослин можливе лише за певного температурного режиму, який визначається кількістю тепла і тривалістю його дії.

При низьких температурах корені рослин погано засвоюють воду і поживні речовини. Підвищення температури від 10 до 25° С покращує засвоєння поживних речовин рослинами; охолодження ґрунту нижче 10° С зменшує надходження біофільних елементів, у першу чергу, нітрогену й фосфору.

Підвищення концентрації ґрунтового розчину знижує залежність поглинання поживних речовин від температури; при високих температурах рослини гірше засвоюють фосфор. Оптимальні умови забезпечуються при 23—25° С.

Залежно від того, наскільки рослинам необхідне тепло, їх поділяють на:

- ***термофільні (теплолюбні)*** — пальма, фікус, цитрусові;
- ***кріофільні (холодостійкі)*** — рослини тундри та альпійських зон;
- ***мезотермні*** — рослини помірного клімату.

Тварин за ставленням до тепла поділяють на типи:

- ***гомойотермні (ендотерми,*** або ***теплокровні)*** — регулюють і підтримують сталу температуру тіла (ссавці, птахи);
- ***пойкілотермні (ектотерми,*** або ***холоднокровні)*** — змінюють температуру відповідно до температури навколишнього середовища (земноводні, плазуни).

Основними способами регуляції температури у пойкілотермних тварин є:

- зміна пози (пустельна сарана вранці зігрівається, підставляючи до сонця широкий бік, у спеку — вузьку спину);
- зміна місця перебування (карликова африканська змія ховається від пекучих сонячних променів, як і багато ящірок, зариваючись у землю);
- побудова жител, в яких здійснюється терморегуляція (мурахи);
- хімічна терморегуляція (джмелі розігрівають тіло тремтінням).

Теплокровні тварини регулюють температуру зміною швидкості обміну речовин; в арктичній зоні ***хімічна терморегуляція*** невигідна, тому тварини виробили чимало пристосувань для збереження теплоти ***(фізична терморегуляція)*** — пух, пір'я, довге хутро.

"Якщо два близьких види чи підвиди одного виду відрізняються розмірами, то більший живе в холодніших, а менший — у тепліших кліматичних умовах" (*правило Бергмана*).

Найнижчі температури (−200° С) витримує насіння рослин. На океанічному дні в місцях виходу гарячих джерел, температура яких досягає 360° С, існують донні екосистеми, основою функціонування яких є хемосинтетики — бактерії, що утворюють біомасу, використовуючи енергію, що виділяється при окисненні H_2S до сульфатів.

❖ **Цікаві факти**

За температури +26° С період між часом виходу з яйця до утворення лялечки у метелика білана становить 10—11 діб, а при +10° С — понад 100 діб.

Сон-трава, яка розквітає ще в холодні весняні дні, завдяки формі квітки фокусує сонячні промені в центрі чашечки, де відбувається запліднення; навіть за температури повітря 0° С в квітці вона становить +8° С; синьо-фіолетове забарвлення пелюсток дає змогу повніше поглинати сонячну енергію, зокрема інфрачервоне (теплове) випромінювання.

У зонах із високою температурою повітря поширені тварини з великими виступаючими частинами (вуха у слонів і тушканчиків).

Риби обживають водойми з різним температурним режимом: у гарячих джерелах Каліфорнії (+52° С) живе луканія; далія мешкає в промерзлих водоймах Чукотки і Аляски; карась, вмерзаючи в лід, залишається живим.

За здатністю витримувати коливання температур риб поділяють на:

- **евритермних** (грец. еври — широкий), що можуть жити в широкому проміжку температур (щука, карась, короп);
- ***стенотермних*** (грец. стена — вузький), пристосованих до малого температурного режиму, — риби тропічних і полярних зон та риби значних глибин, де температура мало змінюється.

Вода має багатопланове значення в житті рослин:

- є середовищем для існування водяних рослин і водоростей;
- становить основу організму;
- визначає тургор;
- забезпечує охолодження (при випаровуванні води масою 1 г тіло втрачає 2430 Дж енергії; одна рослина соняшника чи кукурудзи випаровує за вегетаційний період близько 200 кг води);
- встановлює йонний баланс;
- визначає газообмін і засвоєння вуглекислого газу;
- є джерелом водню для світлової фази фотосинтезу (на синтез 1 г органічної речовини рослина витрачає 300—500 г води);
- забезпечує транспортування поживних речовин і всмоктування їх із ґрунту;
- виводить із рослини продукти метаболізму;
- визначає стан і стійкість за екстремальних умов.

Вміст вологи в ґрунті забезпечує надходження поживних речовин з ґрунтового розчину і ґрунтового вбирного комплексу до коренів рослин.

У разі високої концентрації солей в ґрунтовому розчині (нестача вологи в ґрунті) вода дифундуватиме з коренів рослин і рослина загине внаслідок втрати вологи.

Надлишкове зволоження ґрунту посилює надходження в рослину токсичних закисних сполук феруму, мангану і зменшує поглинання кисню.

З усієї одержаної рослиною води на утворення органічних речовин у процесі фотосинтезу витрачається лише 0,2%, решта йде на випаровування, яке є рушійною силою в піднятті поживних розчинів з коренів до всіх частин рослини та захищає рослину від перегрівання.

Серед дерев найбільш вологолюбним визнаний дуб: за день він поглинає 85 л води, тоді як вільха — 66, береза — 60, ялина — 13, сосна — 9 л.

За водним режимом усі організми поділяють на:

- ***пойкілогідричні,*** в яких немає вакуолей і вміст води змінюється відповідно до зовнішнього середовища (водорості, лишайники);
- ***гомойогідричні***, що мають вакуолі і підтримують сталий вміст води (судинні рослини і тварини).

За потребою у воді рослини поділяють на:

- ***ксерофіти*** — рослини, що ростуть в умовах посушливого клімату (кактуси, ковила); вони пристосовуються до нестачі вологи скиданням листя, запасанням води, перериванням ритму розвитку під час посухи, регулюванням фотосинтезу; наявністю волосків і воскового покрову, що утримують вологу і захищають від випаровування, зменшенням кількості продихів;
- ***мезофіти*** — потребують середнього вмісту води (бук, граб);
- ***гігрофіти*** — ростуть у вологих місцях (сусак зонтичний, рогіз);
- ***гідрофіти*** — водяні рослини (рдест, латаття біле).

Світло — один із найважливіших для рослин абіотичних чинників середовища, оскільки завдяки йому відбувається найважливіший на Землі процес — ***фотосинтез***. На розвиток рослин впливає: інтенсивність сонячної радіації; розподіл світлових умов у часі; якісний склад світла (найважливіша для фотосинтезу частина спектра з λ = 380—710 нм, яку називають ***фотосинтетично активною радіацією).***

❖ Цікаві факти

Риби пристосовуються до життя у воді, густина і в'язкість якої відповідно у 800 і 60 разів більша, ніж повітря, у такий спосіб:

- *зменшенням щільності тіла за рахунок повітряного пухиря, жирового шару; вправні плавці — осетр, судак, короп мають нульову плавучість (щільність тіла і густина води однакові);*
- *у придонних риб, таких як камбала, незначна від'ємна плавучість, що сприяє їх утриманню на дні;*
- *формою тіла (донні риби, що витримують великий тиск, бувають плоскими).*

Відкладання яєць у комах відбувається лише при певній вологості повітря.

Комарі не кусаються, якщо відносна вологість повітря нижча за 40%.

Верблюд і одежна міль отримують воду метаболічним шляхом, окиснюючи жири свого тіла.

З освітленістю корелює поглинання мінеральних елементів коренями рослин. Дослідами встановлено, що вдень поглинання калію, кальцію і фосфору перевищує нічне вдвічі, інтенсивніше відбувається і засвоєння CO_2 коренями рослин, тому в загущених посівах навіть оптимальні дози добрив можуть не дати бажаних результатів.

За необхідністю світла рослини поділяють на:

- ***світлолюбні (геліофіти)*** — рослини, які ростуть на освітлених місцях: трави степів і лісів, лишайники на голих скелях, водяні рослини з плаваючим на поверхні листям;
- ***тіневитривалі (факультативні геліофіти)*** — мають широку екологічну амплітуду щодо освітлення;
- ***тінелюбні (сціофіти)*** — полюбляють незначну освітленість і ростуть у нижніх ярусах (зелені мохи, плауни).

Велике значення для розвитку рослин має і тривалість світлового дня. Реакцію на тривалість освітлення називають ***фотоперіодичною реакцією.***

Рослини довгого дня — переважно рослини типу C_3, у яких відновлення карбону відбувається за циклом Кальвіна; вони розквітають лише тоді, коли тривалість дня перевищує 12 год. ***Рослини короткого дня*** — рослини типу C_4 (відновлення карбону здійснюється ще й за циклом Хетча-Слека); квітнуть при 12-годинному освітленні і меншому, оскільки ефективність поглинання ними CO_2 більша.

Рослини довгого дня — пшениця, картопля; короткого — айстра, капуста (якщо редиску, що належить до рослин короткого дня, посіяти пізно навесні, вона не формуватиме смачний корінь); фотоперіодично нейтральні, тобто можуть квітнути за тривалості дня як більше, так і менше ніж 12 год., — бузок, кульбаба. Гриби можуть рости в темряві.

❖ Цікаві факти

Рослини використовують таку кількість сонячної енергії, у %:

- *морські водорості — 3—5;*
- *рослини тропічних і хвойних лісів — 1—3;*
- *листопадні ліси помірного клімату — 0,6—1,2;*
- *сільськогосподарські культури — 0,01—0,02.*

Середня ефективність використання сонячної енергії у рослин — 1%, максимальна продуктивність фотосинтезу у зернових культур за сприятливих умов — 3—10%.

У пошуках кращого освітлення рослина, наприклад соняшник, може повертати до Сонця стебло чи листя — явище **геліотропізму**.

Насіння чорнушки проростає лише в темряві. Окремі рослини (матіола, мильнянка) квітнуть увечері і вночі, оскільки їх запилювачами є нічні комахи; вони мають переважно біле забарвлення.

При проходженні сонячних променів крізь товщу води хвилі з різною довжиною по-різному поглинаються, тому вище розміщуються зелені, нижче бурі, а найглибше — червоні водорості.

По-різному реагують на світло і тварини: кроти живуть у землі і позбавлені сонячного світла; сови і кажани ведуть нічний спосіб життя.

Тварини використовують світло для орієнтації. До ***фотофілів*** (грец. фотос — світло і філ — любити) належить півень, до ***фотофобів*** (грец. фотос — світло і фобос — боязнь) — кажани. Деякі тварини сприймають інфрачервоне випромінювання і можуть полювати в темряві.

Інтенсивність освітлення впливає на активність тварин, що ведуть

- денний спосіб життя (метелики, ящірки);
- присмерковий (комарі, хрущі);
- нічний (сова, гримуча змія).

Білан капустяний розвивається лише в умовах довгого дня, сарана є представником тварин короткого дня.

Хімічні чинники. До них належить хімічний склад навколишнього середовища: в ґрунті це вміст поживних для рослин речовин, pH, вологість, концентрація гумусу, наявність забрудників; у повітрі — вміст вуглекислого газу, кисню; у воді — токсичних речовин тощо. Ось кілька прикладів:

- збалансованість вмісту в ґрунті біофільних макро- і мікроелементів забезпечує його родючість;
- лише галофіти можуть рости на засолених ґрунтах завдяки існуванню спеціальних механізмів, що не пропускають сіль у клітину, зменшують її концентрацію розбавлянням чи накопичують сіль у клітинних вакуолях;
- у місцевостях, де в повітрі підвищений вміст оксидів сульфуру, не ростуть лишайники.

Механічні чинники. Вітер формує крони дерев, бере участь у запиленні ранньоквітучих рослин (ліщини, вільхи) та поширенні насіння рослин (ясен, кульбаба).

З'їдання і витоптування рослин на луках змінює співвідношення між видами (деякі рослини, зокрема відкасник, будяк, захищаються від виїдання голками, молочай — гірким соком), сприяє посиленню вітрової і водної ерозії.

Пожежі (верхові) можуть повністю знищити ліс; **низові** ж часто навіть корисні — гинуть фітофаги, що живуть в опалому листі і хвої, розкриваються шишки деяких шпилькових порід.

Комплексні групи чинників

Кліматичні умови, зумовлені переважно температурою і вологістю, забезпечують існування видів, пристосованих до них. Так, у тундрі, де літо дуже коротке, рослини швидко ростуть, квітнуть, дають потомство і відмирають до наступного літа. В тропічних сприятливих умовах надзвичайно багатий рослинний і тваринний світ, тут ростуть вічнозелені рослини.

Орографічні умови (рельєф). Навіть на різних схилах гори — південному і північному — різні умови, рослинність, угруповання тварин.

Едафічні (ґрунтові) чинники. Грунти відрізняються за хімічним складом, фізичними і структурно-механічними властивостями, тому і ростуть на них пристосовані види: на родючих — кропива, малина; на засолених — солонець, очиток їдкий, на кислих — сфагнуми, плавун булавоподібний, на ґрунтах з високим вмістом кальцію — кальцеофіли (білотка альпійська, материнка, біла акація).

Біотичні чинники середовища

Біотичні чинники середовища – це вплив одних видів організмів на інші. До біотичних чинників можна віднести і **антропогенні** (вплив людини на функціонування екосистеми в цілому чи її окремий компонент). Біотичними чинниками є наявність їжі, присутність чи відсутність ворогів, конкурентів, паразитів тощо.

Біотичні чинники поділяють на:

- зоогенні (вплив тварин; наприклад, витоптування лугу);
- фітогенні (вплив рослин, зокрема виділення фітонцидів для знищення бактерій);
- мікробогенні (поява хвороб, зумовлених хвороботворними мікроорганізмами);
- антропогенні – сукупність різних видів впливу людини на природне середовище, рослинний і тваринний світ та на саму себе:
  - ✓ вирубування лісів;
  - ✓ розорювання цілинних земель;
  - ✓ полювання на окремі види тварин і птахів;
  - ✓ забруднення водойм і загибель риби;
  - ✓ зміна стану довкілля і зростання захворюваності людей.

2.4. Типи взаємовідносин між організмами

За В.Беклемішевим, форми зв'язків між організмами в біоценозі поділяють на:

- ***топічні*** – виникають завдяки створенню одними організмами сприятливого середовища для існування інших (бобові рослини збагачують ґрунт сполуками нітрогену за рахунок бульбочкових бактерій, сприяючи розвиткові інших видів);
- ***трофічні*** — особини одного виду використовують інший вид, продукти його життєдіяльності чи мертві рештки як джерело їжі;
- ***фабричні*** — зв'язки, за яких особини одного виду використовують особин іншого виду або їх частини для побудови гнізд чи схованок (утворення галів)*;
- ***форичні*** — зв'язки, що забезпечують перенесення особин одного виду особинами іншого виду (водорості на шерсті лінивця).

* Гали — утвори різної форми і кольору на рослинах — домівки для личинок, що з'явилися внаслідок введення комахами в рослину речовин, які прискорюють ріст (гали дубової горіхотворки на дубовому листі; кленовий очкоподібний листовий гал; особливо цікавий гал шишкоподібної дубової галиці, в якій крім будівничого знайшли притулок ще 31 вид комах).

Існує і така класифікація.

Хижак — жертва. У цих взаємовідносинах кожен учасник набуває численних пристосувань, які дають йому змогу вийти переможцем.

Хижак має міцні зуби, довгі кігті, міцний дзьоб, прудкі ноги (вовк, тигр, орел, леопард). Тварина-жертва має ще більше пристосувань, щоб урятувати життя. Ось лише кілька з них.

Ящірка, коли хижак торкається її хвоста, залишає його, а сама ховається (хвіст ще якийсь час ворушиться, відволікаючи увагу переслідувача); згодом втрачений орган регенерується.

Жук-бомбардир у разі небезпеки вистрілює струмінь рідини з неприємним запахом (реагенти перебувають у різних камерах, як у вогнегасниках — сода і кислота, а при їх сполученні відбувається енергійна реакція з виділенням продукту; температура рідини досягає 100° С).

Рибка-клоун вкрита спеціальним захисним слизом, який дає змогу їй жити в заростях морських анемонів, що мають отруйні щупальця і небезпечні для інших риб.

Дуже поширене в природі відлякувальне забарвлення (зокрема, червоне вважається неїстівним і отруйним) та маскування під небезпечних тварин (чотирисмугого лазячого полоза рятує його схожість із кораловою змією).

Симбіоз — форма спільного існування двох видів, яка обом приносить користь. Прикладом можуть бути лишайники — особливі організми, утворені в результаті симбіозу водорості й гриба, з новими морфологічними, фізіологічними та екологічними властивостями. Гриб дає прихисток, постачає воду і мінеральну речовину водорості, а водорість синтезує органічну речовину. Лишайники мають різну форму (накипні, листуваті, кущисті) та колір (завдяки наявності п'яти груп пігментів — зелених, синіх, фіолетових, червоних, коричневих), виділяють лишайникові кислоти; першими заселяють гірські породи, спричиняючи їх повільне руйнування; використовуються як індикатори стану довкілля, для визначення віку історичних пам'яток завдяки їх повільному росту.

Рибки-санітари підтримують здоров'я багатьох океанічних риб, живлячись рештками з їхнього столу.

Мурашки роблять нірки в колючках акації "бичачий ріг": дерево дає їм житло і смачні нарости на листі, а мурашки охороняють дерево від шкідливих комах.

Коменсалізм — буквально "харчування зі спільного столу" — менш тісна взаємодія, ніж симбіоз. Приклад — миша і людина: миша поїдає залишки їжі людини, а остання не має з цього користі.

Співпраця. У рослиноїдних тварин прикладом партнерства у живленні є симбіоз із мікроорганізмами, які оселяються в їхній травній системі, не лише поліпшуючи травлення, а й забезпечуючи тварин вітамінами, амінокислотами та іншими біологічно активними речовинами. Завдяки наявності цих бактерій жуйні тварини можуть засвоювати целюлозу.

Прикладом співпраці є й різні пристосування рослин (солодкий нектар, приємний запах; хоча запах гнилої риби, який виділяє квітка стапелії, важко назвати приємним, але він приваблює мух, які живляться мертвечиною) до запи-

❖ Цікаві факти

Бджолі для одержання 1 кг меду потрібно зібрати нектар (а отже одночасно й запилити) з 2000 квіток білої акації, 5000 квіток еспарцету або 5 млн квіток червоної конюшини.

Нектару рослина виділяє небагато — всього кілька міліграмів (липа широколиста — 2,7 мг, звичайна — 1,9 мг).

А от на пилок рослина не скупиться: квітка дикого маку-самосійки дає 2,3 млн зерен, півонії — 3,6 млн зерен, щедрі на нього шипшина, калюжниця, сон-трава, латаття біле. Пилок дуже поживний. Зокрема, пилок вільхи має такий склад: 25,6% жирів, 24,4% білків, 4,6% цукру.

лення їх комахами. Є навіть орхідеї, що приваблюють самців комах, оскільки їх квіти за формою, забарвленням, запахом нагадують самиць.

Рослина, яку запилюють комахи, пропонує їм солодкий нектар, що містить розчинені у воді сахарозу, глюкозу, тростинний цукор, малі домішки азотних і мінеральних сполук.

Поживою для комах можуть бути солодкі волоски на тичинках і стовпчиках, пелюстки квітів.

Крихітна оса-бластофага відкладає яйця в жіночі квітки інжиру, зав'яззю живиться личинка. Дорослі комахи тут же запліднюються; самці гинуть, а самиці вилізають, вимастившись пилком чоловічих квіток, розташованих у вузькій частині квітколожа. Перелітаючи на інші суцвіття, оса переносить на них пилок.

Конкуренція у тваринному світі може бути через їжу, коли кілька видів, зокрема лев і тигр, харчуються одними і тими самими тваринами. Серед рослин — це конкуренція за світло, воду, поживні речовини. І тут майстерність природи неперевершена.

У каліфорнійському чапаралі (зона рослинності з відносно низькою нормою опадів уздовж берегів Південної Каліфорнії), який межує з природними луками, спостерігаються цікаві взаємовідносини між рослинами — зональне розміщення трав'янистих рослин навколо кущів, які домінують у цій флорі,— шалфеєм і полином (це помітно на аерофотознімках). Воно полягає в тому, що безпосередньо біля кожного кущика є зона голого ґрунту завширшки 1—2 м. За нею міститься зона пригніченого росту, де вибірково ростуть лише деякі трави, а далі простягаються луки з буйною рослинністю. Це пригнічення росту К.Мюллер і співпрацівники пояснюють виділенням шалфеєм і полином терпенових токсинів (α- і β-пінену, камфори, камфену, туйону).

Алелопатією пояснюють те, що ріст винограду пригнічує сусідство капусти, редьки, лавру, а от фіалка, навпаки, сприяє росту і розвитку винограду.

У ґрунті нечасто спостерігається зростання коренів — переважно вони рівномірно розподілені, але різна форма і довжина дають змогу корінню діставати воду і поживні речовини з різних площ та різних глибин. У пошуках води корені злаків проникають на глибину 1—1,5 м, кукурудзи — до 2,5 м, дерев — до 10—20 м, степової люцерни — до 18 м; в ширину — хлібні злаки до 60—80 см, диня — 6—8 м, дерева — 10—18 м, кукурудза — 2—2,5 м.

Паразитизм — форма антагоністичного співжиття організмів, що належать до різних видів, за якої один з організмів (паразит) використовує інший організм (хазяїн) як середовище існування та джерело живлення, існуючи за його рахунок і завдаючи йому шкоди, але не спричинюючи загибелі.

Паразитизм поширений у природі (віруси, бактерії, гриби, багато безхребетних). До рослин-паразитів належать повитиця, вовчок.

За місцем існування розрізняють паразитів:

- ***зовнішніх (ектопаразитів)***, які живуть на зовнішніх покривах (п'явки, кровосисні комахи);
- ***внутрішніх (ендопаразитів)***, що живуть всередині організму — паразити крові, кишок, печінки та інших органів, наприклад малярійний плазмодій, аскарида.

Поява стригучого лишая на тілі зумовлена грибами, які роз'їдають шкіру людини.

Синойкія (грец. сін — разом, ойкос — будинок, житло) — співжиття, за якого один партнер використовує організм іншого як житло.

Прикладом можуть бути гали, що утворюються на гілках, черешках та листкових пластинках дерев, рідше — на корінні. Комахи виділяють у них речовини, які прискорюють ріст клітин, унаслідок чого утворюються химерні нарости різних форм, де комахи відкладають яйця.

В порожніх стеблах рослин мурахи влаштовують свої житла, навіть "ферми", де ростуть гриби.

Метаболічна регуляція — це вплив продуктів метаболізму на чисельність особин того самого чи іншого виду. Він характерний як для рослин (**алелопатія**), так і для тварин.

Ще Теофраст, якого називають батьком ботаніки, помітив вплив летких виділень однієї рослини на ріст і розвиток іншої. Саме в його трактатах сказано, що навколо грецького горіха погано ростуть інші плодові дерева.

Жовті глечики запобігають "цвітінню" води: витяжка з них у співвідношенні 1:6000 викликає загибель синьозелених водоростей.

Пуголовки жаб, коли їх надто багато, виділяють у воду речовину, яка не впливає на дорослих жаб, але отруйна для молоді, що сприяє регулюванню їх чисельності.

2.5. Популяції

Популяція (англ. популяціон — населення) — це сукупність особин одного виду, здатна до самовідновлення і відмежована від інших аналогічних сукупностей цього самого виду екологічними (включно з часовими й просторовими) чи біологічними бар'єрами, що ускладнює обмін генетичною інформацією.

Просторова структура характеризується розміром, чисельністю, щільністю та константністю.

Усталений спосіб життя і простір, який займають рослини, називають ***популяційним полем***. У тварин є ***територія***, яку вони контролюють, оберігають від особин цього самого чи іншого виду, мітять. Особини можуть вести поодинокий спосіб життя, утворювати (залежно від співвідношення кількості особин чоловічої та жіночої статей) — сім'ї (1 : 1), прайди (1 : кілька), стада (кілька : багато), колонії, зграї (багато : багато).

Вікова структура залежить від ступеня розвитку популяції, екологічних умов, стійкості. Популяції можуть бути поліциклічними (що складаються з різних поколінь) і моноциклічними — з особин одного віку і одного покоління.

В останні десятиліття відбуваються зміни вікового складу популяцій людей у бік збільшення групи похилого віку.

Статева структура може бути сталою або змінюватися залежно від виду, сезону, стадії розвитку. Так, у черепах залежно від температури виводяться переважно самці або самиці.

Ареал популяції — це частина земної поверхні (чи акваторії), у межах якої в природних умовах існує популяція.

Ареал залежить від радіуса індивідуальної активності і становить у слимаків кілька метрів, у риб — сотні метрів, у китів — тисячі кілометрів. Ареал може розширюватися чи звужуватися залежно від виду, умов, сезону.

Рослини збільшують свій ареал за рахунок поширення плодів і насіння, у чому їм сприяє вітер, вода, птахи, тварини, комахи і навіть людина. Освоєння нових територій людиною, розширення транспортних магістралей також сприяли поширенню рослин. Подорожник, який в Америці дістав назву "слід білої людини", можна знайти скрізь уздовж доріг і стежок — його липке дрібне насіння пристає до підошов взуття і мандрує з людиною, долаючи кордони. Розширив свій ареал горобець — де є людина, там гніздується і цей птах.

Деякі рослини й тварини, навпаки, скоротили свій ареал, часто завдяки втручанню людини: внаслідок збирання на продаж весняних букетів — конвалії, підсніжни-

ки, ряст; при осушенні боліт – вахта трилиста, валеріана, череда; внаслідок хижацького знищення та отруєння пестицидами на полях – лисиці і зайці. Деякі види зовсім збідніли і залишилися лише окремі особини або невеликі популяції.

2.6. Екосистеми

Термін "екосистема" запропонований у 1935 р. англійським ботаніком А.Тенслі. До цього поняття входить не лише комплекс організмів, а й комплекс чинників навколишнього природного середовища.

Термін "екосистема" близький до терміна "біогеоценоз", введеного в обіг російським ученим В.Сукачовим у 1940 р.

Біогеоценоз — природна ділянка земної поверхні з певним складом живих і неживих компонентів і динамічною взаємодією між ними.

Біогеоценоз містить два компоненти:

- ***екотоп*** (грец. топос — місце) – сукупність на певній території ***абіотичних чинників*** — кліматичних (кліматоп) і ґрунтових (едафотоп);
- ***біоценоз*** — сукупність живих організмів: I — *рослин (фітоценоз),* II — *тварин (зооценоз)*; III — *мікроорганізмів (мікробоценоз);* IV — *грибів (мікоценоз)* — ***біотичний чинник (рис. 2.1).***

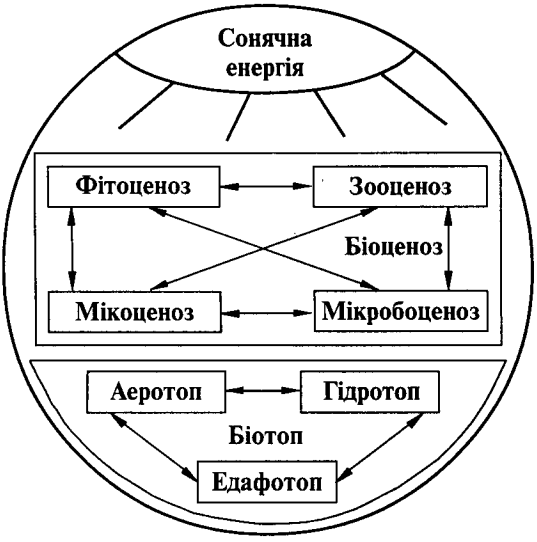


Рис. 2.1. Схема будови природної екосистеми (за С.Швіндлерманом)

Кожний біоценоз має ***видову структуру*** (розмаїття видів, співвідношення їх чисельності). Чим ближчі умови навколишнього середовища до оптимальних, тим багатші на кількість видів і чисельність біогеоценози. Існує ще ***просторова*** і ***екологічна структура*** біогеоценозу.

Відповідно до абіотичного оточення біоценози (лат. біос — життя і койнос — загальний, спільний) поділяють на гідробіоценози, біогеоценози та агрофітоценози (переважно сільськогосподарські угіддя, сади, штучно створені руками людини для задоволення власних потреб).

Функціональними компонентами біогеоценозу є абіотичні чинники довкілля, комплекси ***автотрофних*** (що утворюють органічну речовину з неорганічної) і ***гетеротрофних*** (що споживають у вигляді їжі готові органічні речовини) організмів, а також ***редуцентів*** (деструкторів) — бактерій, грибів, найпростіших і ***детритофагів*** (які переробляють органічні рештки мертвих рослин і тварин до неорганічних).

Поняття "біогеоценоз" і "екосистема" майже ідентичні, можливо, останнє ширше і останнім часом воно більш уживане.

Екосистема — це угруповання різних видів рослин, тварин, грибів і мікроорганізмів, що взаємодіють між собою і з навколишнім середовищем таким чином, що може зберігатися тривалий час завдяки обміну речовин, енергії та інформації.

Біотична структура екосистем

Продуценти (автотрофи) — організми, переважно зелені рослини, які з вуглекислого газу і води продукують органічну речовину, використовуючи для процесу фотосинтезу сонячну енергію і виділяючи кисень:

$$6CO_2 + 6H_2O \xrightarrow{\text{Світло}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2\uparrow.$$

Рослини називають ***фототрофами***. Є організми, що також синтезують органічну речовину із CO_2 і H_2O, але використовують хімічну енергію, яка виділяється під час окиснення деяких сполук (феруму (II), гідрогенсульфуру (сірководню), метану, аміаку); вони дістали назву **хемотрофи**. Деякі бактерії як джерело водню використовують не воду, а гідрогенсульфур, тоді процес синтезу вуглеводу описується схемою:

$$6CO_2 + 6H_2S \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6S\downarrow.$$

Консументи (гетеротрофи) — організми, що використовують готові органічні сполуки як джерело їжі та енергії. Відповідно до способу живлення консументи поділяють на:

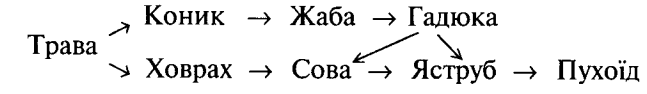
- ***первинних консументів (травоїдних*** або ***фітофагів)*** — живляться рослинною їжею;
- ***вторинних консументів (м'ясоїдних*** або ***хижаків)*** — споживають тваринну їжу;
- ***паразитів***, які живуть за рахунок хазяїна (глисти, комахи, зокрема гедзь, кліщ, повитиця, омела біла).

Детритофаги і редуценти — організми, які також споживають готові органічні сполуки, якими є мертві рештки (опале листя, коріння, гілочки дерев — детрит), трупи та продукти життєдіяльності тварин (гриби, бактерії, найпростіші, черви, жуки-гнойовики, раки). Завдяки їхній діяльності знов утворюються форми, доступні для живлення рослин. Це санітари, що очищають екосистему від сміття і замикають ланцюг колообігу хімічних елементів.

Ланцюги живлення

Цей термін запропонований Ч.Елтоном. Трофічні ланцюги, що починаються з фотосинтезуючих організмів, називають ***ланцюгами виїдання або пасовищними ланцюгами*** (трава — миша — сова — яструб — пухоїд). Ланцюги, які беруть початок із відмерлих решток рослин, трупів і екскрементів тварин, називають ***ланцюгами розкладання,*** або ***детритними ланцюгами*** (перегній — жук-гнойовик — ворона — яструб — пухоїд).

Ланцюги живлення (трофічні ланцюги) можуть розгалужуватися, якщо один із його учасників може живитися кількома видами їжі, утворюючи ***трофічні мережі.*** У природі вони трапляються частіше, ніж трофічні ланцюги, що забезпечує більшу стійкість екосистем у разі зміни умов середовища:



Трофічний рівень — це сукупність організмів, які дістають перетворену на їжу енергію Сонця і хімічних реакцій (від автотрофів) через однакову кількість посередників трофічного ланцюга:

- перший рівень (без посередників) — продуценти;
- другий — первинні консументи (травоїдні організми);
- третій — вторинні консументи (хижаки) і паразити первинних консументів;

- четвертий – вторинні хижаки і паразити вторинних консументів;
- п'ятий – паразити вторинних хижаків;
- шостий – надпаразити високих порядків.

Редуценти можуть складати всі трофічні рівні, починаючи з другого; вони безпосередньо розкладають тіла продуцентів.

Екологічні піраміди

Кількість ланок ланцюга живлення в екосистемі, як правило, не перевищує 4—6 і обмежується правилом екологічної піраміди, згідно з яким загальна біомаса кожної наступної ланки (трофічного рівня) в ланцюзі живлення зменшується ***(рис. 2.2)***.

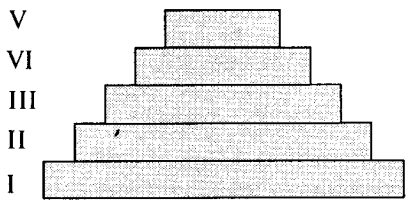


Рис. 2.2. Екологічна піраміда

Відповідно до того, що саме характеризують піраміди, вони поділяються на три типи:

- **піраміда чисел**, що відображає чисельність окремих видів;
- **піраміда біомас** характеризує суху масу чи енергетичну цінність;
- **піраміда енергії** показує величину потоку енергії чи продуктивність на кожному трофічному рівні.

Принципи функціонування екосистем (за Б.Небелом)

Цілісність і стійкість екосистем забезпечується:

- колообігом хімічних елементів;
- використанням сонячної енергії;
- передачею енергії по ланцюгах живлення.

Перший принцип. *Одержання ресурсів і позбавлення відходів відбувається в рамках колообігу всіх хімічних елементів.*

Біогеохімічні цикли — це циклічне поетапне перетворення речовин та зміна потоків енергії із просторовим масоперенесенням, яке здійснюється завдяки сумісній абіотичній і біотичній трансформації речовин.

Міграція речовин у межах геосфер поділяється на повітряну, водну, біогенну, техногенну, механічну.

Залежно від агрегатного стану, хімічної природи сполук окремого хімічного елемента, їх розчинності, здатності накопичуватися в організмі, поглинатися ґрунтовим вбирним комплексом тощо переважає той чи інший тип міграції, тобто кожний геохімічний цикл має свої особливості.

Колообіг нітрогену. Нітроген у вигляді газоподібних сполук (N_2, NH_3, N_2O, NO, NO_2) міститься в повітрі, в живих організмах переважно у вигляді білків, нуклеїнових кислот, ферментів; у ґрунті — у вигляді солей амонію, нітратів і нітритів; тут завдяки численним мікроорганізмам — азотфіксаторам, нітрифікаторам, денітрифікаторам відбуваються найрізноманітніші біохімічні процеси. В біосфері фіксація азоту з повітря

відбувається переважно біологічним шляхом і лише незначна кількість (менш як 35 мг/м³) — у результаті процесів в атмосфері (електричні розряди та фотохімічні процеси).

Нітроген вступає в колообіг переважно через кореневу систему у вигляді нітратів чи солей амонію або за допомогою симбіотичного зв'язку через бактерії, гриби, синьозелені водорості, здатні фіксувати атмосферний азот.

Існує і промислова фіксація азоту: одержання аміаку і подальше його використання для добування нітратної кислоти та її солей за реакціями:

$$N_2 + 3H_2 \xrightarrow[\text{Каталізатор}]{p,\ t^\circ} 2NH_3;$$

$$4NH_3 + 5O_2 \xrightarrow[\text{Каталізатор}]{} 4NO + 6H_2O;$$

$$4NO + 3O_2 + 2H_2O \rightarrow 4HNO_3;$$

$$HNO_3 + NH_4OH \rightarrow NH_4NO_3 + H_2O.$$

Органічні сполуки, що містять нітроген, при розщепленні в організмі виділяються у вигляді аміаку чи солей амонію в природне середовище. У природі поклади KNO_3 (чилійської селітри) є лише в Чилі, де практично не буває дощів.

Колообіг карбону. В атмосфері міститься вуглекислий газ (об'ємна частка становить 0,03%), оксид карбону (II), як малі компоненти — вуглеводні, зокрема метан, та інші органічні сполуки. Карбон — основний хімічний елемент живої речовини, оскільки входить до складу білків, жирів, вуглеводів та інших речовин. При окисненні в процесі метаболізму органічних сполук утворюється оксид карбону (IV), що підтримує в крові сталу кислотність (карбонатна буферна система):

$$CO_2 + H_2O \rightleftarrows H_2CO_3;$$

$$H_2CO_3 \rightleftarrows H^+ + HCO_3^-;$$

$$HCO_3^- \rightleftarrows H^+ + CO_3^{2-}.$$

Сполуки карбону (у вигляді горючих корисних копалин і карбонатів, а також алотропних форм — алмазу і графіту) містяться в літосфері. У воді — карбонати і гідрокарбонати переважно кальцію і магнію, розчинений CO_2, на дні — карбонатні мули, утворені хімічним шляхом чи внаслідок накопичення мертвих решток організмів, що будують своє тіло з карбонату кальцію.

Сполуки карбону у ґрунті — це переважно органічні речовини — рештки організмів, продукти їх метаболізму та CO_2, що виділяється під час дихання організмів і розкладання органічних речовин в аеробних умовах. Оксид карбону (IV) рослини поглинають листям і кореневою системою для синтезу органічних сполук.

Людська діяльність значно впливає на колообіг цього біофільного хімічного елемента. Сполуки карбону у вигляді оксидів потрапляють в атмосферу при спалюванні горючих корисних копалин, що їх запасли біосфери; вуглеводні — під час нафтовидобутку та нафтопереробки; численні органічні сполуки утворюються в процесах органічного синтезу.

Колообіг фосфору. Особливістю колообігу фосфору є те, що він має лише одну газоподібну сполуку — фосфін PH_3, який утворюється під час гниття органічних решток. Більшість фосфатів не розчинні у воді. Мінералами є апатит $Ca_5X(PO_4)_3$, де X — F^-, Cl^-. OH^- і фосфорит $Ca_3(PO_4)_2$; у ґрунті фосфор входить до складу решток мертвих організмів та їхніх екскрементів. Поширеним фосфоровмісним добривом є гуано — послід морських птахів.

Для підвищення родючості ґрунтів на поля вносять добрива, зокрема й фосфорні. Змивання їх у водойми спричинює евтрофікацію водойм (підвищення біологічної продуктивності екосистеми внаслідок нагромадження біогенних елементів, головним чином нітрогену і фосфору). Сполуки фосфору накопичуються на дні водойм і в прибережній зоні морів та океанів у вигляді решток живих організмів і фосфатів. На суходіл потрапляють із рибою та під час видобування корисних копалин. Кислотні дощі прискорюють міграцію фосфору завдяки розчиненню фосфатів.

Колообіг сульфуру. Цей хімічний елемент має газоподібні сполуки: гідрогеносульфур та оксиди сульфуру (IV) і (VI). Більшість сульфатів розчинні у воді, тоді як сульфіди (крім лужних металів і амонію) малорозчинні. Сульфур у складі органічних сполук міститься в живих організмах, горючих корисних копалинах. В ґрунті діють численні мікроорганізми, що перетворюють сульфіди на сульфати й сірку і навпаки. Під час гниття органічних решток виділяється токсичний гідрогеносульфур, що отруює водяні організми; з іншого боку, H_2S може осаджувати катіони важких металів у вигляді малорозчинних сульфідів, сприяючи самоочищенню водойм.

Великі кількості оксидів сульфуру утворюються при спалюванні сміття, добуванні металів із сульфідів, у виробництві та використанні сульфатної кислоти.

У літосфері існує самородна сірка, малорозчинні у воді сульфіди багатьох металів у вигляді мінералів: свинцевий блиск PbS, пірит FeS_2, цинкова обманка ZnS, кіновар HgS, реальгар Ag_2S; розчинні сульфати $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ — мірабіліт, $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ — гіпс, $CaSO_4$ — ангідрит.

Значні кількості сульфат-іонів містяться в природних водах, особливо мінералізованих; деякі мінеральні води збагачені гідрогеносульфуром. Сірководневі зони існують і в морях та океанах — це мертві зони, хоча гідрогеносульфур є джерелом енергії для хемосинтезуючих організмів.

Другий принцип. *Екосистеми існують за рахунок сонячної енергії, яка не забруднює середовище, практично вічна і кількість якої відносно стала й надлишкова.*

Російському вченому, основоположнику геліобіології О.Чижевському належать такі слова: *"Люди і всі тварі земні є "дітьми Сонця" — "творінням" складного світового процесу, що має свою історію, в якому наше Сонце займає не випадкове, а закономірне місце разом з іншими генераторами космічних сил. ...Велич полярних сяйв, цвітіння троянди, творча робота, думка — все це прояв променистої енергії Сонця".*

Сонце — це природний термоядерний реактор, у якому з водню синтезуються ядра гелію і виділяється величезна кількість енергії. Всього на Землю надходить $10{,}5 \cdot 10^6$ кДж/м^2 на рік променистої енергії (близько 30% втрачається в атмосфері, частина відбивається від хмар і 67% сонячної енергії потрапляє до поверхні).

Сонячна стала, тобто кількість сонячної енергії, яка надходить до оболонки біосфери, становить 8,36 Дж/см^2 · хв. В межах України ***сумарна сонячна енергія*** на одиницю площі становить 397—405 кДж/см^2 у північних районах і 522—531 кДж/см^2 — на західному узбережжі Криму, а ***радіаційний баланс***, що визначається відношенням відбитої радіації до сумарної, — відповідно 175 і 263 кДж/см^2.

Енергія, потік якої надходить в біосферу, розподіляється так:

- 30% відбивається у космічний простір;
- 46% переходить у теплову енергію при переопроміненні Землею;
- 23% витрачається на колообіг води;
- 0,2% поглинає повітря на забезпечення численних процесів;
- 0,8% використовується рослинами в процесі фотосинтезу.

Сонячна енергія запасається продуцентами (зеленими рослинами) у формі енергії хімічних зв'язків органічної речовини і передається по ланцюгах живлення: продуцент — консумент — редуцент. Із кожного попереднього трофічного рівня на вищий передається всього близько 10% енергії, зворотний потік дуже малий і досягає 0,5%.

Органічна речовина, синтезована рослиною, може по-різному включатися в різні процеси:

- запасається у вигляді крохмалю чи олії;
- є джерелом енергії для всіх клітинних процесів, забезпечує ріст, цвітіння, розмноження рослин;
- розкладається під час гниття чи горіння до вуглекислого газу, води, мінеральних речовин тощо з виділенням кінетичної енергії (теплової чи світлової).

Оцінкою ефективності біосистеми є розподіл енергії на частину, що перетворюється на іншу органічну речовину, доступну для вищого трофічного рівня у вигляді їжі (P), і частину, що окиснюється та втрачається у вигляді теплоти і дихання (R). Відношення R/P або R/B, де B — сумарна біомаса, називають ***мірою екологічного обороту Шредінгера,*** або ***мірою термодинамічної врівноваженості Шредінгера.***

Швидкість утворення біомаси рослинами на одиницю площі характеризує первинну продукцію, яку подають в одиницях енергії (E/ST, Дж/м^2 · добу) чи маси (m/ST, кг/га · рік), де T — час.

На світлі в процесі фотосинтезу відбувається утворення і запасання потенційної енергії (R/P<1), у темряві посилюється дихання і R/P>1.

Ефективність засвоєння їжі у різних тварин різна:

- у тих, що живляться листям, — 10—20%;
- у тих, хто споживає насіння і плоди, — 80%;
- у хижаків — 60—90%.

Енергія, отримана твариною з їжею, використовується так:

- запасається у вигляді потенційної енергії органічних речовин;
- витрачається у формі кінетичної енергії під час виконання роботи органами, дихання, руху;
- виділяється з організму у вигляді теплоти та продуктів метаболізму;
- витрачається на ріст і оновлення тканин як будівельний матеріал.

Детритофаги і редуценти живляться органічними рештками як продуцентів, так і консументів. У процесі їх життєдіяльності утворюються низькоенергетичні речовини: CO_2, H_2O, нітрати, фосфати тощо або досить прості органічні речовини — молочна кислота (продукт життєдіяльності молочнокислих бактерій) та ін.

З урахуванням спеціалізації типів живлення тварин поділяють на три групи:

- ***стенофаги***, що споживають лише один вид їжі (колорадський жук живиться рослинами роду пасльонових);
- ***олігофаги,*** що використовують 2—3 види їжі (зайці, лисиці);
- ***поліфаги,*** що вживають різноманітну їжу (таргани).

Перетравлюваність їжі у тварин різна: у копитних — 40—70%, у дрібних гризунів — 90—95%, у нутрії — до 99%. З метою підвищення ефективності засвоєння кормів у тваринному світі поширена ***копрофагія*** (поїдання екскрементів жуками-гнояками) та ***автокопрофагія*** (поїдання власних м'яких екскрементів, що містять багато білків та біологічно активних речовин, кролями).

Будь-яку популяцію живих організмів можна розглядати як біомасу, яка збільшується завдяки росту і розмноженню і зменшується внаслідок загибелі з різних

причин. У стійких екосистемах біомаса певного трофічного рівня мало змінюється. Оскільки рослини засвоюють лише близько 1% сонячної енергії, що на них потрапляє і яку вони запасають у вигляді хімічної енергії зв'язку між атомами в органічних сполуках, а з попереднього рівня на наступний подається лише 10% накопиченої енергії, то зрозумілий і III принцип функціонування екосистем.

Третій принцип. *Чим більша біомаса популяції, тим нижчим має бути трофічний рівень, який вона займає.*

Людина порушує всі три принципи функціонування екосистем:

- змінюючи колообіг хімічних елементів;
- використовуючи як джерело енергії корисні копалини і забруднюючи довкілля продуктами їх згоряння;
- збільшуючи чисельність людської популяції, справляючи тим самим тиск на природне середовище і порушуючи природну рівновагу між компонентами біосфери.

Стійкість екосистем

Стійкість екосистем забезпечується рівновагою популяцій, яких в екосистемі може бути сотні чи навіть тисячі. Зі свого боку, рівновага залежить від співвідношення біотичного потенціалу і опору середовища, які діють у протилежних напрямах.

Біотичний потенціал — це сукупність чинників, які сприяють збільшенню чисельності популяції:

- велика швидкість розмноження;
- поповнення статевозрілого складу за рахунок потомства;
- достатня кількість їжі;
- здатність розширювати свій ареал;
- параметри довкілля в зоні оптимуму виду.

Опір середовища — чинники, що протидіють збільшенню популяції:

- нестача їжі;
- несприятливі умови життя;
- розмноження хижаків;
- поширення хвороботворних бактерій;
- низька репродуктивна здатність;
- сприйнятливість хвороб і паразитів;
- нездатність адаптуватися до змін зовнішнього середовища;
- вузька екологічна ніша.

Оскільки кожна популяція прагне збільшити свою чисельність, вона використовує для цього два механізми:

- збільшує біотичний потенціал за рахунок міграцій, освоєння нових територій;
- зменшує опір середовища, виробляючи численні пристосування до несприятливих умов існування: освоєння нових видів їжі, посилення захисних функцій організму (так, дуб захищається від гусені, синтезуючи таніни, гіркі на смак речовини, що викликають порушення функціонування травної системи гусені; сосни, віддаючи перевагу в центральній Україні піщаним ґрунтам, на Донеччині ростуть на вапнякових відслоненнях).

Зменшення опору середовища може зумовити ***популяційний вибух*** — різке зростання чисельності окремої популяції (такі явища часто відбуваються з інтродукованими видами). З іншого боку, несприятливі умови навколишнього середовища

спричиняють масову загибель певної популяції (розмноження хвороботворних організмів; отруєння пестицидами бджіл).

Збільшення чисельності видів в екосистемі зменшує ймовірність таких ситуацій, тому різноманітність екосистем забезпечує їх стабільність.

Сукупність дій усіх чинників в одній місцевості характеризує ***екотоп*** або ***місцезнаходження***. Вид може займати різні екотопи, популяція — відносно однорідний.

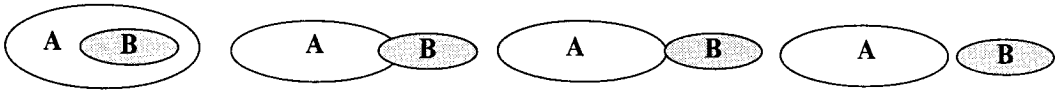
Щоб краще зрозуміти поняття "екотоп", "біотоп", "екологічна ніша", Ю.Одум наводить таку аналогію:

- екотоп — це адреса популяції, умови її існування;
- біотоп — оточення, в якому вона живе;
- екологічна ніша — "професія" популяції.

Екологічна ніша — **це просторово-часове положення організму в рамках екосистеми: де, коли і чим він живиться; де живе; яке потомство виводить; як зимує тощо.**

Термін "екологічна ніша" ввів у 1927 р. англійський біолог Ч.Елтон. У живій природі впродовж тривалого часу виробилися пристосування до екологічної ніші, до мирного співіснування численних видів, що складають біотичну компоненту екосистеми. Організми всіляко намагаються уникнути конкуренції.

Співвідношення екологічних ніш А і В (за Е.Піанкою) може бути таким:



I II III IV

I — екологічні ніші цілком накладаються (лисиця і вовк полюють на птахів і дрібних звірів);

II — частково збігаються (сови і яструби полюють на гризунів і малих пташок, але сова вночі, а орел удень);

III — дотикаються (слони харчуються високою травою, антилопи — низькою, а буйволи — молодими пагонами);

IV — цілком розділені (рослини і хижаки).

Сукцесія — **процес зміни екосистеми за рахунок витіснення одних видів іншими внаслідок зміни зовнішніх умов середовища.**

Окремі види по-різному реагують на зміну умов:

- знижують чисельність чи гинуть (розорювання цілинних земель зумовило зменшення чисельності ховраха, перев'язки);
- поліпшують умови для інших видів, і їх популяція зростає (звалища, сміття на околицях населених пунктів зумовлюють заселення їх бур'янами, які люблять пухкий і родючий ґрунт);
- з'являються нові види в екосистемі (колорадський жук живився пасльоном, доки не виникли величезні плантації картоплі, що теж належить до пасльонових; після збирання врожаю картоплі він переходить на баклажани і помідори — родичів картоплі).

Первинна сукцесія — процес розвитку і зміни екосистем на раніше не заселених ділянках, що починається з їх колонізації (поява лишайника на скелях і подальше руйнування гірської породи; заростання ставків і перетворення їх на болото, а потім на суходольну екосистему).

Вторинна сукцесія — відновлення існуючої на певній території екосистеми, знищеної вогнем, вирубуванням лісу тощо (листяний ліс може відновитися лише через 70 років).

Основними природними екосистемами Землі є:

Суходоли

Тундра
Хвойні ліси помірної зони (тайга)
Листяні ліси помірної зони
Степи
Тропічна та субтропічна злакова рослинність
Савана
Пустеля
Вічнозелений тропічний вологий ліс
Болота
Луки

Водойми

Стоячі водойми: озера і ставки
Екосистеми текучої води: річки і струмки
Екосистеми відкритого океану
Екосистеми континентального шельфу (прибережні території океану до глибини приблизно 200 м, багаті на рослинний і тваринний світ)
Естуарії (затоплена дельта ріки, що має безпосередній вихід у відкрите море чи океан; прісна вода розтікається по поверхні естуарію, а солона морська вода опускається вниз)

Продуктивність екосистем (деревина, листя й плоди рослин, тваринна біомаса), яка вимірюється кількістю органічної речовини, створеної за одиницю часу на одиницю площі, називається ***біологічною продуктивністю екосистеми.***

Одиницями виміру продуктивності є грам на метр квадратний за добу; кілограм на метр квадратний за рік тощо.

Розрізняють *первинну біологічну продукцію*, яку створюють рослини, і *вторинну біологічну продукцію*, яку створюють гетеротрофи (консументи і редуценти) в результаті переробки рослинної і тваринної біомаси.

Первинну продукцію поділяють на *валову продукцію* — загальна кількість створеної органічної речовини і *чисту продукцію* — кількість створеної органічної речовини, що залишилася після витрат на дихання та кореневі виділення (у більшості рослин вона становить близько половини валової).

Основні класи екосистеми за біопродуктивністю, г/м² за рік (*за Р.Уіттекером*):

- екосистеми найвищої продуктивності (тропічні вологі ліси) — 2000—3000;
- екосистеми високої продуктивності (листяні ліси помірної зони та луки) — 1000—2000;
- екосистеми помірної продуктивності (степи та чагарники) — 250—1000;
- екосистеми низької продуктивності (пустелі, напівпустелі, тундра) — 250.

Середня продуктивність екосистем Землі не перевищує 0,3 кг/м² · рік, тобто за площею переважають низькопродуктивні екосистеми пустель і океанів.

Життєздатність видів і екосистем

Виживання виду забезпечується генетичною різноманітністю і незначними коливаннями зовнішніх умов.

Основні закономірності формування і стійкого існування природних екосистем відображені в наведених нижче прикладах:

І принцип (А.Тіннеман). Чим різноманітніші умови біотопу, тим більше видів його населяє.

II принцип (А.Тіннеман). Чим більше умови біотопу відхиляються від норми та від властивого організмам оптимуму, тим бідніший на види і специфічніший біоценоз.

III принцип (Г.Франц). Чим плавніше змінюються умови середовища в біотопі, тим триваліший час він залишається незмінним, тим багатший на види біоценоз, тим він врівноваженіший і стабільніший.

IV принцип (Й.Ілліес). Близькоспоріднені види, як правило, не трапляються одночасно в одному й тому самому місці, тобто не займають однакові екологічні ніші в біотопі, тому багаті на види роди представлені зазвичай у біоценозах лише одним видом.

Основною умовою, яка визначає життєздатність окремого виду й екосистеми загалом, — це здатність підтримувати рівновагу між видами завдяки колообігу біогенних хімічних елементів і стійкому потоку енергії.

Циклічні явища, що супроводжувалися зміною кліматичних умов на Землі, зумовлювали зміни і в рослинному та тваринному світі. Назавжди зникли величезні травоїдні динозаври, мамонти, саблезубі тигри, птеродактилі. Вчені називають багато причин їх загибелі, серед яких — падіння великого метеорита, зміна клімату, знищення людиною.

Багато змін внесла і людська діяльність у чисельність та різноманітність форм живого: нині кожному десятому виду загрожує зникнення, в Європі кожен п'ятий вид потребує охорони.

В Україні близько 5 тис. видів рослин природної і понад 1 тис. видів культурної та інтродукованої флори. Однак лише після Другої світової війни з природи Криму і Донеччини зникло 40 видів, Карпат — 20 видів.

Руйнування екосистем, забруднення природного середовища, збільшення площ агроценозів з бідною видовою різноманітністю, порушення ланцюгів живлення спричинюють зникнення рослин і тварин, скорочення їх ареалів і чисельності. Велике занепокоєння викликає хижацьке знищення тропічних лісів, порушення дуже чутливих екосистем тундри, розширення використання Світового океану для видобутку корисних копалин тощо.

❖ Цікаві факти

Із властивостями, подібними до сучасних (загальна біомаса, біопродуктивність, масштаби, число видів — близько 10^7, число особин — близько 10^{27}) біосфера існує майже 180—200 млн років. За цей час у процесі біологічної еволюції через жорсткий природний відбір пройшло у 100—1000 разів більше число видів організмів — мікробів, грибів, рослин, тварин.

Самі організми внаслідок інтенсивного обміну речовин тисячі разів пропустили крізь себе (свої клітини, тканини, органи, кров) всю земну атмосферу, весь об'єм Світового океану, більшу частину ґрунтів, величезну кількість мінеральних і органічних речовин та енергії.

Це зумовило формування сучасного навколишнього природнього середовища.

Швидкість вимирання тварин зростала майже пропорційно збільшенню чисельності людей. Всього за історію людства вимерло 110 видів ссавців та 150 видів і підвидів птахів. Це тур, тарпан, морська корова, дронт, безкрила гагарка, голуб-мандрівник та ін.

Під час війни у В'єтнамі, що належить до аграрних держав, знищення рослинності велося цілеспрямовано з використанням важкої військової техніки ("римські плуги"), що буквально скошувала тропічний ліс, бомбових ударів ("косилки маргариток"), хімічних засобів-дефоліантів. Всього у В'єтнамі знищено 325 тис. га лісу.

Значної шкоди рослинному і тваринному світу завдає і надмірне захоплення окремими видами, які знищуються заради букетів чи переносяться на окремі присадибні ділянки, як наприклад, білоцвіт літній. Широке використання лікарських рослин призводить до їх знищення, як і зникнення умов їх місцезростання (лісів, луків).

Час від часу спостерігається масове захоплення тим чи іншим видом тварин. Із степів, пустель, тропіків, лісів перебираються в людські житла мавпи, крокодили, черепахи, змії, ящірки, де, як правило, швидко гинуть.

Шкодять рослинам, і особливо тваринам, забобони і страх, поділ на корисні і некорисні види. Бездумно знищують жаб, ящірок, вужів, п'явок, різноманітних жуків, незважаючи на те, що кожна особина – ланка в трофічному ланцюзі, неповторна краплина багатства генофонду планети.

Чим загрожує втрата бодай одного виду? ***Вид – це монополія природи, його не може створити людина, тому необхідно зберігати розмаїття природи навколо нас, адже подальше вивчення живої природи відкриває нові її таємниці і хто знає, може, колись необхідною стане рослина чи тварина, яку зараз ми називаємо шкідливою і бездумно знищуємо. Усе, що існує на Землі, має своє призначення...***

Доречними тут будуть слова Д.Даррела: **"Пам'ятайте, що у рослин і тварин немає депутатів, їм нікому писати і скаржитися, за них нікому заступитися, крім нас, людей, які разом з ними заселяють цю планету".**

Питання для самоконтролю

1. *Що таке біосфера? Які вчені розробляли концепцію біосфери?*
2. *Які функції виконує атмосфера в глобальному масштабі?*
3. *Назвіть функції, які виконує жива речовина в атмосфері, гідросфері, літосфері.*
4. *Як запасається сонячна енергія в біосфері?*
5. *Чому екологічні піраміди мають лише 4–5 трофічних рівнів?*
6. *Як витрачається енергія спожитої їжі в організмі рослин і тварин?*
7. *Назвіть структуру популяцій.*
8. *Наведіть приклади впливу екологічних чинників середовища на популяцію.*
9. *Що таке екосистема та біогеоценоз? Назвіть їх компоненти.*
10. *Назвіть основні типи взаємовідносин між організмами в екосистемі.*
11. *Чому стійкість екосистеми залежить від кількості видів, що її населяють?*
12. *Які заходи вживають з метою збереження розмаїття рослинного і тваринного світу?*
13. *Чому у сфері охорони довкілля важливе значення має міжнародна співпраця? Назвіть міжнародні угоди, учасником яких є Україна.*
14. *Їжак і кріт — комахоїдні тварини, але чому їжак впадає у сплячку, а кріт — ні?*
15. *Фермери пропонують залишати на полях смуги завширшки до 5 м для бур'янів. Для чого?*
16. *Чому черв'як конволіта, який водиться у Середземному морі і не має органів травлення, але під шкірою в нього живуть одноклітинні водорості, під час відпливів виповзає на берег на сонце?*

Розділ 3

ТЕХНОСФЕРА

Техносфера — це частина біосфери, трансформована під впливом техногенної діяльності людини (нова глобальна матеріальна багатошарова сфера штучно створених об'єктів). Наприкінці XX ст. серед екологічних чинників, які визначають умови функціонування екосистем і біосфери в цілому, найпотужнішим виявився комплекс антропогенних чинників — сукупність негативних впливів на довкілля всіх видів людської діяльності. Частина біосфери, в якій господарює людина і яка докорінно перетворена людиною на техногенні об'єкти (від будинків, шляхів, аеродромів і виробничих комплексів до шахт, кар'єрів, свердловин, водосховищ і космічних станцій), дістала назву **техносфери**. Техносфера почала формуватись у XVIII—XIX ст., а на кінець XX ст. стала чинником планетного масштабу. В результаті величезного тиску на біосферу і активного розширення техносфера почала перетворюватися на монстра, що знищує цивілізацію. Виникла необхідність детального вивчення різноманітних забруднень, пов'язаних із людською діяльністю (з розвитком енергетики, промисловості, транспорту, сільського господарства, військової справи, космічної діяльності), їх класифікації та нейтралізації, пошуків шляхів екологізації виробництв. Виникла значна кількість нових екологічних напрямів прикладного характеру, які об'єдналися у великий блок, що дістав назву **техноекології** (***рис. 1.1***).

Розвиток техносфери, що супроводжувався необмеженим використанням природних ресурсів і вільним викидом всіх типів відходів людської діяльності в навколишнє середовище, став причиною виникнення таких глобальних проблем: енергетичної кризи, надмірного забруднення довкілля, скорочення площ орних земель і лісів, появи негативних кліматичних змін, соціально-економічної кризи. З урахуванням неконтрольованого приросту населення (250 тис. чоловік щодня, близько 90 млн чоловік щороку), що різко загострює соціально-екологічні та соціально-економічні проблеми, особливо в країнах, що розвиваються, і в країнах колишнього СРСР, відбувається як абсолютне, так і відносне скорочення орних земель. А це загрожує виникненням ще однієї глобальної проблеми — голоду сотень мільйонів людей. Адже вважають, що якщо на 1 людину збирати з 1 га за рік 1 т зерна (близько норми), то проблему голоду можна буде розв'язати. Факти ж свідчать, що наприкінці XX ст. на планеті збирали близько 1,5 млрд т зерна, а рівень населення досягнув 5 млрд, тобто Земля вже не в змозі нагодувати людство. Якщо всю сумарну продукцію біосфери поділити на таку кількість населення, щоб не порушувати її стійкості, то вийде, що в біосфері може існувати не більше ніж 3—4 млрд чоловік. За даними ФАО (продовольча і сільськогосподарська організація ООН), нині в світі недоїдає і голодує близько 1,5 млрд чоловік, хоча, за прогнозами, у 2010 р. кількість людей на Землі перевищить 7 млрд при тому ж рівні дефіциту харчових продуктів.

Техногенні чинники забруднення довкілля при сферному підході у дослідженнях (атмосфера, гідросфера і літосфера) об'єднують у групи:

- атмосферні (хімічне, фізичне, механічне, теплове);
- водні (на суходолі і в океані, поверхневе і підземне — сотнями найрізноманітніших хімічних елементів і сполук — відходів усіх видів людської діяльності);
- ґрунтові (хімічне, ерозія, дефляція, дегуміфікація, засолення, ущільнення, заболочення, висушення тощо);

- геолого-геоморфологічні (розвиток негативних екзогенних процесів — зсувів, обвалів, провалів, осадів, карсту, підтоплення, абразії берегів);
- біотичні (деградація екосистем, мутації, збіднiння біорозмаїття і генофонду, біогенна акумуляція шкідливих речовин, зникнення лісів і пасовищ, розвиток згубних зон "цвітіння" в морях і водосховищах);
- комплексні (порушення природної структури ландшафтів, спустелювання, деградація земель).

Забруднення ***класифікують за галузевим принципом***: забруднення від автотранспорту, об'єктів енергетики, конкретними видами промисловості, сільськогосподарського виробництва, військової діяльності тощо. Існує і класифікація, наведена на ***рис. 3.1.***

За ступенем негативного впливу на живі організми техногенні забруднювальні речовини поділяють на класи токсичності (їх виділено 4; найвищу токсичність мають речовини, віднесені до І класу — бензпірен, діоксини, талій, ртуть та ін.), а вивченням особливостей впливу на біоту, знешкодженням забруднювальних речовин займається наука ***екотоксикологія.***

На основі аналізу розвитку сучасних соціально-економічних і екологічних ситуацій у світі В.Данилов-Данильян та ін. визначають такі тенденції змін довкілля під впливом техногенної діяльності у найближчі 30 років:

- зростання споживання первинної біологічної продукції на 80—85% на суші, на 50—60% — глобальне;
- прискорене збільшення концентрації CO_2 і CH_4 за рахунок деструкції біоти;
- приріст кількості парникових газів;
- виснаження озонового шару на 1—2% щороку;
- скорочення площі лісів зі швидкістю від 177 до 180 тис. км²/рік (у тропіках від 18 млн км² у 1990 р. до 9—11 млн км² у 2030 р. при одночасному скороченні площі лісів і в помірних широтах);
- збільшення площі пустель;
- посилення ерозії сільськогосподарських земель і збільшення обсягів стічних вод та числа полютантів;
- виснаження водних запасів суші;
- зникнення видів;
- погіршення умов життя людей;
- зростання кількості генетичних хвороб;
- збільшення дефіциту харчових продуктів.

❖ Цікаві факти

У 1650 р. чисельність населення Землі становила близько 500 млн чоловік; упродовж наступних 200 років вона збільшилася вдвічі, ще раз удвічі зросла вже впродовж наступних 80 років, у 1975 досягла 4 млрд чоловік, а в 1999 р. перевищила 6 млрд.

Чисельність населення Землі нині вже така, що якби людей рівномірно розподілити на поверхні планети, то відстань між ними дорівнювала б лише 300 м.

Щохвилини населення нашої планети збільшується на 172 людини. Це означає: щотижня до населення Землі додається 1,7 млн чоловік — стільки, скільки зараз проживає в таких містах України, як Запоріжжя, Житомир і Вінниця разом.

Надмірне виснаження ресурсів і забруднення довкілля спричинили розвиток кількох негативних процесів глобального масштабу — утворення і розростання ***озонових дір***, формування ***парникового ефекту***, появу ***кислотних дощів***.

Розвиток вищезгаданих процесів призвів до критичного загострення конфлікту між техносферою і біосферою, про що свідчать сучасний занепад людської моралі, зростання бідності і злочинності, підвищення агресивності людей, поширення нових небезпечних вірусних хвороб.

За висновками експертів, некероване зростання населення планети — головна причина розвитку

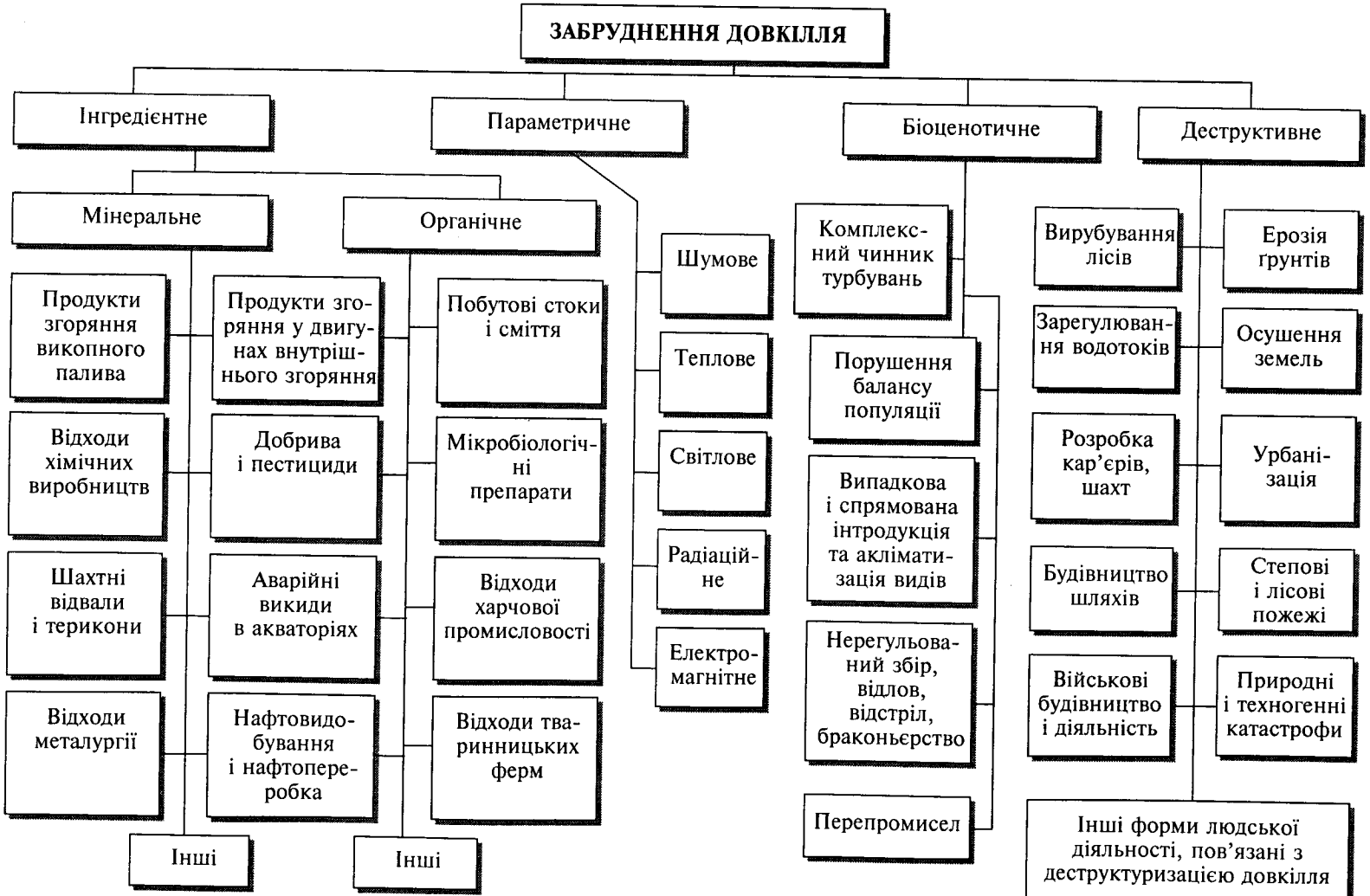


Рис. 3.1. Класифікація забруднень довкілля

глобальної екологічної кризи, яка спричинила решту криз (виснаження ресурсів, забруднення геосфер, негативні кліматичні зміни тощо), призвела до техногенних навантажень, що загрожують існуванню біосфери.

За прогнозами, в найближчому майбутньому чисельність населення зростатиме приблизно на три особи щосекунди, тобто на 90—100 млн за рік, а на початку XXI ст. досягне 7—8 млрд. При цьому приріст населення відбуватиметься за рахунок країн, що розвиваються (88%). Учені-демографи вважають, що до 2100 р. чисельність населення Землі має стабілізуватися на рівні 9—13 млрд чоловік (***рис. 3.2***).

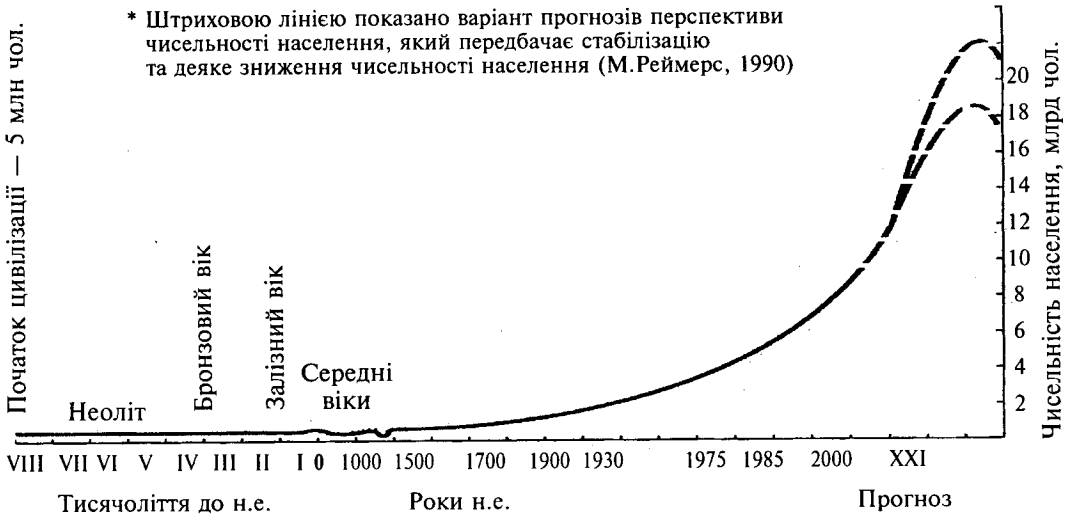


Рис. 3.2. Зростання чисельності людства від світанку цивілізації

Демографічну проблему дедалі частіше називають "проблемою номер один" як сучасності, так і осяжного майбутнього. Принаймні від Т.Мальтуса (1766—1834) тягнеться усвідомлення тієї обставини, що виробництво харчової продукції на планеті зростає значно повільніше, ніж кількість її споживачів. Наука переконливо засвідчує, що має існувати верхня межа демографічного зростання, за якою неможливе навіть теоретичне забезпечення всіх мешканців планети засобами існування. Оскільки біосфера — обмежена система, то можна говорити тільки про конкретний показник чисельності у ній, а не про самі ліміти.

Учені підрахували, що сучасна біосфера Землі здатна підтримувати нормальне існування й розвиток не більш як 4—5 млрд чоловік, до того ж за умов оптимального розподілу національних доходів, взаємодопомоги, підтримки та взаєморозуміння всіх націй, їхньої високої екологічної культури, ефективного використання загальнолюдського інтелекту для забезпечення добробуту всіх людей планети, глобального миру, раціонального природокористування й охорони природи. Навіть за стабілізації енерговиробництва на рівні теплового бар'єра (100 млрд кВт) чисельність населення не повинна перевищувати 10 млрд чоловік (необхідна для життя кількість енергії на душу населення становить близько 10 кВт · год).

Утім, останніми десятиліттями цих норм не дотримуються, що спричиняє розвиток глобальної енергетичної та екологічної кризи, появу нових небезпечних захворювань (СНІД, пропасниця Ебола, нові різновиди грипу), збільшення випадків

епідемій різних захворювань, воєнних конфліктів, виникнення природних і техногенних катастроф. Дедалі більше регіонів планети стають зонами екологічного лиха: Україна, Приазов'я, Чорне, Балтійське та Японське моря, Урал, Арал і Приаралля, Перська й Мексиканська затоки, Кузбас, Тюменські нафтопромислові райони, Нова Земля, Сахель, Ефіопія, Кувейт, території всіх міст-гігантів та ін.

Нерегульований приріст населення призвів до зубожіння більшості населення планети (*нині в світі близько 10 млн дітей приречені на напівголодне існування, майже 200 млн — харчуються неповноцінно, споживаючи при цьому недоброякісні продукти й воду*).

3.1. Техногенний вплив на атмосферу

Найбільший вплив на стан атмосфери чинять теплоенергетика, металургійна промисловість, підприємства хімічної та будівельної індустрії, автотранспорт та ін. (***табл. 3.1***).

На ***рис. 3.3*** показано джерела оксиду карбону (II) і оксидів нітрогену у Великій Британії.

❖ Цікаві факти

Понад 500 млн автомобілів щороку викидають в атмосферу Землі майже 400 млн т оксидів карбону, 100 млн т вуглеводнів, сотні тисяч тонн свинцю. Промислові підприємства, теплові електростанції, авто- й авіатранспорт щороку спалюють понад 5 млрд т нафти, вугілля і приблизно трильйон кубометрів газу. У водойми світу щороку скидається близько 500 млрд т промислових і побутових стоків, зокрема й кілька мільйонів тонн нафти. А навіть одного літра нафти достатньо, щоб зробити непридатним (для пиття, зрошення, технічних потреб) 1 млн л води. Щороку світова промисловість виробляє близько 2100 млн т твердих відходів, з яких 340 млн т — потенційно небезпечні. Спеціалісти підрахували, що до початку XXI ст. буде нагромаджено принаймні 1 млн м³ найнебезпечніших відходів — високорадіоактивних. Однією з найгостріших екологічних проблем людства в найближчі десятиліття залишатиметься необхідність демонтажу сотень блоків АЕС, які відпрацювали свій ресурс, транспортування й безпечне поховання твердих і рідких радіоактивних відходів.

Таблиця 3.1. **Внесок різних галузей промисловості в забруднення атмосфери**

Галузь промисловості	Внесок у забруднення, %	Галузь промисловості	Внесок у забруднення, %
Теплова енергетика	25,7	Кольорова металургія	11,1
Чорна металургія	23,4	Гірничодобувна	7,1
Нафтовидобувна і нафтохімічна	13,7	Підприємства будівництва	3,4
		Машинобудування	2,8
Транспорт	11,6	Інші галузі	1,2

У повітря надходять пил, важкі метали, вуглеводні, оксиди карбону, сульфуру, нітрогену та інші речовини, зокрема в усіх термічних процесах, що стосуються органічних сполук, також утворюється надзвичайно небезпечний для живих організмів і здоров'я людини бензопірен (його середньодобова ГДК у повітрі населених пунктів становить 0,000001 мг/м³).

Найвагоміший вплив на хімічний склад атмосферного повітря справляє спалювання кам'яного вугілля; останнім часом частка його як джерела енергії зменшилася за рахунок використання нафти й природного газу. Однак оскільки це цінна сировина і запаси її значно менші, ніж кам'яного вугілля, у світі знову з'являється тенденція до збільшення використання вугілля як паливного ресурсу, що негативно вплине на стан довкілля за використання нинішніх технологій.

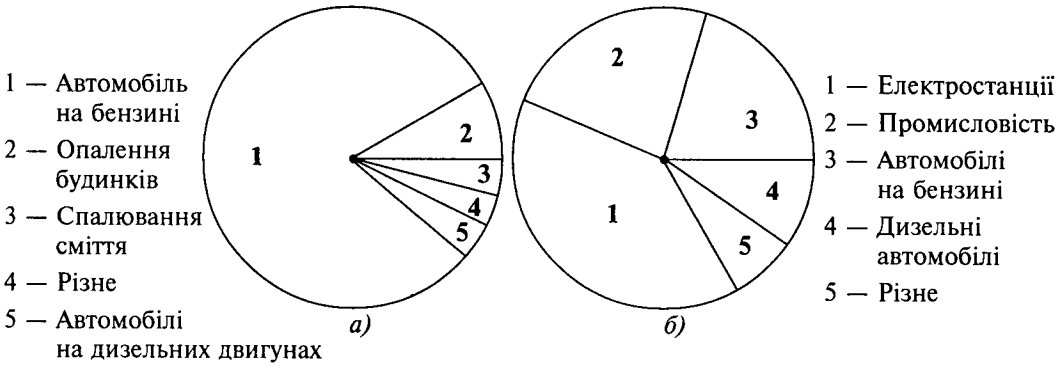


Рис. 3.3. Розподіл джерел викидів CO *(а)* і NO_x *(б)* в 1980 р. у Великій Британії

Підприємства енергетичного комплексу

Одним із найпотужніших негативних техногенних чинників є ***енергетика***. Рівень і вартість енергетики визначають технологічний рівень країни. Промислова революція почалася відтоді, як людство навчилося використовувати енергію вугілля, нафти та газу. Науково-технічний прогрес і стрімке економічне зростання цивілізації в останні 100 років супроводжувалися надзвичайно швидким збільшенням споживання енергії. За рахунок спалювання органічного палива (кам'яне вугілля, нафта, газ) в усьому світі виробляється близько 95% енергії. Двадцятип'ятиразове збільшення споживаної людством первинної продукції (замість 1% — 25%!) відбувається вже не лише завдяки енергії Сонця, а й переважно за рахунок допоміжних невідновних джерел — нафти, газу, вугілля, урану, деревини.

При спалюванні палива на ТЕС утворюються тверді (шлак, зола), рідкі (стічні води) та газоподібні відходи (***табл. 3.4***). Їх кількість і співвідношення в димових викидах залежить від типу та якості палива. Наприклад, при спалюванні вугілля запиленість димових газів ТЕС становить 10—50 г/м³, мазуту — 20—50 г/м³.

◆ Цікаві цифри

При спалюванні вугілля у довкілля надходять хімічні елементи, кількість яких є більшою за ту, що перебуває в колообігу впродовж цього ж часу:

- *меркурію — у 8700 разів*
- *арсену — 125*
- *ванадію — 50*
- *кадмію — 40*
- *берилію і цирконію — 10*
- *олова — 4 рази.*

За підрахунками вчених, забрудники повітря розподілені так, %:

- *над промисловими центрами — 80—86*
- *над містами — 10—15*
- *над сільською місцевістю — 1—2*
- *над центральними районами Світового океану — 0,1*

Потенціал електроенергетики України становлять 44 потужних ТЕС (найбільші — Вуглегірська — 3600 МВт, Запорізька — 3600 МВт, Криворізька — 2820 МВт), 8 ГЕС (з них 6 утворюють каскад на Дніпрі: Київська — 361,2 МВт, Канівська — 444 МВт, Кременчуцька — 625 МВт, Дніпродзержинська — 1532 МВт, Каховська — 351 МВт), Дністровська ГЕС — 702 МВт і Теребля-Рікська потужністю 27 МВт, 5 АЕС (Запорізька потужністю 6000 МВт, Південно-Українська — 3000 МВт, Рівненська — 1818 МВт, Чорнобильська — 1000 МВт, Хмельницька — 1000 МВт).

Виробництво паливно-енергетичних ресурсів та вартість виробництва електроенергії за різних технологій наведено в ***табл. 3.2—3.3.***

Виробництво електроенергії в Україні забезпечують на 46,9% АЕС, на 11,2% — ГЕС, на 39,1% — ТЕС.

Таблиця 3.2. **Виробництво паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) в Україні та основних розвинених країнах у 1991 р.**

Країна	Види ПЕР			
	Електроенергія, млрд кВт · год/ кВт · год*	Нафта, млн т/кг*	Природний газ, млрд м³/м³*	Вугілля, млн т/кг*
Україна	252,6/4843	4,5/86,0	20,90/400,0	133,6/1978,0
Болгарія	43,0/4783	0,4/6,7	0,01/1,5	28,1/3130,0
Велика Британія	321,0/5603	80,0/1396,0	52,00/908,0	93,0/1623,0
Італія	220,0/3804	4,4/76,1	16,60/287,0	1,6/28,4
Китай	660,0/580	139,0/122,0	15,50/13,6	1060,0/932,0
Польща	138,0/3616	0,2/3,9	4,50/118,0	208,0/5424,0
Румунія	55,1/2361	6,7/287,0	23,30/998,0	30,4/1304,0
США	3262,0/12984	368,0/1465,0	512,00/2038,0	902,0/3590,0
Угорщина	29,8/2933	1,9/187,0	5,00/492,0	17,1/1683,0
Франція	440,0/7757	3,0/52,9	3,50/617	12,6/222,0
ФРН	450,0/6765	3,5/52,6	16,00/241,0	180,0/2706,0
Чехословаччина	85,0/5416	0,1/8,9	0,60/38,2	106,0/6767,0
Югославія	82,0/3428	2,5/105,0	2,30/96,2	66,9/2795,0
Японія	890,0/7183	0,5/4,3	2,10/16,9	7,8/63,3

* У чисельнику загальне виробництво, в знаменнику — на душу населення

Таблиця 3.3. **Вартість виробництва електроенергії при різних технологіях**

Спосіб одержання електроенергії	Вартість електро-енергії, цент/кВт · год
ТЕС на вугіллі	2
Вітрова енергія	6,4
Геотермальна енергія	5,8
Енергія біомаси	6,3
Газові турбіни з піддувом пари	4,6—6,3
Атомні електростанції	12,5
Сонячні батареї з фотоелементами	28,4
Підвищення ефективності використання енергії	2,0—4,0

Таблиця 3.4. **Показники забруднення атмосфери ТЕС, г/кВт · год**

Забруднювальні речовини	Види палива			
	Кам'яне вугілля	Буре вугілля	Мазут	Природний газ
Оксид сульфуру (IV)	6,0	7,7	7,4	0,002
Тверді часточки	1,4	2,7	0,7	—
Оксиди нітрогену	1,0	3,45	2,45	1,9
Сполуки флуору	0,05	0,11	0,004	—

Структура енергетичних ресурсів України наведена в ***табл. 3.5.***

Таблиця 3.5. **Структура енергетичних ресурсів у виробництві електроенергії і теплоти електростанціями України**

Вид енергоресурсів	Кількість	Млн т у.п.	Частка, %
Вугілля	29,9 млн т	18	26,1
Мазут	1,3 млн т	1,8	2,6
Природний газ	12,8 млрд $м^3$	14,6	21,1
Гідроенергія	—	3,6	5,6
Ядерна енергія	—	29	44,6
Всього		**67**	**100**

Підприємства чорної металургії

При виплавлянні 1 т чавуну в повітря виділяється:

- 4,5 кг пилу
- 2,7 кг оксиду сульфуру (IV)
- 0,1—0,6 кг мангану
- невеликі кількості сполук фосфору, арсену, меркурію, плюмбуму, інших металів.

Найбільші забрудники, що утворюються в процесах виробництва чавуну і сталі, — пил різної хімічної природи та оксид сульфуру (IV). У ***табл. 3.6*** і ***3.7*** наведені питомі збитки внаслідок збільшення концентрації цих забрудників у атмосферному повітрі.

Слід враховувати й те, що під час добування заліза та інших металів із сульфідних руд витрачаються величезні об'єми кисню як окисника. Прикладом може бути реакція обпалювання залізного колчедану:

$$4FeS_2 + 11O_2 = 2Fe_2O_3 + 8SO_2.$$

Якщо підрахувати матеріальний баланс (навіть без обов'язкового надлишку окисника), то для одержання 1 т Fe_2O_3 (при виході 100%, чого ніколи не буває) витрати *кисню становлять 1,1 т, повітря — 5,2 т.*

Таблиця 3.6. **Питомі збитки, яких зазнає здоров'я населення (на 1 особу), залежно від концентрації пилу й оксиду сульфуру (IV) в приземному шарі атмосфери**

Середньорічна концентрація пилу, мг/м³	Питомі збитки, грн		Середньорічна концентрація оксиду сульфуру (IV), мг/м³	Питомі збитки, грн	
	здоров'ю населення	комунальному господарству		здоров'ю населення	комунальному господарству
0,30	35	10	0,10	20	5
0,45	55	30	0,25	30	15
0,60	70	50	0,20	37	24
0,75	85	60	0,25	44	32
0,90	100	87	0,30	47	39
1,05	110	100	0,35	50	44
1,20	114	102	0,40	52	49
1,35	119	106	0,45	53	51
1,50	121	110	0,50	54	52
1,65	124	115	0,55	55	53

Таблиця 3.7. **Питомі збитки, що наносяться сільському й лісовому господарству (на 1 га) та промисловості (на 1 млн грн фондів) залежно від концентрації пилу в повітрі**

Середньорічна концентрація пилу, мг/м³	Питомі збитки, грн		Середньорічна концентрація, мг/м³	Питомі збитки, грн	
	сільському і лісовому господарству	промисловості		сільському і лісовому господарству	промисловості
0,1	10	100	0,05	10	—
0,2	16	200	0,1	20	100
0,3	25	300	0,2	50	200
0,5	40	400	0,3	90	300
0,6	55	1200	0,4	105	450
0,9	70	2000	0,5	120	600
1,2	90	2900	0,6	135	700
1,5	120	3700	0,7	145	850
1,8	150	4500	0,8	160	1000

Хімічна і нафтохімічна промисловість

Особливістю цих галузей народного господарства (порівняно з енергетикою) є менша кількість викидів і велике розмаїття сполук. Найбільше газоподібних забруднників надходить у повітря під час виробництва барвників, пластмас, гуми, добрив, неорганічних кислот (хлорид гідрогену, оксиди нітрогену і сульфуру, флуорид гідрогену) та через технології, у яких використовуються органічні розчинники (ацетон, бензол, толуол, діетиловий ефір, дихлоретан). Крім газоподібних речовин в атмосферу потрапляють і пари, рідкі й тверді часточки у вигляді аерозолів.

Промисловість будівельних матеріалів

При виробництві будівельних матеріалів та будівельних конструкцій на їх основі найбільша частка серед забрудників належить пиловим часточкам різного гранулометричного складу, які осідають на листя дерев, потрапляють на землю, будівлі, в легені людини. Оскільки цей пил може мати різну хімічну природу, адсорбувати інші речовини, його небезпечність збільшується.

Технологія виробництва будівельних матеріалів пов'язана з використанням різної сировини, зокрема вугільного пилу у виготовленні цегли, термічних процесів — тому у викидах цієї галузі народного господарства містяться і оксиди карбону, нітрогену, сульфуру, органічні сполуки.

Целюлозно-паперова промисловість

Спектр забрудників, як і спектр речовин, які використовують для виробництва целюлози, паперу, картону, надзвичайно широкий і зумовлений складністю технологічного циклу та обраною технологією. Обов'язковими компонентами викидів підприємств цієї галузі є оксиди сульфуру, гідрогенсульфур, хлор (останній використовують як відбілювач), численні органічні речовини — компоненти деревини та проміжні сполуки або продукти хімічних реакцій, розчинники.

❖ **Цікаві факти**

У 1825 р. перший пасажирський потяг проїхав від Дарлінгтона до Стоктона (Велика Британія) зі швидкістю 24 км/год. У 80-х роках XIX ст. німецькі інженери Бенц і Даймлер зконструювали перший автомобіль з двигуном на бензині.

Перші кораблі з тростини використовували єгиптяни 5 тис. років тому для переправи через Ніл, у середині XIX ст. побудовані залізні кораблі з гребним гвинтом.

Із 1783 р. люди літали в корзинах на повітряних кулях. У 1903 р. здійснено перший переліт через Ла-Манш, який тривав 37 хв. Швидкість сучасних реактивних пасажирських літаків 970 км/год, надзвукового "Конкорда" — 2330 км/год.

Транспорт

У світі чисельність автомобілів перевищує 400 млн одиниць, із яких 80% припадає на легкові, 15—17% — на вантажні автомобілі та автобуси. За підрахунками, в автомобільних двигунах внутрішнього згоряння щороку спалюється близько 2 млрд т нафтового палива, а якщо врахувати, що коефіцієнт корисної дії двигуна не перевищує 23%, то решта палива витрачається не лише на обігрівання, а й на забруднення довкілля. У містах із розвинутою промисловістю до 80% усіх забруднень дає автотранспорт.

Чинниками забруднення атмосфери автотранспортом є:

- відпрацьовані гази, що викидаються через вихлопну трубу;
- картерні гази;
- вуглеводні з бака, карбюратора та трубопроводів внаслідок випаровування та протікання.

Кількість викидів забрудників двигунами внутрішнього згоряння обчислюють за формулою

$$Q_i = Q_m B_i,$$

де Q_i — кількість викидів забрудника; Q_m — кількість спаленого палива, т/рік; B_i — питома кількість викидів при згорянні 1 т бензину чи дизельного палива (***табл. 3.8***).

Викиди автотранспорту містять до 200 хімічних сполук, деякі з них надзвичайно токсичні. Лише один вантажний автомобіль, який працює на бензині, при спалюванні 1 т палива викидає в повітря до 0,6 т оксиду карбону (II) — чадного газу, що за рік становить 8—10 т.

Таблиця 3.8. **Питомий викид забрудників при спалюванні палива**

Забрудник	Питомий викид, мг/м³	
	Дизельне паливо	Бензин
Оксид карбону (II)	0,1	0,6
Оксид карбону (IV)	0,04	0,04
Вуглеводні	0,03	0,1
Оксид сульфуру (IV)	0,2	0,02
Сажа	0,0155	0,00058
Сполуки плюмбуму	—	0,0003
Бензпірен	$0{,}31 \cdot 10^{-6}$	$0{,}23 \cdot 10^{-6}$

У двигунах внутрішнього згоряння на спалювання 1 т бензину витрачається близько 15 т повітря або 2000 л кисню, що в 2,5 раза перевищує його добове споживання людиною.

Під час спалювання 1000 л палива карбюраторний двигун викидає:

- 200 кг оксиду карбону (II)
- 25 кг вуглеводнів
- 20 кг оксидів нітрогену
- 1 кг оксидів сульфуру
- 1 кг сажі.

З огляду на це зрозуміло, як гостро стоїть питання створення екологічно чистого транспорту.

Ось кілька шляхів зменшення негативного впливу транспорту на довкілля:

- встановлення в містах швидкості автомобільного транспорту 60 км/год, за якої кількість вихлопних газів найменша;
- проектування об'їзних шляхів для транзитного транспорту;
- створення дорожніх розв'язок на двох чи трьох рівнях із метою зменшення кількості зупинок перед світлофорами, коли різко зростає викид газів;
- розширення мереж електротранспорту й метрополітену;
- переведення автотранспорту на екологічно чистіше пальне чи природний газ;
- створення економніших двигунів (двигуни вітчизняних автомобілів на 1 км пройденої відстані викидають у 3—5 разів більше шкідливих речовин, ніж закордонні аналоги);
- заміна антидетонаційного домішку до бензину — тетраетилплюмбуму — екологічно безпечними, зокрема етиловим спиртом;
- зниження витрат палива (фірма "Аудіо" створила модель із турбодизельним двигуном і прямим впорскуванням палива, що на 100 км пробігу витрачає всього 3 л палива);
- створення автомобілів, у яких джерелом енергії буде водень та електроенергія.

◆ Цікаві цифри

На перевезення одного пасажира на відстань 1 км витрачається енергії палива, Дж:

- *літаком* — *6397,4*
- *поїздом* — *1121,1*
- *легковим автомобілем* — *2986,4*
- *автобусом* — *766*

Зміни в атмосфері, зумовлені її забрудненням:

Глобальне потепління клімату (парниковий ефект)

Уперше парниковий ефект помітив у 1896 р. шведський хімік С. Арреніус.

За прогнозами вчених до середини XXI ст. температура приземної атмосфери може піднятися на 1,5—4,5° С, що зумовить:

- підняття рівня Світового океану за рахунок теплового розширення води і затоплення прибережних зон;
- танення льодовиків;
- зміщення кліматичних зон (зонами землеробства стануть тайга і тундра).

Причиною потепління є збільшення в атмосфері концентрації парникових газів: вуглекислого газу (основні джерела — ТЕС, транспорт, сміттєспалювальні заводи, металургійні комбінати; ґрунти, дихання всіх живих організмів); метану (його найбільшими постачальниками є болота, рисові поля, шахти, транспорт, нафтохімічна і нафтодобувна промисловість); озону (утворюється під час грози, в озонаторах — для бактерицидної обробки води, під час зварювання металів, добування озонідів); пари води.

Деякі вчені дотримуються думки, що потепління — циклічне явище і зумовлене переважно зміною сонячної активності. Однією з причин вважають і теплу течію "Ель-Ніньо" (немовля).

З метою стабілізації вмісту вуглекислого газу в повітрі країни—члени ООН підписали в 1992 р. Конвенцію ООН про зменшення викидів цього газу.

Руйнування озонової оболонки Землі

Озонова оболонка, розміщена на висоті 20—30 км, захищає життя на планеті від жорсткого ультрафіолетового випромінювання ($\lambda<320$ нм).

Основними руйнівниками озону вважають:

- ***оксиди нітрогену***, які спричиняються випробуваннями ядерної зброї (за високих температур в атмосфері азот взаємодіє з киснем з утворенням NO, який легко окиснюється до NO_2); запусками ракет і космічних кораблів, реактивними літаками, хімічними підприємствами із виробництва та використання нітратної кислоти;
- ***фреони*** — інертні речовини типу CF_2Cl_2, $CFCl_3$ тощо, які у верхніх шарах атмосфери відщеплюють атом галогену, що руйнує молекули озону і перешкоджає їх утворенню (фреони широко застосовують у холодильній техніці як мастило, в парфумерії — як засіб для створення аерозолю). З метою збереження озонової оболонки в 1996 р. розвинені країни припинили виробництво фреонів, замінивши їх пропан-бутановою сумішшю);
- ***пару води***, яка потрапляє до озонової оболонки з викидами ракет, літаків, утворюючись під час згоряння палива.

◆ **Цікаві цифри**

Типова твердопаливна ракетна система "Спейс шаттл", підіймаючись на висоту 50 км, викидає в атмосферу

- *378 т оксидів карбону*
- *346 т пари води*
- *187 т хлору та його сполук*
- *177 т оксиду алюмінію у вигляді тонкого аерозолю*
- *166 т водню*
- *7 т оксидів нітрогену.*

За один політ знищується до 10 млн т озону (всього його в земній атмосфері близько 3 млрд т).

Кислотні дощі

Цей термін вперше ввів у вжиток англійський інженер Р. Сміт у книзі "Повітря і дощі: початок хімічної кліматології", хоча ще в 1696 р. Р. Бойль виявив кислу реакцію дощової води.

Кислі атмосферні опади, які називають "кислотними дощами", мають pH<5,5. Основними їх чинниками є оксиди нітрогену і сульфуру, а також пара кислот. Їх природними джерелами є вулканічні виверження, пожежі, діяльність ґрунтових бактерій, антропогенними — транспорт, ТЕС, сміттєспалювальні заводи, металургійні комбінати, хімічні підприємства (добування нітратної та сульфатної кислот, їх використання у виробництві добрив та органічному синтезі).

Наслідки випадання кислотних дощів:

- зниження pH поверхневих вод і ґрунтів та посилення міграції важких металів;
- опіки і зниження інтенсивності фотосинтезу у рослин;
- корозія металевих виробів (одним із найсуттєвіших наслідків забруднення повітря SO_2 є прискорення корозії металів: в атмосфері промислових районів залізо і цинк швидко кородують, утворюючи розчинні сульфати; алюміній кородує повільніше, але корозію прискорюють висока вологість і збільшення вмісту оксидів сульфуру; мідь утворює патину синьо-зеленого кольору);
- руйнування будівель із вапняку та архітектурних пам'яток (кам'яна і бетонна кладки, вапняковий розчин і цегла поглинають SO_2 — 1 моль $CaSO_4$ займає більший об'єм, ніж 1 моль $CaCO_3$, тому в матеріалі виникає механічна напруга; тканини, поглинаючи SO_2, втрачають міцність, папір і шкіра руйнуються);
- загибель гідробіонтів;
- деградація лісів, зменшення стійкості дерев стосовно шкідників і патогенних мікроорганізмів;
- зміна активності ферментів у яйцеклітинах та ікрі, що може призвести до загибелі молодняка риб.

Рекордно кислотний дощ (pH≈1,7) випав у 1979 р. в Уїлінгу (США, штат Вірджинія).

Смоги

Смоги (англ. смоке — дим, фог — туман) — явище, характерне для певних місць за певних метеорологічних умов і забруднення повітря. За походженням смоги поділяють на три типи: ***лондонський*** (чорний смог), ***лос-анджелеський*** (білий смог) та ***льодяний*** смог.

Причини ***лондонського*** смогу:

- низька температура (близько 0° С);
- вологість до 100%;
- підвищений вміст сажі, оксидів карбону, нітрогену, сульфуру, що утворюються при спалюванні палива.

Такі смоги відомі лондонцям здавна: недаремно ще в 1273 р. було видано едикт, який забороняв спалювання вугілля в печах під час засідань парламенту. У 1952 р. такий смог забрав життя 4 тисяч жителів Лондона.

В Україні такі смоги спостерігаються у приморських містах.

Фотохімічний смог лос-анджелеського типу почав з'являтися над цим містом з 30-х років XX ст. Він виникає у разі дії сонячного світла на вуглеводні і проявляється у вигляді білого туману з неприємним запахом, що подразнює очі, слизові оболонки, органи дихання.

Білий смог формується за умов:

- високої температури (понад 30° С);
- відсутності перемішування шарів повітря у вертикальному напрямі (інверсія);

- значної концентрації викидів автотранспорту: вуглеводнів, оксидів нітрогену, озону, акролеїну;
- утворення пероксицетилнітрату, що має лакриматорну дію (подразнює слизові оболонки).

В Україні спостерігається в Дніпропетровську, Запоріжжі, Донецьку і навіть курортному місті Ялті.

Льодяний смог складається з дрібних кристалів льоду, які утворюють білий туман. Він характерний для північних широт за температур нижче −30° С, високої вологості та забруднення повітря.

Тривалі смоги призводять до задухи, бронхіальної астми, збільшення смертності, пригнічення рослинності, руйнування будівель, прискорення корозії металів та інших негативних наслідків.

❖ **Цікаві факти**

Юка, рослина пустель, існує в умовах нестачі не лише вологи, а й поживних речовин, тому вона поглинає аміак із повітря, синтезуючи з нього білки. Цю властивість юки використовують із метою дезодорації повітря поблизу тваринницьких ферм, де рослину висаджують, створюючи захисну зону.

Після зменшення викидів оксидів сульфуру підприємствами Західної Європи, було помічено зниження продуктивності окремих сільськогосподарських культур. Виявляється, нестача сульфуру в ґрунтах поповнювалася викидами SO_2. Тому з димових газів виловлюють сполуки сульфуру, виробляють з них добриво і вносять у ґрунт.

Родючість ґрунтів відновилася.

Самоочищення атмосфери

Зниження забрудненості повітря відбувається завдяки різноманітним фізичним, хімічним та біологічним процесам:

- розсіюванню в атмосфері забруднників, яке залежить від метеорологічних умов (вологості та температури повітря, швидкості вітру, фізичних та хімічних характеристик забруднників);
- руйнуванню забруднників під дією сонячної радіації (фотохімічні процеси);
- взаємодії між окремими забрудниками з утворенням нетоксичних чи менш токсичних сполук (при взаємодії аміаку з хлоридом гідрогену утворюється хлорид амонію, який випадає з атмосферними опадами на земну поверхню);
- хімічній взаємодії між забрудником і основним компонентом повітря (найчастіше киснем), наприклад окиснення оксиду нітрогену (II) до оксиду нітрогену (IV), але окисниками можуть бути і озон, пероксид гідрогену тощо;
- поглинанню рослинами сполук нітрогену та сульфуру і використанню їх для синтезу органічних речовин.

3.2. Техногенний вплив на гідросферу

Проблеми, пов'язані з гідросферою, зумовлені браком прісної води для потреб людства, а також її забрудненням, порушенням природних колообігів та зменшенням продуктивності водних екосистем.

Насамперед вода — найголовніша мінеральна сировина, якої людство витрачає в 1000 разів більше, ніж вугілля чи нафти. Крім того, використовуючи чисту воду для власних потреб, людина повертає в природу меншу її кількість і значно гіршої якості, найчастіше у вигляді стічних вод.

Оскільки вода здійснює взаємозв'язки в екосистемах, то порушення будь-якого ланцюга впливає і на кількість та якість води. Зокрема, в разі надходження в поверхневі стоячі водойми значних кількостей нітрогенмістких та фосфатних сполук з полів створюються умови для швидкого розмноження влітку синьозелених водоростей і погіршення стану водойми — евтрофікації, яка спричиняє:

- збільшення каламутності води;
- прогрівання верхніх шарів води;
- появу неприємного запаху і смаку води внаслідок виділення у воду продуктів розкладання органічних речовин та метаболітів;
- створення гіпоксичних умов і прискорення процесів гниття;
- зниження pH води;
- загибель окремих видів гідробіонтів.

Нестача питної води в певних регіонах пов'язана з нерівномірним розміщенням поверхневого стоку. Крім того, 96% прісних вод знаходиться в льодових щитах Антарктиди, Гренландії, айсбергах, льодовиках, у зоні вічної мерзлоти.

Стосовно водних ресурсів усі галузі господарства поділяють на дві групи:

- ***споживачі***, які забирають воду, використовуючи її для виготовлення продукції, а потім повертають у меншій кількості та гіршої якості (у вигляді стічних вод);
- ***користувачі***, які використовують воду як середовище (рибальство, водний транспорт, лікувальні установи чи курорти для купання та відпочинку) або як джерело енергії (гідроелектростанції), але й вони, як правило, погіршують якість води.

◆ Цікаві цифри

Для утворення 1 г біомаси вищі рослини повинні випарувати близько 100 г води. Всю масу гідросфери рослини (фотосинтетики) можуть розкласти за 5 млн років, а організми-деструктори за такий самий проміжок часу — вилучити її з органічних решток.

За даними ВООЗ, багато захворювань пов'язані зі споживанням води низької якості (кожен шостий житель Землі використовує для питних потреб воду, яка не відповідає санітарним вимогам).

Чинники, що впливають на хімічний склад природних поверхневих вод

Природні води мають хімічний склад, що формується під дією численних абіогенних та біогенних чинників і може змінюватися в широких межах. Основні катіони природних вод — Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+}, аніони — HCO_3^{-}, SO_4^{2-}, Cl^{-}; їх співвідношення різне в солоних і прісних водах.

Фізичні чинники, що впливають на хімічний склад і біологічну продуктивність природних водойм:

- ***температура***, зміна якої впливає на розчинність газів (зменшується під час нагрівання), багатьох сполук (більшість речовин краще розчиняється з підвищенням температури); нагрівання сприяє гідролізу, прискоренню хімічних і біохімічних процесів, може спричинювати гіпоксію і тепловий стрес у гідробіонтів;
- ***освітленість*** — важливий екологічний чинник, від якого залежить інтенсивність процесів фотосинтезу у водяних рослин і водоростей, вміст вуглекислого газу й кисню, продуктивність водних екосистем;
- ***окисно-відновний потенціал*** характеризує співвідношення між окисниками і відновниками, вміст органічних сполук, кисню, інтенсивність розкладання органічних решток;
- ***змішування води та швидкість течії*** зумовлюють різну інтенсивність процесів самоочищення, поширення забрудника, вміст кисню тощо.

Хімічні чинники:

- ***вміст розчинених газів*** — CO_2, O_2, H_2S, NH_3, CH_4, які надходять із повітря, утворюються в процесі життєдіяльності водяних організмів та під час гниття органічних решток;

• ***концентрація розчинених сполук*** характеризує мінералізацію води і класифікацію вод на групи:

Тип вод	**Масова частка розчинених сполук, г/кг води**
Прісні	<1
Солонуваті	1—25
Солоні	25—50
Розсоли	>50

Прісні, своєю чергою, поділяють на води

	Ступінь мінералізації, мг/л
Слабко мінералізовані	<200
Середньо мінералізовані	200—500
Сильно мінералізовані	500—1000

Хімічний склад природних вод (***табл. 3.9***) наводять у вигляді графічних зображень у поздовжніх (***рис. 3.4***) чи радіальних (***рис. 3.5***) координатах або у вигляді формул, з яких найбільш уживаними є формула Курлова і формула сольового складу води.

Таблиця 3.9. **Хімічний склад природних вод**

Йон	**Вода *А* (1200 мг/л CO_2)**			**Вода *Б***		
	мг/л	**ммоль екв/л**	**%-екв***	**мг/л**	**ммоль екв/л**	**%-екв***
Na^+	104	4,51	55	77	3,34	18
K^+	16	0,41	5	14	0,37	2
Ca^{2+}	49	2,46	30	246	12,29	66
Mg^{2+}	10	0,82	10	32	2,60	14
Усього катіонів	179	8,20	100	368	18,60	100
Cl^-	58	1,64	20	66	1,86	10
SO_4^{2-}	67	1,40	17	420	8,75	47
NO_3^-	10	0,16	2	104	1,67	9
HCO_3^-	305	5,00	61	386	6,32	34
CO_3^{2-}	Немає	—	—	Немає	—	—
Усього аніонів	440	8,20	100	976	18,60	100

Формула Курлова — це псевдодріб, у чисельнику якого представлені аніони в %-екв* у порядку зменшення, у знаменнику — катіони в такій же послідовності. Йони, що містяться в кількості менш як 10 %-екв, у формулу не входять.

Формула має додаткові дані: ліворуч від дробу зазначають (у грамах на літр) концентрацію газів і активних елементів за їх вмістом, що не є меншим за найнижчі

* %-екв (відсоток еквівалентів) — це кількість мілімолів еквівалентів окремого йона від загальної кількості мілімолів еквівалентів йонів, що містяться у воді.

Перерахунок на %-екв виконують так: суму мілімолів еквівалентів катіонів і аніонів, одержаних у результаті аналізу, приймають за 100 і відносну кількість еквівалентів кожного йона виражають у %.

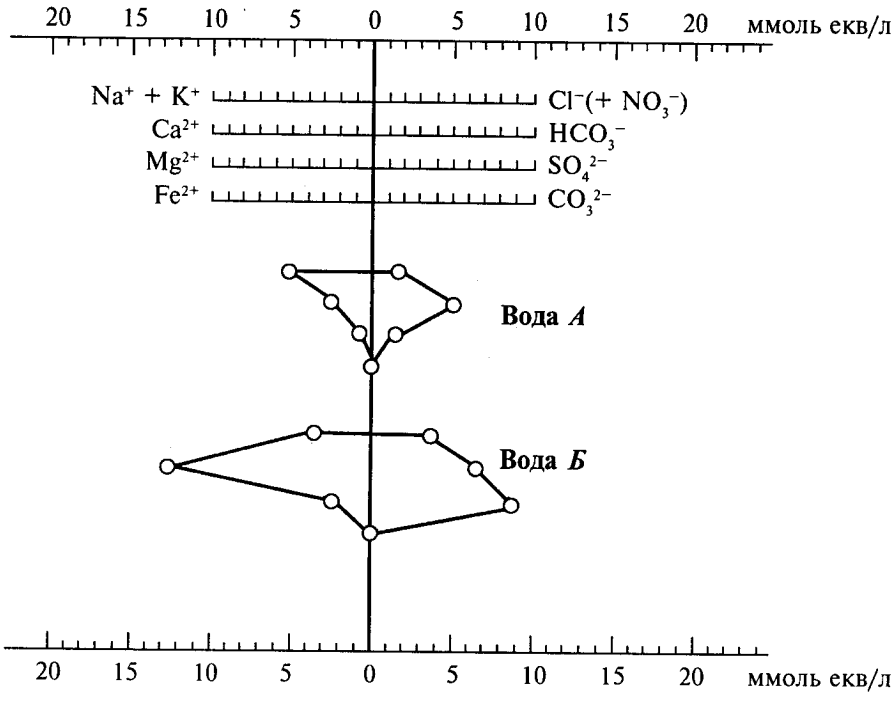


Рис. 3.4. Графічне зображення складу води в поздовжніх координатах

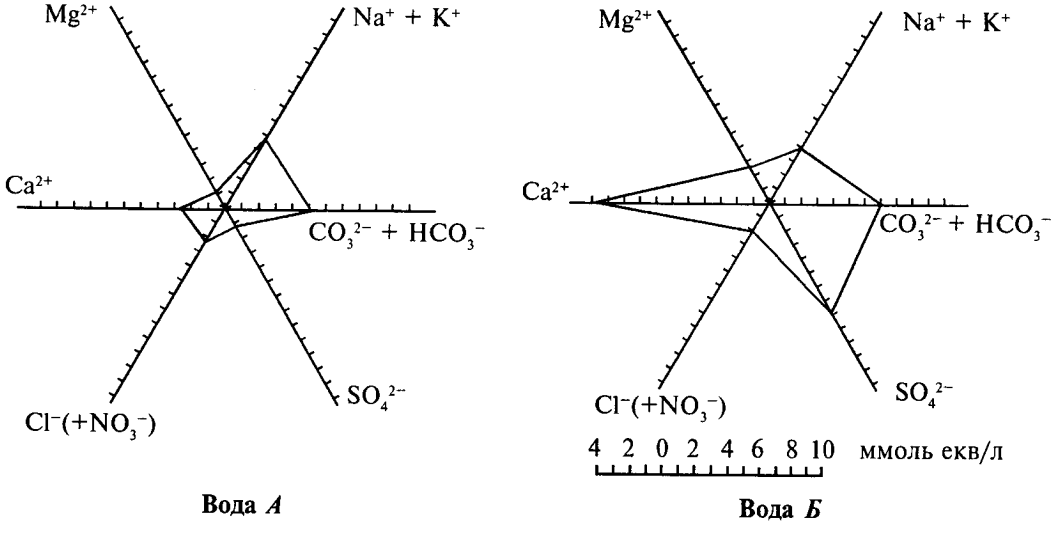


Рис. 3.5. Графічне зображення складу води в радіальних координатах

норми, які відрізняють звичайні води від мінеральних, і мінералізацію води M у грамах (до десятих часток грама). Праворуч від дробу записують температуру T і дебіт $Д$ в літрах на добу.

Вода *Б* матиме формулу:

$$CO_2\ 1{,}2\ M_{1,4}\ \frac{SO_4\ 47\ HCO_3\ 34\ Cl\ 10}{Ca\ 66\ Na\ 18\ Mg\ 14}\ T_{40}\ Д_{1000}.$$

Формула сольового складу, порівняно з формулою Курлова, простіша:

Вода *Б*

$$M_{1,4}\ \frac{SO_4\ 47\ HCO_3\ 34\ Cl\ 10\ NO_3\ 9}{Ca\ 66\ Na\ 18\ Mg\ 14\ K\ 2}$$

Вода *А*

$$M_{0,6}\ \frac{HCO_3\ 61\ Cl\ 20\ SO_4\ 17\ NO_3\ 2}{Na\ 55\ Ca\ 30\ Mg\ 10\ K\ 5}$$

Вода *А* називається гідрокарбонатно-хлоридно-натрієво-кальцієвою, вода *Б* — сульфатно-гідрокарбонатно-кальцієво-натрієвою.

Концентрація солей впливає на вміст кисню: чим більша мінералізованість, тим менша розчинність цього важливого газу.

Солі, розчинені у воді, зумовлюють і її смак. В ***табл. 3.10*** наведені їх концентрації.

Таблиця 3.10. **Гранична концентрація солей, що зумовлюють смакові відчуття**

Сіль	Концентрація солі, мг/л	
	Смак ледве помітний, непевний	Смак, що сприймається як неприємний
NaCl	150	500 (солоний)
$MgCl_2$	100	400 (гіркий)
$MgSO_4$	200	500 (гіркий)
$CaSO_4$	70	150 (в'яжучий)
KCl	350	700 (гіркий)
$FeSO_4$	1,5	5,0 (залізистий)
$MnCl_2$	2,0	4,0 (болотний)
$FeCl_2$	0,3	0,5 (болотний)

- **pH води** впливає на розчинність солей, процеси міграції важких металів, життєдіяльність гідробіонтів. pH прісноводних рік і озер становить найчастіше близько 7 (іноді 8), морської води — приблизно 8,3.

Для озерних гідробіонтів вплив pH води (за С.Уест) такий:

- при pH = 7,0 знижується вміст кальцію і гине ікра окремих видів земноводних;
- при pH = 6,6 гинуть деякі молюски;
- при pH = 6,0 зникають з водної екосистеми прісноводні креветки;

- при pH = 5,5—6,0 знижується чисельність і загальна кількість водяних організмів, гине планктон;
- при pH = 4,5 в озері практично не залишається риби, не осаджуються і гниють рештки.

Біологічні чинники — це рослинний і тваринний світ, їх продуктивність; вони впливають на численні хімічні процеси у водоймі, зумовлюють деякі показники якості води, наведені нижче.

Бактеріологічні показники характеризують забрудненість води патогенними і непатогенними мікроорганізмами, яку визначають за:

- чисельністю коліфагів;
- чисельністю лактозопозитивних кишкових паличок.

Кишкова паличка — це мікроорганізм, який живе у шлунку людини й тварини і взятий окремо нешкідливий; однак його наявність у воді свідчить про можливість розвитку хвороботворних бактерій. Доброякісність питної води визначається кількістю кишкових паличок в 1 л води.

За нормою 1 л питної води має містити не більш як 3 бактерії групи кишкових паличок (***колі-індекс води***); обернена величина — ***колі-титр*** — кількість мілілітрів води, в якій міститься одна кишкова паличка (у питній воді колі-титр не повинен бути меншим ніж 333 мл). Критерії оцінки бактеріального забруднення води наведені в ***табл. 3.11.***

Таблиця 3.11. **Критерії оцінки бактеріального забруднення води за колі-індексом**

Стан (оцінка) води	Колі-індекс
Дуже чиста	<3
Чиста	3—1000
Задовільної чистоти	1001—10 000
Забруднена	10 001—50 000
Брудна	50 001—100 000
Дуже брудна	>100 000

Гідробіологічні показники дають можливість оцінити стан водойми за видовою різноманітністю рослин і тварин:

- ***оцінка за рівнем сапробності*** (вмістом органічних речовин) — від полісапробних (найзабрудненіших) до олігосапробних (найчистіших); кожному рівню сапробності відповідає певний набір індикаторних організмів (***табл. 3.12***).
- ***оцінка за функціональними характеристиками водойми*** — первинною продуктивністю, швидкістю деструкції тощо.

Процеси самоочищення водойм

Критерієм забруднення води є погіршення її якості внаслідок зміни органолептичних властивостей і появи речовин, шкідливих для людини, тварин, птахів, риб, кормових і промислових організмів (залежно від типу водокористування), а також підвищення температури, що змінює умови для нормальної життєдіяльності живих істот.

Таблиця 3.12. **Бактеріологічні показники із класифікації якості води (за В.Жулинським із соавт.)**

Чисельність бактеріопланктона, тис. кл./мл	Чисельність гетеротрофів, тис. кл./мл	Чисельність кишкової палички, тис. кл./мл	Зона сапробності	Розряд
0,3	0,2	0,003	ксеносапробна	Гранично чиста
0,3—0,5	0,1—0,5	0,003—0,5	β-олігосапробна	Дуже чиста
0,6—1,5	0,6—1,0	0,6—2,0	α-олігосапробна	Цілком чиста
1,6—2,5	1,1—3,0	2,1—6,0	β′-мезосапробна	Досить чиста
2,6—5,0	3,1—5,0	6,1—10,0	β″-мезосапробна	Слабко забруднена
5,1—7,0	5,1—7,0	11—50	α′-мезосапробна	Помірно забруднена
7,1—10,0	7,1—10,0	51—100	α″-мезосапробна	Сильно забруднена
10,1—20,0	10,1—20,0	110—1000	β-полісапробна	Досить брудна
>20,0	>20	>1000	α-полісапробна	Гранично брудна

Забруднення природних водойм і підземних вод поділяють за джерелом походження на природне та антропогенне (стічні води, звалища відходів, випадання різних речовин з атмосфери). Одночасно із забрудненням відбувається і самоочищення вод, у якому задіяні фізичні, хімічні та біологічні чинники. Інтенсивність процесів самоочищення залежить від:

- типу та концентрації забрудників;
- умов водойми (зокрема, рослинного й тваринного світу);
- зовнішніх умов (температури, освітленості).

Самоочищення водойм **— це сукупність фізичних, гідродинамічних (розбавляння, перемішування), фізико-хімічних, хімічних та біохімічних процесів, які зумовлюють зниження концентрації забрудників у воді.**

Фізичні процеси — це газообмін на межі розподілу "атмосфера—вода": поглинання газів, що входять до складу атмосферного повітря, відбувається при зниженні температури води, причому якщо об'ємна частка азоту, кисню і оксиду карбону (IV) у повітрі становить, %: 78, 21, 0,027, тобто співвідношення приблизно 4:1:0,0014, то у воді воно значно відрізняється — 2:1:0,0013.

Ці гази надходять у водойми не лише з атмосфери, а й з'являються у воді в результаті хімічних та біологічних процесів: кисень продукують водні рослини і водорості; вуглекислий газ виділяють рослини і тварини під час дихання, він утворюється в процесі аеробного розкладу органічних решток. Кисень води витрачається на дихання, окиснення органічних і неорганічних речовин; CO_2 поглинають рослини у процесі фотосинтезу (деякі водяні організми зв'язують його у вигляді карбонату кальцію, який є будівельним матеріалом для черепашок коколітофоридів (фітоплактон) та радіолярій (зоопланктон)); його накопичують і організми, що утворюють коралові рифи.

У водоймах утворюється гідрогенсульфід, аміак, оксиди нітрогену тощо. З одного боку, сірководень — надзвичайно токсичний газ (підняття сірководневого шару в Чорному морі на глибину 100 м загрожує перетворити значну площу моря на

мертву зону), з іншого, — завдяки малій розчинності сульфідів більшості металів цей газ може осаджувати катіони важких металів у вигляді малорозчинних сульфідів:

$$Hg^{2+} + H_2S = HgS\downarrow + 2H^+;$$

$$2Bi^{3+} + 3H_2S = Bi_2S_3\downarrow + 6H^+,$$

знижуючи тим самим їх токсичність і доступність для гідробіонтів.

Гідрогеносульфур використовують хемотрофи для синтезу органічних речовин як джерело хімічної енергії, що виділяється під час окиснення H_2S:

$$CO_2 + 2H_2S \longrightarrow C(H_2O) + H_2O + 2S\downarrow.$$

До фізичних процесів відносять і сорбцію домішок зависями, донним мулом, поверхнею тіл гідробіонтів (якщо сорбція супроводжується хімічною реакцією, то називається хемосорбцією і належить до фізико-хімічних процесів). Фізичним самоочищенням є осадження зависей.

Хімічні процеси — це механізми, в основі яких лежать хімічні реакції різних типів, що супроводжуються утворенням малорозчинних, малодисоційованих (комплексних), газоподібних та інших сполук. При цьому зменшується концентрація і доступність речовин, що становлять значну небезпеку для життєдіяльності гідробіонтів і здоров'я людей. Такими процесами є осадження:

$$Pb^{2+} + CO_3^{2-} = PbCO_3\downarrow,$$

окиснення:

$$4Fe^{2+} + 6H_2O + 3O_2 = 4Fe(OH)_3\downarrow,$$

комплексоутворення:

$$Fe^{3+} + 3C_2O_4^{2-} = [Fe(C_2O_4)_3]^{3-},$$

гідроліз — взаємодія речовини з водою:

$$Al^{3+} + HOH \rightleftarrows Al(OH)^{2+} + H^+,$$

фотоліз — розпад часточок на кілька простих (фотохімічна дисоціація) або утворення йонів із молекул (фотоіонізація) під дією сонячного світла.

Біохімічні процеси відбуваються за участі живих організмів: фото- і хемосинтез, біоакумуляція окремих хімічних елементів, процеси метаболізму та взаємодія їх продуктів між собою чи з компонентами води.

У більшості морських рослинних і тваринних організмів відношення числа атомів P:N:C дорівнює 1:15:80, тому нітроген і фосфор лімітують процеси життєзабезпечувальної системи в океані. Поблизу поверхні ці хімічні елементи поглинаються фітопланктоном, передаються по ланцюгах живлення і звільняються в глибинних шарах внаслідок деструкції та розкладання нітрогеновмісних органічних сполук (зокрема, амінокислот) до нітратів (на кожний атом нітрогену витрачається 17,25 атома оксигену, на кожний атом фосфору — 276 атомів оксигену, якщо поглинання чи виділення нітрогену й фосфору відбувається у співвідношенні 16:1).

Колір і каламутність води значною мірою залежать від планктону — численної групи організмів, представленої мікроскопічними, одноклітинними, ценобіальними, колоніальними та багатоклітинними організмами бактеріального, рослинного і тваринного походження.

◆ Цікаві цифри

Колір води помітний вже при концентрації біомаси водоростей близько 1 мг/л, а їх у період "цвітіння" може бути 1,5—2,0 кг/м³, а іноді до 40—50 кг/м³ (в перерахунку на суху речовину, представлену сестоном, що включає синьозелені водорості, мікроорганізми, мертву органічну речовину тощо).

Переоцінити значення водоростей у процесі самоочищення водойм важко, адже вони виділяють кисень, забезпечуючи ним гідробіонтів та процеси окиснення.

Фотосинтетична активність водоростей (виділення кисню хлорофілом, грами кисню на міліграм хлорофілу впродовж 1 години) становить для водоростей

- *зелених (протококових) — 80,0*
- *синьозелених — 18,0*
- *зелених (нитчастих) — 3,2*
- *червоних — 1,5*

Крім того, синьозелені водорості — унікальні організми (останнім часом їх відносять до ціанобактерій царства дріб'янок), здатні засвоювати 4 гази:

- *CO_2 (в процесі фотосинтезу);*
- *O_2 (для дихання);*
- *H_2S (як хемосинтетики);*
- *N_2 (як азотфіксатори).*

Прісноводні зелені водорості акумулюють з води катіони металів: коефіцієнти накопичення плюмбуму, кадмію, хрому становлять 2650, 11000, 320; ряска, кладофора, спірогіра мають коефіцієнт накопичення ^{137}Cs відповідно 2400, 1230—1570, 285—1920.

Водорості мають і бактерицидні властивості: знешкоджують фекальні води, деякі знищують віруси грипу, поліомієліту; утворюють з катіонами меркурію і плюмбуму комплекси, зменшуючи тим самим їх токсичність; руйнують пестициди. Хоча не слід забувати й про те, що масове розмноження окремих видів водоростей, переважно синьозелених, є причиною евтрофікації водойм, біологічного забруднення значних територій Світового океану, отруєння токсинами, що їх виділяють водорості.

Забруднення поверхневих вод

Зниження якості природних вод (як поверхневих, так і підземних) зумовлене головним чином споживанням води, про що йшлося вище. Якщо в середні віки витрата води на людину становила 10—15 л/добу, то нині вона зросла до 150—600 л/добу. Використана вода або не очищається, або очищається недостатньо.

Найбільше води використовує сільське господарство — для поливу с/г угідь (близько 70%). Так, на вирощування на поливних землях 1 т цукрового буряку витрачається 130—160 м³ води, 1 т рису — 5000—7000 м³.

До 20% водних ресурсів задіяно в промисловості. Найбільш водомісткими галузями є, %:

чорна металургія	24
кольорова металургія	17
хімічна промисловість	16
паливна і нафтохімічна промисловість	13
целюлозно-паперова промисловість	11.

Забруднення вод негативно впливає на процеси, що відбуваються у водоймі, на функціонування гідробіонтів, здоров'я людей, існування екосистем. Недаремно В.Вернадський говорив про воду так: *"...немає природного тіла, яке могло б зрівнятися з нею за впливом на перебіг основних, найграндіозніших процесів: не лише земна поверхня, а й глибокі — в масштабі біосфери — частини планети визначаються в найістотніших своїх проявах її існуванням та її властивостями".*

За призначенням води класифікують на:

- господарсько-питні;
- поливні;
- технічні, які, в свою чергу, поділяють на охолоджувальні, енергетичні, технологічні (останні використовують як реагент, середовище, транспортний агент).

Найнебезпечнішими і найпоширенішими забрудниками природних вод є сполуки нітрогену і фосфору та пестициди, що змиваються з полів чи потрапляють у воду при їх внесенні (особливо в разі розпилення з літаків), важкі метали, радіонукліди, нафтопродукти та багато інших.

Надмірне використання води зменшує стік річок. Через водовідбір одна з найбільших рік Китаю досягає Жовтого моря лише у дощові роки; Амудар'я і Сирдар'я вже не впадають в Аральське море, яке поступово гине, а колишнє дно перетворюється на солончаки, перезабруднені токсикантами, які під час суховіїв підіймаються в повітря і переносяться на сотні кілометрів. Не добирає і мілішає Азовське море через те, що майже третину річкових вод Дону й Кубані забирають на полив сільськогосподарських угідь.

Підвищення забрудненості річок і уповільнення процесів самоочищення зумовлене і створенням ГЕС та штучних водосховищ, що значно зменшує швидкість течії, погіршує перемішування та аерацію вод.

При створенні водосховищ для ГЕС на рівнинних річках акумулювання 1 км^3 води викликає затоплення 300—320 км^2, на гірських — 80—100 км^2, руйнування берегів, евтрофікацію.

Світовий океан і його забруднення

72% поверхні Землі (361 млн км^2) вкрито водами Світового океану.

Світовий океан виконує надзвичайно важливі функції у біосфері:

- продукування біомаси;
- підтримання оптимального газового й гідрологічного режимів планети (формує клімат, атмосферні опади, регулює вміст вуглекислого газу, є джерелом кисню — понад половина його кількості надходить в атмосферу з океану; поглинає сонячну енергію і випаровує воду: щодоби з поверхні Світового океану випаровується майже стільки води, скільки її зосереджено в руслах річок усього світу);
- біохімічне очищення гідросфери.

Світовий океан є для людини:

- джерелом прісної води;
- транспортною артерією;
- "кухнею погоди" — виробником атмосферних умов, які визначають погодні умови не тільки на узбережжях, а й у центральних частинах континентів;
- джерелом рибних ресурсів;
- рекреаційною зоною, об'єктом туризму (прибережні та інші регіони);
- джерелом корисних копалин, які добуваються з води, поверхні дна, в породах під дном, на шельфі;
- джерелом енергії (припливні та хвильові електростанції);
- на його берегах проживає більше половини населення планети, а останнім часом на шельфі вже будують штучні острови (Японія);
- місцем захоронення відходів, зокрема радіоактивних;
- полігоном для випробування ядерної зброї.

Через значне зростання антропогенних забруднень Світового океану в останні десятиліття різко погіршується стан його екосистем і знижується біологічна продуктивність.

Основні забрудники Світового океану

Нафта і нафтопродукти потрапляють у воду природним і штучним шляхами. Щороку у світі добувають понад 4 млрд т сирої нафти, з якої приблизно 50 млн т втрачається під час добування, транспортування та переробки.

У води Світового океану надходить за рік 12—15 млн т нафти, кожна тонна якої вкриває плівкою 12 км^2 поверхні океану. За підрахунками вчених, нині 20% поверхні Світового океану вкриті плівкою нафти чи нафтопродуктів, з яких 2/3 надходить із суші.

Приблизний розподіл викидів нафти та нафтопродуктів між джерелами такий, %:

- скид із суден — 30
- надходження з річковим стоком — 30
- скидання з берегових очисних споруд — 10
- надходження із земної кори — 10
- випадання з атмосфери — 10
- катастрофи нафтоналивних суден (особливо екологічно небезпечними є супертанкери з великою масою, глибокою посадкою і малою маневреністю, водотоннажністю 100—500 тис. т) — 10
- видобуток нафти на шельфі — 1.

Наслідки нафтового забруднення для гідробіонтів і швидкість самоочищення вод залежать від багатьох чинників:

- хімічного складу нафти й нафтопродуктів (вмісту ароматичних і поліциклічних вуглеводнів; парафіни малотоксичні);
- кількості;
- леткості компонентів (леткі фракції з $t°_{кип}$<200° С високотоксичні, але швидко випаровуються);
- питомої густини;
- стійкості;
- вмісту сульфуру.

Нафтове забруднення призводить до:

- зміни газо- і водообміну між атмосферою і поверхнею Світового океану;
- зміни температурного режиму вод;
- загибелі ікри та деяких водяних організмів внаслідок отруєння (особливо небезпечне для малорухомих видів, зокрема молюсків);
- появи неприємного запаху і смаку води: при концентрації нафти
  - — 0,06 мг/л погіршуються смакові якості води і риба набуває нафтового присмаку;
  - — понад 0,5 мг/л — риба гине;
  - — понад 1,2 мг/л — гине планктон і бентос (донні організми);
- злипання пір'я у водоплавних птахів внаслідок потрапляння нафти і їх загибель;
- розчинення жиру на поверхні шкіри тварин і загибель від переохолодження.

У разі нафтового забруднення масово розмножується одноклітинна золотиста водорість, утворюючи пояс завширшки до 10 км і завтовшки 35 м, що рухається зі швидкістю 25 км на добу, знищуючи на своєму шляху все живе.

Нафтові плями виявляють із суден, літаків, штучних супутників Землі. Всі дистанційні методи виявлення базуються на відмінностях фізичних і хімічних властивостей води і нафти та нафтопродуктів (до складу нафти входять понад 1000 хімічних сполук, хімічний склад нафти кожного родовища своєрідний, що дає змогу останнім

часом не лише виявити пляму, встановити розмір і площу та основні компоненти, а й ідентифікувати танкер-винуватець).

Навіть при малих концентраціях нафту можна визначити за допомогою ультрафіолетової флуоресцентної спектроскопії, інфрачервоної спектроскопії, газової хроматографії, магнітометрії, хімічного маркування тощо.

Зважаючи на кількість вилитої нафти, погодні умови та засоби, які використовує людина, нафтові плями ліквідують одним із методів:

- спалюють на танкері, який потерпів аварію;
- гасять пожежу, а танкер затоплюють;
- збирають нафту механічним шляхом, обробляють пляму сорбентом (пісок, силікагель, лігніновий чи тальковий пил) або речовиною, що переводить нафту у твердий стан;
- розпилюють поверхнево-активні речовини, які емульгують нафту;
- за допомогою мікробіологічного руйнування: використовують цілий ланцюг "пожирачів" (руйнівників) нафти (у центральній частині океану 1 "нафтовий" мікроб припадає на 40 мл води, в 1 мл забрудненої нафтою води кількість їх досягає 10 000).

◆ Цікаві цифри

Із частиною забрудників море справляється самостійно: бензин повністю випаровується з поверхні впродовж 6 год; половина сирої нафти — впродовж трьох тижнів; нафта емульгується, розчиняється і осаджується, а також руйнується під впливом зовнішніх чинників.

За добу при температурі 20—30° С за участі кисню в результаті фотохімічних реакцій руйнується 0,02—2 г нафти. Понад 100 видів бактерій, грибів, водоростей і губок використовують компоненти нафти і нафтопродуктів як джерело карбону, окиснюючи їх у процесі метаболізму до CO_2 і H_2O.

Отже, на швидкість руйнування впливають освітленість, температура, доступ кисню, видова різноманітність бактерій та наявність поживних речовин для них. Так, в арктичних морях процеси самоочищення дуже уповільнені, і нафта може зберігатися впродовж 50 років, завдаючи шкоди водяним організмам. Парафінові вуглеводні швидше розкладаються бактеріями, ніж ароматичні.

Важкі метали потрапляють у Світовий океан зі стоком річок, вимиваються з поверхні, випадають з атмосфери. Найбільшим їх джерелом є стічні води підприємств металургії та металообробки. Вплив важких металів на гідробіонти залежить від їх токсичності, концентрації, доступності, стійкості у водному середовищі тощо.

Буферна ємкість — це показник, що характеризує дозу металу, надходження якої істотно не порушує характеру функціонування всієї екосистеми.

На неї впливають:

- гідробіонти, здатні акумулювати важкі метали; особливо це стосується організмів-фільтраторів, що сорбують і концентрують у своєму організмі метали; швидкість фільтрації збільшується за температури 20—30° С, при зменшенні концентрації завислей у воді, збільшенні маси тіла молюсків-фільтраторів;
- сорбція органічними речовинами (найбільше важких металів сорбують часточки розміром 0,5—0,05 мм);
- здатність утворювати комплексні сполуки з розчиненими у воді органічними речовинами, зокрема гуміновими та фульвіновими кислотами;
- поглинання важких металів донними мулами (високу сорбційну здатність мають оксиди та гідроксиди феруму, алюмінію, мангану, титану, силіцієва кислота тощо);
- температура: при підвищенні температури посилюється гідроліз катіонів важких металів;

- pH води: зі зниженням pH токсичність багатьох металів виявляється при нижчих концентраціях, зростає їх доступність для водяних організмів;
- твердість води: при високому вмісті кальцію і магнію спостерігається конкуренція між ними і важкими металами за надходження в організм гідробіонтів, що зменшує токсичність останніх; це впливає і на їх ГДК (***табл. 3.13***);

Таблиця 3.13. **Залежність ГДК йонів Cd^{2+} від твердості води (для прісних водойм)**

Твердість, мг/л	Концентрація Cd^{2+}, мкг/л
До 40	0,20
41—90	0,35
91—200	0,70
201—300	1,00
301—500	1,50
>501	2,10

- здатність вступати в реакції алкілування; меркурій у вигляді органічних сполук більш токсичний.

Забруднення сміттям і продуктами його спалювання в морі. Сміття потрапляє в океан із кораблів, що курсують його просторами, надходить із водами річок, його часто спеціально скидають у води Світового океану чи спалюють у віддалених районах. Особливо забруднені води поблизу портів.

Захоронення токсичних і радіоактивних відходів на океанічному дні внаслідок пошкодження контейнерів спричинює забруднення вод шкідливими речовинами і радіонуклідами. Після Другої світової війни хімічна зброя разом із кораблями Німеччини була затоплена в Балтійському морі. Відпрацьовані реактори підводних човнів, перші радіоактивні відходи військово-промислового комплексу і АЕС теж захоронювали в такому корозійно агресивному середовищі, як морська вода (Карське море, глибинні зони Атлантики).

Інші проблеми Світового океану

Інтенсивне використання Світового океану як транспортної артерії та джерела біологічних ресурсів зумовило його забруднення і зменшення чисельності багатьох видів морських мешканців. Основними причинами збіднення Світового океану є:

- перевилов окремих видів риб і морських тварин та зміна трофічних ланцюгів;
- хижацьке їх винищення;
- знищення місць нересту, зміна шляхів міграцій риб;
- зниження через забруднення води стійкості імунної системи тварин до різних захворювань;
- забруднення вод і отруєння токсичними речовинами внаслідок їх накопичення по трофічних ланцюгах (найвищий вміст токсинів, зокрема пестицидів, виявлено у великих довгожителів океану, які харчуються рибою).

Усього в океані мешкає близько 160 тис. видів різних істот, існування яких багато в чому залежить нині від свідомості людей.

Водні проблеми України

До водного фонду України належать:

- поверхневі води: природні водойми (озера), водотоки (річки, струмки), штучні водойми (ставки, водосховища) і канали; інші водні об'єкти;
- підземні води та джерела;
- внутрішні морські й територіальні води.

Основні елементи водного балансу України та структура водоспоживання наведені в ***табл. 3.14—3.15.***

Таблиця 3.14. **Основні елементи водного балансу України за багаторіччя**

Елементи водного балансу	Одиниці вимірювання	
	мм/рік	км³/рік
Опади	625	377
Стік:		
поверхневий	65,2	39,4
підземний	21,6	13,0
Випаровування	538	325
включно з поверхневим	203	123
Інфільтрація	357	216

Таблиця 3.15. **Структура водоспоживання за галузями народного господарства**

Галузі	1960	1965	1970	1975	1980	1985	1990	1993	Зміна даних 1993 р. порівняно з даними років	
									1960	1985
Повне водоспоживання										
Промисловість	74,2	69,1	65,0	58,0	52,5	46,7	46,1	42,4	−31,8	−4,3
Комунальне господарство	6,3	6,3	7,5	8,2	9,8	10,5	10,7	13,1	+6,8	+2,6
Сільське і рибне господарство	19,5	24,6	27,5	33,8	37,7	42,8	43,2	44,5	+25,0	+1,7
Безповоротне водоспоживання										
Промисловість	38,2	34,1	33,3	26,8	25,6	22,9	16,4	16,2	−22,0	−6,7
Комунальне господарство	10,9	9,8	10,2	10,2	11,0	10,6	13,7	11,8	+0,9	+1,2
Сільське і рибне господарство	50,9	56,1	56,5	63,0	63,4	66,5	69,9	72,0	+21,1	+5,5

Річковий стік України становить у середньому 83,5 млрд м³, у маловодні роки знижується до 48,8 млрд м³, причому розподілений нерівномірно:

70% припадає на Південно-Західний економічний район, що становить 45% території і в якому проживає 40% населення; 30% — на Донецько-Придніпровський

і Південний райони (55% території і 60% населення), де зосереджені найбільш водомісткі галузі народного господарства.

Україна належить до держав із низьким рівнем водозабезпеченості. За запасами місцевих ресурсів річкового стоку на душу населення Україна посідає одне з останніх місць у Європі (в Україні на 1 жителя припадає 1,0 тис. м^3, в Європі — 4,6 тис. м^3).

В Україні 3039 рік завдовжки понад 10 км, близько 22 000 малих річок, на яких розташовані майже 90% населених пунктів. Більшість річок несуть свої води до Чорного і Азовського морів і лише 4% — до Балтійського.

Дніпро — третя за довжиною і площею басейну річка Європи (після Волги і Дунаю). Її басейн займає 65% площі України, загальна довжина — 2201 км (в Україні — 1205). Греки називали Дніпро Борисфеном — "той, що тече з півночі". Ця річка — одна з колисок людської цивілізації.

Із невеликим обсягом водних ресурсів на душу населення в Україні пов'язано створення ставків і водойм, що спричинило зникнення малих річок, затоплення значних територій родючих земель.

В Україні 748 водосховищ об'ємом понад 1 млн м^3 кожне. Створення на Дніпрі каскаду гідроелектростанцій і водосховищ зумовило:

- спрямлення його русла;
- зменшення у 8—10 разів швидкості течії та інтенсивності процесів самоочищення;
- підвищення рівнів підземних вод;
- зникнення цінних порід риб, що віддавали перевагу швидкій течії;
- забруднення води гниючими органічними рештками стоячих вод.

Із Дніпра п'ють воду майже 30 млн жителів України. Вода, що сягає південних територій України, потрапляє на поля для зрошення значно забрудненою важкими металами, радіонуклідами, нітратами, фосфатами та ін., що призвело за умов низької вологості й високої температури до забруднення земель Криму та південних областей України і накопичення забрудників у сільськогосподарській продукції.

Внаслідок підняття рівня підземних вод багато міст України потерпають від підтоплення, на крутих схилах морського узбережжя, берегів річок і ставків ведеться боротьба зі зсувами. Значної кількості води потребують АЕС (Рівненська АЕС витрачає практично весь стік річки Горинь).

Отже, екологічними проблемами України, пов'язаними з водою, є:

- нестача води в певних місцевостях;
- незадовільна якість води для питних потреб;
- забруднення вод Чорного і Азовського морів та зменшення їх біорозмаїття;
- забруднення річок та водосховищ пестицидами, сполуками нітрогену і фосфору, важкими металами, радіонуклідами, нафтопродуктами;
- підтоплення територій поблизу водосховищ;
- "цвітіння" стоячих вод водосховищ;
- зникнення малих річок;
- зсуви і селі в гірських районах тощо.

У водосховищах Кременчуцької і Канівської ГЕС та в морях України накопичуються радіонукліди. 20% акваторії Чорного моря вважають гострокризовими, ще 67% — кризовими. Це зумовлено підвищенням рівня радіоактивності внаслідок аварії на ЧАЕС, підняттям шару гідрогеносульфуру до глибини близько 100 м, який збільшується внаслідок скидання в море неочищених господарсько-побутових стічних вод з високим вмістом органічних речовин, збільшенням концентрації забрудників у зв'язку зі

зменшенням річкового стоку. Екологічні нормативи якості вод, а також джерела забруднення водних ресурсів України наведені в ***табл. 3.16, 3.17.***

Таблиця 3.16. **Нормативи якості поверхневих проточних вод (з екологічних позицій)**

Показник	Клас якості					
	I	II	III	IV	V	VI
Температура, ° С	<20	20—25	25	26—30	>30	>30
Величина pH	6,5—8,0	6,5—8,0	6,5—8,0	6,0—8,5	6,0—9,0	6,0—9,0
Розчинений кисень, мг/л	>8	8—6	5	4	3—2	<2
Насиченість киснем, %	>90	90—75	74—60	59—40	39—20	<20
Загальна кількість розчинених речовин, мг/л	<300	300—500	501—800	801—1000	1001—1200	>1200
Загальна кількість зависей, мг/л	<20	20—30	31—50	51—100	101—200	>200
Загальна твердість, мг-екв/л	<15	15—20	21—30	31—40	41—50	>50
Хлориди, мг/л	<50	50—150	151—200	201—300	301—500	>500
Сульфати, мг/л	<50	50—150	151—200	201—300	301—400	>400
Ферум (загальна кількість), мг/л	<0,5	0,5—1,0	1,0	2,0—5,0	5,1—10	>10
Манган (загальна кількість), мг/л	<0,05	0,05—0,10	0,11— 0,30	0,31—0,8	0,81—1,50	>1,50
Амоній, мг/л	<0,1	0,1—0,2	0,3—0,5	0,6—2,0	2,1—5,0	>5,0
Нітрити, мг/л	<0,002	0,002—0,005	0,006—0,02	0,03—0,05	0,06—0,10	>0,10
Нітрати, мг/л	<1	1—3	4—5	6—10	11—20	>20
Фосфати, мг/л	<0,025	0,025—0,20	0,21—0,50	0,6—1,0	1,1—2,0	>2,0
Загальний фосфор, мг/л	<0,05	0,05—0,4	0,5—1,0	1,1—2,0	2,1—3,0	>3,0
ХСК (перманганатна окиснюваність), мг O_2/л	<5	5—10	11—20	21—30	31—40	>40
ХСК (дихроматна окиснюваність), мг O_2/л	<15	15—25	26—50	51—70	71—100	>100
$БСК_5$, мг O_2/л	<2	2—4	5—8	9—15	16—25	>25
Органічний карбон, мг/л	<3	3—5	6—8	9—12	13—20	>20

У Чорному морі спостерігається руйнування та зменшення продуктивності шельфів внаслідок штучного переміщення осадового матеріалу під час видобутку корисних копалин та поглиблення акваторій портів. Зокрема, добування близько 6 млн т будівельних матеріалів поблизу Ялти призвело до розмивання берегів і скорочення площі пляжів на 30—40%; демпінг (захоронення) матеріалів, вилучених при очищенні та поглибленні дна порту, спричиняє загибель водяних мешканців; тралення руйнує місця нерестилищ та донні біоценози. Нашестя американського реброплава знищило кормові запаси промислових риб Чорного моря.

Таблиця 3.17. **Джерела забруднення водних ресурсів України**

Галузь господарства	Скид стічних вод, млн м³/рік					
	без очистки	недостатньо очищених	нормативно чистих без очистки	нормативно чистих після очистки	всього	%
Промисловість	345	1112	9704	1247	12 408	63,4
Сільське господарство	45	3	3188	9	3245	16,6
Комунальне господарство	111	1250	114	2341	3816	19,5
Інші галузі	2	32	32	29	95	0,5
Всього в Україні	503	2397	13 038	3806	19 564	100,0

Останнім часом зменшення використання добрив і пестицидів у сільському господарстві Криму та південних областей України дещо поліпшило екологічну ситуацію в морях, про що свідчить збільшення біологічної продуктивності.

У Чорному і Азовському морях відкрито нові родовища нафти, природного газу, газогідрату (з 1 м³ газогідрату виділяють до 200 м³ газу), поклади залізних, титанових і цирконієвих руд, залізо-манганових конкрецій, дрібні зерна алмазів, золото, срібло, самородні мідь та свинець, а в черепашках мідій виявлено невеликі перли. Із початком видобутку цих корисних копалин значно зросте ймовірність виникнення кризових екологічних ситуацій.

Ще однією проблемою України є забруднення підземних вод. У підземні води забрудники потрапляють зі звалищ побутових і промислових відходів, у разі протікання нафтопроводів, внаслідок втрат нафти і нафтопродуктів під час добування чи переробки, при будівництві метро, бурінні свердловин тощо. Усі ці забрудники (пестициди, нітрати, важкі метали, вуглеводні) можуть потрапляти з питними водами і в організм людини, спричиняючи отруєння чи захворювання.

Проблеми гідросфери планується розв'язати такими шляхами:

- економія води;
- розширення використання морської води для потреб народного господарства і побуту;
- очищення стічних вод;
- зменшення забруднення природних вод.

Економія води

Економії води можна досягти багатьма шляхами. Нижче наведені основні з них:

- встановленням лічильників витрачання води в кожній квартирі;
- створенням краплинного поливу в сільському господарстві;
- покриттям водонепроникними матеріалами дна та стінок водосховищ із метою уникнення підтоплення прилеглих територій, розмивання й замулення;
- використанням для поливу сільськогосподарських угідь морської води. Це здійснюється в більшості країн на узбережжі Середземномор'я, Аравійського півострова, в Індії, Австралії, США, на островах Тихого, Атлантичного й Індійського

океанів; середня солоність вод Світового океану до 36‰* і більше, Чорного моря — 14—16‰, Каспійського 2—13‰ і Балтійського 2—5‰. Зрошення доцільне на дренованих землях із кількістю опадів понад 200—300 мм на рік у холодний період, з урахуванням солестійкості рослин та фази їх вегетації. Так, ячмінь багаторядний, мангрові витримують вміст солей 30—40 г/л, цукровий і столовий буряки, цукрова тростина, часник і редиска — 10—13 г/л, картопля, горох, капуста — не вище 1 г/л;

- розширенням морського водопостачання. На узбережжі Світового океану за рахунок використання морської води вже в 1985 р. зекономилося 2/3 прісної води на господарсько-побутові потреби. Найчастіше морську воду вживають для систем охолодження АЕС, ТЕС, котельних, металургійних заводів, під час транспортування сировини, видобутку корисних копалин, у бальнеологічних цілях;
- опрісненням морської води. Для цього використовують методи термічної дистиляції, заморожування (для опріснення ними 1 м^3 води з концентрацією солей 3,5% потрібно витратити відповідно 230,4 та 28,44 МДж електроенергії), миттєвого закипання, мембранні (зворотний осмос, електродіаліз, мембранна дистиляція тощо); найширше використовують зворотний осмос (його рушійною силою є різниця робочого тиску по обидва боки мембрани) у країнах Близького і Середнього Сходу та Північній Америці;
- впровадженням "сухих" технологій. В Україні такі технології впроваджують у нафтопереробній галузі та в целюлозно-паперовій промисловості;
- переходом на оборотний та замкнутий цикл водопостачання, що дає змогу зменшити не лише витрату чистої води, а й забруднення природних поверхневих водойм;
- заміною водяного охолодження повітряним, що забезпечить скорочення використання води в різних галузях промисловості на 70—90% (повітряне охолодження використовують на металургійному заводі "Азовсталь", Горлівському ВО "Азот" та ін.);
- зменшенням забруднення стічних вод після вилучення з них цінних компонентів (Одеський торговий порт і нафтопереробний завод виділяють зі стічних вод близько 20 тис. т нафти).

Стічні води, їх класифікація та методи очищення

***Стічні води* — це комунальні та промислові стоки населених місць (побутові, виробничі, дощові з вулиць, промислових майданчиків, районів усіх типів забудов), використані людиною і відведені після користування.**

За походженням стічні води поділяють на *промислові, сільськогосподарські* та *побутові.*

Промислові стічні води дуже різноманітні за спектром забрудників. Стічні води металургійних комбінатів містять важкі метали, нафтопродукти, завись; целюлозно-паперових виробництв — збагачені целюлозними волокнами, солями алюмінію, хлором, танінами, сульфатами, сульфітами та іншими забрудниками.

Сільськогосподарські стічні води утворюються переважно на тваринницьких фермах під час приготування кормів, миття обладнання, прибирання приміщень. У них високий вміст органічних сполук, суспендованих часток, сполук нітрогену і фосфору; надходження їх у водойми надзвичайно небезпечне для водних екосистем внаслідок токсичності аміаку, можливості евтрофікації водойм.

---

* ‰ (проміле) — вміст розчинених солей у грамах в 1 кг морської води.

Побутові стічні води містять органічні речовини, сполуки нітрогену і фосфору, поверхнево-активні речовини. Ступінь забруднення стічних вод оцінюється в еквівалентах побутових стоків — ЕПС. Один ЕПС дорівнює кількості органічної речовини-забрудника, що виробляє одна людина за добу.

Кількість скидів забрудників у вигляді стічних вод наведено в ***табл. 3.18.***

Таблиця 3.18. **Річна кількість скидів забрудників у поверхневі води України у складі стічних вод (об'єм стічних вод 7223 млн м³)**

Речовина	Кількість, тис. т
Амонійний нітроген NH_4^+	30 907
Сухий залишок	11 697
Фосфор загальний	7665
Хлориди	4183
Сульфати	2045
Завісі	152
БСК повне	104
Нафтопродукти	4,28
Флуор	0,428
Роданіди	0,0891
Формальдегід	0,0452
Феноли	0,0304
Вуглеводні ароматичні	0,0084
Ціаніди	0,00287

Промислові стічні води частково очищають на цехових чи заводських очисних спорудах, а потім разом із побутовими направляють до міської станції водоочищення. До їх якості висувають певні вимоги, наведені в ***табл. 3.19.***

Ці виробничі стічні води не повинні бути агресивними стосовно матеріалів каналізаційної мережі, містити кислот, які утворювали б при змішуванні леткі (H_2S, CO, деякі вуглеводні) та токсичні сполуки, горючі речовини, а також отруйні для організмів, що використовуються в біохімічному очищенні стічних вод.

Згідно з використанням водойм встановлюють ГДК на забрудники (***табл. 3.20***).

При скиданні стічних вод у природні водойми оцінюють сумарний вплив забрудників на їх санітарний стан за формулою:

$$\frac{C_1}{\text{ГДК}_1} + \frac{C_2}{\text{ГДК}_2} + \ldots + \frac{C_i}{\text{ГДК}_i} \le 1,$$

де C_1, C_2, ..., C_i — концентрації забрудників у водоймі, мг/л; ГДК_1, ГДК_2, ..., ГДК_i — їх гранично допустимі концентрації, мг/л.

Таблиця 3.19. **Загальні вимоги до виробничих стічних вод, що надходять в міську каналізацію Києва**

Показник	Граничні норми (вимоги)
Сухий залишок, мг/л	1000
ХСК, мг O_2/л	800
БСК (повне), мг O_2/л	500
Завісі, мг/л	500
Сульфати, мг/л	400
Хлориди, мг/л	350
Жири рослинні й тваринні, мг/л	50
Сульфіди, мг/л	1,5
Водневий показник (pH)	6,5—9,0
Температура, °С	Не вище 40
Кислоти, горючі суміші, токсичні та розчинені газоподібні речовини, здатні утворювати в мережах і спорудах токсичні гази	Не допускаються
Нерозчинні мастила, смоли, мазут	Не допускаються
Будівельне, промислове, господарсько-побутове сміття, грунт, абразивні матеріали	Не допускаються
Радіоактивні речовини, епідеміологічно небезпечні бактеріальні та вірусні забрудники	Не допускаються
Речовини, для яких не встановлені ГДК для водойм	Не допускаються

Таблиця 3.20. **Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у воді водойм рибогосподарського призначення**

Речовина	ГДК, мг/л	Речовина	ГДК, мг/л
Аміак	0,05	Сірковуглець CS_2	1,0
Бензол	0,5	Смолисті речовини, що вимиваються з деревини хвойних порід	2,0
Кадмій	0,005		
Магній	40,0	Таніни	10,0
Купрум	0,001	Феноли	0,001
Нафта і нафтопродукти		Хлор вільний	0
в розчиненому стані	0,001	Хлороформ	0
в емульгованому стані	0,05		
Нікель	0,1	Цинк	0,05
Плюмбум	0,1	Ціаніди	0,05

Об'єм стічних вод, які очищають за добу, визначають за формулою:

$$Q_{доб} = NM,$$

де N — норма водовідведення на одиницю продукції або сировини, яку переробляють, з урахуванням водообігу, м³ (для синтетичних поверхнево-активних речовин, сульфітної целюлози, паперу N дорівнює відповідно 1,0; 218, 37 м³/т); M — кількість одиниць продукції або маса сировини, яку переробляють за добу.

❐ Приклад 1

Розрахувати орієнтовний об'єм стічних вод целюлозно-паперового виробництва, що випускає 500 т сульфітної целюлози за добу.

Розв'язок:

$$Q = NM = 218 \cdot 500 = 109\,000 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

❐ Приклад 2

У водоймі, що має рибогосподарське призначення, концентрація нафти і нафтопродуктів в емульгованому стані становить 0,1 мг/л, карбоносульфуру — 0,5 мг/л, фенолів — 0,005 мг/л. Оцінити санітарний стан водойми.

Розв'язок. За даними табл. 3.20 і формулою знаходимо:

$$\frac{C_н}{ГДК_н} + \frac{C_к}{ГДК_к} + \frac{C_ф}{ГДК_ф} = \frac{0,1}{0,05} + \frac{0,5}{1,0} + \frac{0,005}{0,001} = 2,0 + 0,5 + 5 = 7,5.$$

Стан водойми не відповідає санітарним вимогам, тому перед скиданням до неї стічних вод їх слід попередньо очистити від нафтопродуктів і фенолів.

Методи очищення стічних вод класифікують за процесом, що лежить в їх основі, як:

- *механічні* (фільтрування, ультрацентрифугування, відстоювання);
- *фізичні* (сорбція, виморожування, ультрафільтрація, зворотний осмос, обробка ультразвуком, УФ-опромінення);
- *фізико-хімічні* (хемосорбція, електроліз, електродіаліз, коагуляція, електрокоагуляція, електрофлотація, екстракція, флокуляція);
- *хімічні* (осадження у вигляді малорозчинних сполук, озонування і хлорування (окиснення), відновлення);
- *біологічні* (аеробне і анаеробне окиснення, використання ланцюга живих організмів від найпростіших до вищих тварин);
- *термічні* (дистиляція, спалювання);
- *радіаційні* методи використовують для очищення поверхневих та стічних вод, обробки осадів, що утворилися під час очищення стічних вод та надлишкового активного мулу; радіаційно-флотаційний метод застосовують для очищення вод від поверхнево-активних речовин; радіаційно-полімеризаційний — для видалення мономерів, які при опроміненні полімеризуються і осаджуються; радіаційно-коагуляційний — для очищення від барвників; деякі органічні сполуки

окиснюються до вуглекислого газу і води; води, що містять нафтопродукти, після опромінення ^{60}Co стають стерильними.

Видалення зі стічних вод завислей здійснюють ***відстоюванням*** у відстійниках різного типу — вертикальних, горизонтальних, радіальних; ***фільтруванням*** через різні фільтруючі матеріали, ***ультрафільтрацією, флотацією.***

Видалення колоїдних часточок проводять ***коагуляцією*** з використанням коагулянтів — солей алюмінію і феруму (III), гідроксохлоридів і гідроксосульфатів алюмінію; ***електрокоагуляцією*** із застосуванням розчинних анодів; ***флокуляцією.***

Очищення стічних вод від розчинених речовин проводять різними способами залежно від цінності, токсичності, концентрації, фізичних та хімічних властивостей забрудників, які перебувають у розчиненому стані у вигляді молекул чи йонів.

Органічні речовини можна знешкодити ***окисненням*** хлором чи озоном; ***екстрагувати***, якщо вони становлять значний інтерес, органічним розчинником; за високих концентрацій органічних сполук стічні води піддають термічній обробці — ***спалюванню*** з додаванням горючих речовин чи без них; за відсутності токсичних сполук проводять **біологічне очищення.**

Забрудник-електроліт, що дисоціює на йони, вилучають із води шляхом осадження малорозчинних сполук (важкі метали видаляють у вигляді гідроксидів, сульфідів, карбонатів, фосфатів тощо); використовують ***сорбцію, йонний обмін*** на катіонітах, аніонітах чи амфолітах (широко застосовують для пом'якшення вод); ***коагуляцію, дистиляцію, заморожування*** (останні два методи застосовують для опріснення морської води).

Дегазацію води, тобто видалення газоподібних сполук, проводять кількома способами: ***нагріванням, хімічними способами***, зокрема, для видалення токсичного гідрогеносульфуру використовують хлорування:

$$H_2S + Cl_2 = S\downarrow + 2HCl;$$

озонування (надлишок окисника):

$$3H_2S + 4O_3 = 3H_2SO_4;$$

окиснення розчином перманганату калію:

$$5H_2S + 2KMnO_4 + 3H_2SO_4 = 2MnSO_4 + 5S\downarrow + 8H_2O + K_2SO_4$$

та ***біологічними*** (сіркобактерії окиснюють сірку до елементної чи сульфатної).

Знешкодження води проводять ***фізичними методами*** (ультразвук, радіоактивне та ультрафіолетове випромінювання); ***хімічними*** (обробка сильними окисниками — хлором, озоном, перманганатом калію, пероксидом гідрогену тощо (озон має низку переваг над іншими окисниками: окиснює органічні домішки до CO_2 і H_2O; вуглеводні — до альдегідів і кетонів; неорганічні сполуки — до вищих ступенів окиснення хімічних елементів; дезодорує, знебарвлює, знезаражує та збагачує киснем стічну воду); ***термічними***; застосовують ***олігодинамію***, що базується на дії благородних металів (срібла, золота) — сильних окисників (нині з метою зниження вартості очищення стічні води обробляють Cu^{2+}); ще військо Александра Македонського вживало воду, що зберігалася в срібному посуді.

Інші способи. Видалення речовин із неприємним запахом (дезодорація) — меркаптанів, амінів, гідрогеносульфуру, аміаку та ін. — здійснюють аерацією, ректифікацією, дистиляцією, адсорбцією, екстракцією, обробкою димовими газами, віддуванням

водяною парою, мікробіологічним окисненням; анодне окиснення і катодне відновлення використовують для очищення стічних вод від ціанідів, роданідів, амінів, нітросполук, азобарвників, спиртів, сульфідів тощо.

Біохімічні методи очищення стічних вод

Ці методи використовують для очищення побутових і промислових стічних вод від розчинених органічних і деяких неорганічних сполук (гідрогеносульфуру, сульфідів, аміаку, нітратів тощо), які використовують мікроорганізми як джерело карбону та інших макроелементів для свого живлення.

Очищення проводять в аеробних чи анаеробних умовах, використовуючи ***активний мул***, який складається з твердого субстрату, що містить угруповання живих організмів — бактерії, плісняві гриби, дріжджі, актиноміцети, прості черви, іноді личинки комах, рачків, водорості тощо; ***біоплівку, анаеробні мікроорганізми***, зокрема гранульований мул; ***селекціоновані мікроорганізми*** — деструктори окремих забрудників; ***гідробіоценози***, що складають біоконвеєр.

Очищення в штучних умовах проводять в аеротенках і біофільтрах (в аеробних умовах); анаеробне окиснення використовують для зброджування осадів після біохімічного очищення стічних вод та очищення стічних вод із високою концентрацією органічних речовин. Продуктом життєдіяльності анаеробних бактерій є переважно метан.

Штучний метод біологічного очищення (фільтрування крізь завантаження, вкрите біоплівкою) використано у 1893 р. у Великій Британії; в цій же країні через два роки введено в дію споруду для анаеробного очищення побутових стічних вод.

Біологічне очищення проводять і в природних умовах на ***полях зрошення*** (вперше в Росії вони з'явилися в Одесі у 1894 р.) та в ***біологічних ставках***.

З появою великої кількості органічних речовин, яких досі не існувало в природі — ксенобіотиків (грец. ксенос — чужий, біос — життя; дослівно — чужий живому), поля зрошення і біологічні ставки стали неспроможні їх знешкодити. Український біолог Н.Путиліна запропонувала для кожного виду забруднення добирати мікроорганізм-деструктор. Відтоді виявлено організми, що розкладають нафтопродукти і нафту, поліетилен, окремі пестициди, діоксини.

Людина багато чому вчиться у природи. Вивчаючи природні процеси самоочищення водойм, запропоновано використовувати під час очищення стічних вод просторову сукцесію мікроорганізмів або трофічний ланцюг гідробіонтів.

Ці методи біологічного очищення, розроблені в Інституті колоїдної хімії та хімії води ім. акад. В. Думанського, мають низку переваг перед традиційними, оскільки дають змогу очищати стічні води з різною концентрацією і набором забрудників.

Рослини також є активними учасниками очищення вод — вони знешкоджують органічні речовини, поглинають важкі метали, використовують нітрати і фосфати для збільшення біомаси (***табл. 3.21***).

Таблиця 3.21. **Накопичення деяких біогенних елементів вищими водяними рослинами**

Вид рослини	Вміст хімічного елемента, % на суху речовину:						
	N	P	K	Ca	Mn	Na	Cl
1	2	3	4	5	6	7	8
Очерет звичайний	2,17	0,35	1,70	0,38	0,10	0,14	1,36
Рогіз вузьколистий	2,52	0,41	1,19	1,07	0,15	0,51	1,20

1	2	3	4	5	6	7	8
Комиш озерний	2,34	0,39	2,34	0,89	0,12	0,40	1,56
Сусак зонтичний	2,66	0,40	4,36	1,36	0,21	0,43	1,17
Частуха подорожникова	2,09	0,55	2,89	1,20	0,16	0,36	1,87
Рдест пронизанолистий	2,02	0,58	2,01	0,95	0,33	0,33	1,55

Поглинання і накопичення біогенних хімічних елементів залежить від їх концентрації, стадії вегетації (максимальне весною і наприкінці літа), виду та біомаси вищих водяних рослин.

Тому вищі водяні рослини можна застосовувати у водоохоронних зонах, на біологічних плато, в плаваючих біофільтрах, при очищенні забрудненого поверхневого стоку з полів, стічних вод тваринницьких комплексів, шахтних вод від біофільних елементів.

Водяний гіацинт, який у Південній Америці згодовують худобі, застосовують як джерело біогазу та сировину для отримання паперу, може поглинати з води найрізноманітніші забрудники. Вчені Російського хіміко-технологічного університету довели, що гіацинт очищає воду від сульфідів, фосфатів, нафтопродуктів, синтетичних мийних засобів, мастил, патогенних мікроорганізмів. Відстойники, 50% поверхні яких засаджено цією рослиною, знищили запас гною тваринницьких ферм упродовж тижня, за 20 днів гіацинт очистив воду від ракетного палива — несиметричного диметилгідразину та його аналогів — до ГДК (0,02 мг/м^3).

Отже, природа шукає і знаходить способи руйнування ксенобіотиків, створених розумом і руками людини.

Самоочищення води в річках вивчав О.Францев і дійшов висновку, що воно забезпечується чергуванням ***плесів*** із багатим біоценозом рослин, тварин і мікроорганізмів, які виконують фільтрувальну, окиснювальну і демінералізуючу функції, а вода залишає тут завісі, бактерії і солі; ***глибинних ям***, в яких розкладаються органічні рештки і утворюються метан, гідрогеносульфур, аміак, азот за рахунок анаеробного окиснення; ***кам'янистих перекатів***, де вода перемішується і збагачується киснем; ***піщаних пляжів***, що фільтрують воду.

К.Зайдель створив біоплато на каналі, куди подавалися забруднені води ріки Рейн. Проходячи крізь піщаний фільтр і зарості очерету завдовжки 800 м, вода очищалася від важких металів, фенолів, патогенної мікрофлори (кишкової палички і сальмонел), личинок аскарид. Восени зелену масу скошували.

3.3. Проблеми відходів людської діяльності

Відходи виробництва — **це залишки сировини, матеріалів і напівфабрикатів, що утворюються в процесі виробництва, частково або повністю втратили свою властивість і не відповідають стандартам виробництва.**

Виробник відходів — фізична або юридична особа, чия діяльність зумовлює утворення відходів.

Причиною утворення відходів є переважно господарська діяльність людини, внаслідок якої порушені складні взаємозв'язки між компонентами біосфери, що здійснюються в рамках колообігу хімічних елементів та обміну енергією, і формувалися впродовж тривалого часу.

◆ Цікаві цифри

Виходячи з наведених нижче цифр, зрозуміло, чому В.Вернадський назвав людську діяльність геологічною силою.

Нині людина

- *використовує 13% річкових вод, повертаючи їх у довкілля у вигляді стічних вод;*
- *вирубує щороку 20 млн га лісів;*
- *видобуває з надр і піднімає на поверхню близько 100 млрд т мінеральних руд;*
- *виплавляє понад 800 млн т різних металів;*
- *спалює 7 млрд т у.п.;*
- *вносить на поля понад 500 млн т добрив і 4 млн т пестицидів, значна частина яких розсіюється у довкіллі і через високу стійкість накопичується по ланцюгах живлення.*

Найбільшими постачальниками відходів є гірничодобувний і гірничозбагачувальний комплекси, металургійна, хімічна та енергетична галузі промисловості.

У результаті спалювання кам'яного вугілля із золою та димовими газами у довкілля потрапляє окремих хімічних елементів більше, ніж видобувається з надр:

- магнію — у 1,5 раза;
- урану і титану — у 10 разів;
- меркурію — у 50 разів;
- літію, ванадію, стронцію, цирконію — у сотні разів;
- германію і галію — у тисячі разів.

Щороку кородує 10—25% виплавленого заліза.

Дані про відходи різних галузей народного господарства України наведені в ***табл. 3.22.***

Таблиця 3.22. **Утворення і використання відходів окремих видів виробництва в Україні за 1987—1992 рр.**

Показник, одиниці вимірювання	Роки					
	1987	1988	1989	1990	1991	1992
1	2	3	4	5	6	7
Породи розкривні і супутні для будівництва гідроспоруд та інших робіт						
Утворилося, млн м³	66,3	70,4	66,5	60,0	60,2	42,6
Використано, млн м³	19,2	22,3	18,0	14,9	23,9	22,6
Частка використання, %	28,9	31,7	27,1	24,8	39,7	53,0
Глини бентонітові для одержання керамзиту						
Утворилося, тис. т	1783,1	1618,4	1738,2	1793,1	1707,2	1618,1
Використано, тис. т	1386,3	1470,2	1622,3	1508,0	1394,6	1420,3
Частка використання, %	77,7	90,8	93,3	84,1	81,7	87,8
Відходи вугледобування і вуглезбагачення						
Утворилося, млн т	135,2	181,1	124,6	123,1	103,6	135,1
Використано, млн т	10,1	13,3	13,1	10,6	9,1	9,6
Частка використання, %	7,4	7,1	10,5	8,6	8,8	6,7
Шлаки сталеплавильного виробництва						
Утворилося, тис. т	8408,7	8701,7	7827,7	7594,8	6930,1	7184,8

1	2	3	4	5	6	7
Використано, тис. т	5661,8	7215,8	7624,5	5515,4	6422,4	4486,3
Частка використання, %	67,3	82,9	97,4	72,6	92,7	64,4
Зола і золошлакові відходи						
Утворилося, тис. т	15 202,7	13 505,6	13 341,6	12 219,9	12 219,6	13 896,2
Використано, тис. т	4636,4	4974,9	4507,9	3400,5	2835,2	2879,2
Частка використання, %	30,5	36,8	33,8	27,8	22,5	20,7

Під час добування та переробки металевих руд із них вилучають переважно один компонент, вміст якого коливається в широких межах (у залізній руді концентрація феруму досягає 60%, тоді як уранові руди мають промислове значення за вмістом урану лише 0,1%), а решта добутої руди — відходи, що скидаються у відвали. Зокрема, на 1 т металу припадає така кількість відходів, т:

заліза — 1
міді — 200
молібдену і вольфраму — до 2000.

За даними Міністерства охорони природного середовища, відвали в Україні займають площу близько 55 тис. га, в яких зосереджено понад 20 млрд т промислових відходів. Багато з них містять цінні компоненти (у відходах гальванічних, радіотехнічних, електроннотехнічних виробництв вміст окремих металів вищий, ніж у сировині; крім того, покладів їх в Україні немає), тому ці метали доцільно вилучати і повторно використовувати (у відходах Черкаського заводу "Хімреактив" міститься 18—65% нікелю, в шлаках Черкаського ВО "Хімволокно" — 4% цинку).

Гірничорудна промисловість України використовує лише 12% добутої гірської маси, тоді як у розвинених країнах — приблизно 66%.

У Кривбасі накопичилося понад 4 млрд $м^3$ відходів гірничої промисловості, з яких отруйні речовини потрапляють навіть у Чорне море.

Загальне скидання забруднених вод (мінералізація шахтних вод — 20 кг/т, кар'єрних — 0,7 кг/т) досягає 60 млн $м^3$/рік; вилучено з обігу 70 тис. га родючих земель, підтоплено і засолено 100 $км^2$ прилеглих до місць розробок корисних копалин територій. Кожна тонна видобутої гірської маси супроводжується тут

- відчуженням 0,04 $м^2$ земель;
- підтопленням 0,03—0,05 $м^2$ території;
- скиданням 1,05 $м^3$ шахтних і 0,106 $м^3$ кар'єрних високомінералізованих вод;
- надходженням в атмосферу 2,0 кг пилу і 1,8 кг отруйних газів.

Значний внесок у збільшення кількості відходів дає місто.

Спектр відходів різний за кількістю, агрегатним станом, хімічним складом, токсичністю, впливом на біосферу, рослинний і тваринний світ, здоров'я людини.

Накопичення відходів небезпечне для людства, оскільки у відходах зростає частка матеріалів, які дуже повільно руйнуються в довкіллі:

- скло зберігається — до 1000 років;
- пластмаса — 500 років;
- поліетилен — 200 років;

- консервні металеві бляшанки — до 100 років;
- папір — 2—10 років.

Класифікація відходів

Єдиної класифікації відходів немає, тому їх розподіляють за кількома принципами:

- за галузями, де вони утворюються (побутові, сільськогосподарські, промислові, каналізаційні);
- за конкретними виробництвами (відходи ТЕС, трикотажної фабрики, коксохімічного заводу тощо);
- за агрегатним станом (газоподібні, рідкі, тверді);
- за тоннажністю (велико- чи малотоннажні);
- за ступенем використання;
- за цінністю компонентів;
- за впливом на довкілля.

Найчастіше відходи класифікують на основі джерела утворення та з урахуванням їх особливостей: побутові; промислові; сільськогосподарські; будівельні; відходи споживання — вироби і машини, які втратили свої споживчі властивості внаслідок фізичного чи морального спрацювання; радіоактивні; токсичні.

Токсичність відходів

Токсичність — це міра несумісності речовин із життям; вона обернено пропорційна смертельній (летальній) дозі ($1/ЛД_{50}$) чи смертельній концентрації ($1/ЛС_{50}$).

Нині існує багато класифікацій небезпечності і токсичності відходів та інших екотоксикантів:

- за показниками небезпечності (чотири класи);
- за небезпекою при різних шляхах потрапляння в організм (вісім класів);
- за силою подразнювальної дії (десять класів);
- за ступенем кумуляції (п'ять класів);
- за видом дії (чотири класи) тощо.

З метою оцінки небезпечності відходів використовують класи небезпечності:

І клас — вибухові речовини (тринітротолуол, піроксилін);

ІІ клас — вогненебезпечні гази і пари;

ІІІ клас — вогненебезпечні рідини (бензин, бензол, діетиловий ефір);

ІV клас — вогненебезпечні тверді речовини, що мають здатність до самозаймання (вугільний пил, тирса); сюди ж належать речовини, які виділяють під час взаємодії з водою вогненебезпечні гази (карбіди — метаніди та ацетиленіди металів утворюють горючі вуглеводні — відповідно метан та ацетилен:

$$Al_4C_3 + 12HOH = 4Al(OH)_3\downarrow + 3CH_4\uparrow;$$

$$CaC_2 + 2HOH = Ca(OH)_2 + C_2H_2\uparrow;$$

V клас — речовини, які виділяють кисень і можуть спричинити спалах чи сприяти займанню інших матеріалів, наприклад нітрат, хлорат та перманганат калію:

$$2KNO_3 \xrightarrow{t^\circ} 2KNO_2 + O_2\uparrow;$$

$$2KMnO_4 \xrightarrow{t^\circ} K_2MnO_4 + MnO_2 + O_2\uparrow;$$

органічні пероксиди;

VI клас — отруйні та інфікуючі речовини (сполуки арсену, меркурію);

VII клас — речовини або відходи, які в разі витікання спричиняють корозію інших вантажів чи транспортних засобів (неорганічні та органічні кислоти; солі сильних кислот і слабких основ, які у водних розчинах гідролізують, зокрема хлориди алюмінію і феруму (III));

VIII клас — речовини, здатні при контакті з повітрям чи водою виділяти токсичні речовини і викликати гострі чи хронічні захворювання у разі потрапляння в організм людини:

$$NaCN + HOH \rightleftarrows NaOH + HCN\uparrow;$$

$$Al_2S_3 + 6HOH \rightleftarrows 2Al(OH)_3\downarrow + 3H_2S\uparrow.$$

Екотоксичні речовини, які у природному середовищі здатні до біоакумуляції і негативно впливають на живі організми (важкі метали, пестициди) класифікують згідно з ГОСТ 12.1.007—76.

Короткі характеристики різних типів відходів

Побутові відходи

Побутові відходи — це все те, що викидається із житлових будинків і установ — харчові відходи, спрацьована техніка, старі газети і журнали, консервні бляшанки, старий мотлох тощо.

Кількість відходів та їх склад залежить від багатьох чинників і може бути досить різною навіть на сусідніх вулицях міста. Структура відходів визначається рівнем розвитку країни, специфікою і розміщенням промислових та господарських об'єктів тощо. Приблизний склад міських твердих відходів, %:

- папір — 41
- харчові відходи — 21
- скло — 12
- залізо та його сплави — 10
- пластмаса — 5
- деревина — 5
- гума та шкіра — 3
- текстиль — 2
- алюміній — 1
- інші матеріали — 0,3.

Щороку на кожного жителя припадає така кількість побутових відходів, кг: США — понад 720, Австралії і Фінляндії — понад 620, Канади — 380, Японії — 340—440, Франції — 300—360, Великої Британії — 240—300, Голландії — 165—190.

Майже до 1960-х років більшу частину побутових відходів вивозили за межі міста і спалювали на відкритих майданчиках; згодом звалища сміття влаштовували в природних кар'єрах, заболочених низинах, які потім засипали землею і асфальтували, влаштовуючи рекреаційні зони (території для відпочинку людей). Однак при цьому не лише втрачаються цінні компоненти твердих побутових відходів (ТПВ) — метали, скло, папір, а й забруднюються повітря, ґрунти, поверхневі і підземні води, створюються епідеміологічно небезпечні зони. Пізніше почали вводити в експлуатацію сміттєспалювальні заводи, які забруднювали повітря через відсутність очищення димових газів.

Сортування відходів (скло, метали, папір, пластмаси) дає змогу отримати після переплавлення корисні продукти і збільшити теплотворну здатність побутових відходів.

Перша фабрика для спалювання сміття була збудована в 1870 р. у Лондоні, де з'явилася й електростанція, яка працювала на енергії, що виділяється внаслідок спалювання сміття.

У 1997 р. у німецькому місті Вюрті побудований сміттєспалювальний завод, в якому відбувається практично безвідходний і екологічно чистий процес: нагрівання до 400° С і подальше спалювання при 1300° С, за якого 90% відходів згоряє, а 10% (твердий залишок) містить кольорові (немагнітні) метали, переважно алюміній, магнітні матеріали (залізо), камені, скло, кераміку, гранульований шлак. Лише 0,3% початкової кількості побутових відходів захоронюють на сміттєвих полігонах. Димові гази зазнають багатоступінчастого очищення і вміст шкідливих речовин у них значно нижчий від європейських норм. Теплота переробляється на електроенергію.

Ще в 1990 р. в Японії спалювали 74% ТПВ, у Данії — 54%. У 1997 р. в Німеччині працювало 57 сміттєспалювальних заводів, у Великій Британії — 23.

Останніми десятиліттями частка ТПВ, які спалюють з утилізацією матеріалів і теплоти, неухильно зростає.

Теплоту від спалювання ТПВ можна використовувати для одержання:

- гарячої води чи водяної пари (утилізаційні котельні);
- електроенергії за рахунок роботи водяної пари (утилізаційні електричні станції);
- теплоти та електроенергії (утилізаційні теплоелектроцентралі).

У разі використання ТПВ як палива беруть до уваги два основні принципи: їх теплотворну здатність та вплив на стан природного середовища продуктів згоряння. Враховують і доступність для масового використання та необхідну активність, яка забезпечує горіння ТПВ.

Теплота згоряння ТПВ (для порівняння) та окремих видів палива така, МДж/кг: тверді побутові відходи — 4—10; горючі сланці Санкт-Петербурга — 4,6—6,0; буре вугілля тресту "Олександріявугілля" — 5—6,5; торф — 8—9.

Питому теплоємність ТПВ визначають за формулою:

$$C_{\text{п ТПВ}} = 21{,}9W + 2000 \text{ (Дж/кг} \cdot \text{град)},$$

де W — вологість ТПВ, %.

Питома теплоємність основних компонентів ТПВ така, Дж/кг·град:

- вода — 4190
- дерево, картон, папір — 2000—2500
- скло, камінь — 800—1000
- алюміній, залізо — 860.

Відходами сміттєспалювальних заводів є тверді відходи (золи та шлаки), рідкі (стічні води), газоподібні (димові гази, серед яких найнебезпечнішим складником, що утворюється в значних кількостях, є оксид сульфуру (IV)). Нижче наведено вміст SO_2 у газоподібних викидах при спалюванні ТПВ та палива, %:

- буре вугілля Підмосков'я — 8,0
- донецьке вугілля — до 4,0
- горючі сланці — 1,6—3,8
- топкові мазути — 0,3—3,5
- тверді побутові відходи США — 0,1—0,15
- тверді побутові відходи країн Європи — 0,1—0,3.

Отже, ТПВ, як за теплотворною здатністю, так і за впливом на довкілля можуть бути використані як джерело енергії.

Внаслідок спалювання полімерних матеріалів, що містять хлор, у димових газах з'являються токсичні речовини — діоксини й фурани, тому гази обов'язково очищають від шкідливих домішок, пилу, золи.

Захоронюючи сміття на полігонах, слід враховувати компресійні властивості відходів — зменшення їх об'єму при ущільненні (під тиском 0,1 МПа об'єм відходів зменшується в 3—4 рази).

Полігони ТПВ становлять значну небезпеку для довкілля, оскільки

- у разі їх розмивання атмосферними опадами в ґрунт, ґрунтові води й повітря потрапляють забрудники, що містились у відходах (важкі метали, пестициди, мийні засоби тощо) чи утворилися під час їх зберігання;
- в них можуть міститися збудники гепатиту, туберкульозу, шкірних захворювань тощо;
- під час гниття виділяються сморідні і токсичні гази: меркаптани, гідрогенсульфур, оксиди карбону, сульфуру, нітрогену;
- на них розмножуються гризуни, ними живляться інші тварини, які є збудниками чи носіями небезпечних захворювань;
- забруднення може потрапляти в рослини, а потім із ними — в організм людини.

Вчені Лос-Аламоської національної лабораторії США запропонували знешкоджувати побутові стічні води, опромінюючи їх скануючим електронним променем. При цьому руйнуються бензол, фенол, трихлоретилен та інші органічні сполуки, які важко окиснюються хімічними методами.

У Німеччині один раз на квартал дозволяють влаштовувати біля будинку звалище громіздких речей за 8 год до приїзду машини, що збирає сміття. Непотрібний одяг і взуття збирають благодійні організації.

Експорт відходів — найдешевший спосіб позбавлення від них: якщо переробка хімічних відходів у Європі коштує 160—200, то експорт в Африку — всього 2,5—40 доларів за тонну.

Сільськогосподарські відходи

Відходи сільського господарства — це відходи рослинництва і тваринництва, насамперед солома, стебла кукурудзи, соняшнику, гній із ферм.

Раніше в господарстві селянина цінувався кожен жмуток соломи: її використовували як підстилку для худоби; покрівельний матеріал для будівель; як паливо, особливо при випіканні хліба, щоб вийшов він пишним, рум'яним і запашним; із соломи плели брилі, дитячі іграшки. Нині солому часто просто спалюють на полях, тоді як вона, здобрена різними домішками, — корм для худоби; сировина для одержання паперу та цукру, сорбент нафтопродуктів та катіонів важких металів зі стічних вод.

Рідкими відходами тваринницьких ферм є стічні води, що утворюються після прибирання приміщень, твердими — гній та підстилка. Один комбінат на 1000 тварин дає 260 т гною на добу.

❖ Цікаві факти

Кукурудза після облущування зерна (стебла й качани) залишається цінною сировиною. Переробляючи стебла кукурудзи одержують папір, будівельний та звукоізоляційний картон, із пульпи відливають волоконні плити, виділяють ксилозу, переробляють на паливний газ. Качани кукурудзи — неоціненний скарб для хімічної промисловості, сировина для добування фурфуролу, цукру, розчинників, полімерних матеріалів, щавлевої кислоти, а ще — компонент бетону, наповнювач клейової фанери, домішка в цеглу й кераміку тощо.

◆ Цікаві цифри

Хімічний склад гною та вміст калію, нітрогену, фосфору залежить від виду тварин: найбільше нітрогену — в екскрементах молочних корів і свиней, фосфору — свиней, калію — овець, свиней, корів. Від курки-несучки масою приблизно 2 кг щодоби одержують 0,11 кг посліду, а від 1 млн курей впродовж року — 5,8 млн т.

Оскільки сухий залишок містить 37% протеїнів, 34% вуглеводів, 9,5% кальцію, 5,9% нітрогену, то зрозуміло, що одним з ефективних методів переробки та використання гною є вирощування на ньому личинок мух для згодовування рибі та худобі.

Перегній у чистому вигляді та в складі компосту використовують в альтернативному землеробстві як цінне органічне добриво.

Промислові відходи

Промислові відходи виникли одночасно з промисловістю і з часом їх кількість зростають, а асортимент розширюється. Найгірше, що відходи стають дедалі небезпечнішими, оскільки окремі їх компоненти не включаються в загальний біосферний колообіг, накопичуються і негативно впливають як на абіотичні, так і на біотичні компоненти біосфери.

За агрегатним станом відходи поділяють на тверді, рідкі та газоподібні.

Тверді відходи. Найістотнішими джерелами твердих відходів є гірничо-збагачувальні комплекси, вугільна, металургійна, хімічна промисловість, ТЕС. Пусті породи, металургійні шлаки, золи тощо займають величезні території, з яких під дією вітру чи атмосферних опадів потрапляють у ґрунт, поверхневі й ґрунтові води, забруднюючи значні території і роблячи їх малопридатними для землеробства. Наприклад, терикони шахт постійно димлять, виділяючи в атмосферу токсичні гази.

Рідкі відходи — це здебільшого стічні води промислових підприємств. Вони містять широкий спектр забрудників. Стічні води металургійних підприємств містять у великих концентраціях важкі метали, нафтопродукти; керамічні заводи — глинисті часточки, барвники, метали; заводи з обробки шкір — хром, таніни, сульфіди, барвники. Рідкі відходи утворюються і в атомній енергетиці.

Газоподібні відходи — викиди підприємств, які через димові труби надходять в атмосферу. Основними забрудниками повітря є оксиди нітрогену, сульфуру, карбону, вуглеводні, озон. Значний внесок у забруднення повітря роблять металургійна промисловість, енергетика (ТЕС викидають в атмосферу до 29% загальної кількості всіх шкідливих відходів промисловості), транспорт.

Каналізаційні відходи — це шлам, який утворюється в процесі очищення стічних побутових вод на станціях водоочищення. Він збагачений органічними речовинами, біогенними елементами: нітрогеном, фосфором, калієм, кальцієм тощо.

Численні мегаполіси світу оточені "чорними поясами" — муловими майданчиками з кеком чи осадом, який залишається після обробки каналізаційних стічних вод. У Санкт-Петербурзі лише з центральної станції аерації КАМази щодня вивозять (100 рейсів) осади стічних вод, а навколо міста під полігони для шламу зайнято 150 га колись родючої землі.

Проблема утилізації каналізаційних відходів існує у великих і малих містах, розвинених і аграрних країнах. Основними способами їх позбавитися є:

- затоплення в океані;
- складування за містом;
- спалювання (Франція, Канада, Іспанія); в 1997 р. став до ладу перший у Росії завод зі спалювання осаду стічних вод (Санкт-Петербург), що в 10—12 разів зменшило витрати на транспорт; за рахунок значної теплотворності осаду спалювання проводять без додавання палива з утилізацією теплоти для технічних потреб станції; золу використовують як домішку при виготовленні будівельних

матеріалів і дорожного покриття; димові гази очищають від золи, важких металів та кислотних оксидів;

- використання як добрива, незважаючи на високий вміст важких металів; широкому застосуванню перешкоджають неестетичний вигляд, неприємний запах, небезпечність споживання овочів на удобреному в такий спосіб ґрунті через наявність у шламі яєць гельмінтів (глистів).

Радіоактивні відходи

Джерелами радіоактивних відходів можуть бути АЕС, заводи, на яких одержують ядерне паливо, радіохімічні заводи, де виділяють радіоактивне паливо з ТВЕЛів (тепловидільних елементів), лабораторії, що використовують радіонукліди під час різноманітних досліджень.

Усього в світі експлуатується близько 430 ядерних реакторів у 25% країн світу. Найбільшу частку електроенергії виробляють АЕС у Франції (75%), Україні (50%), Німеччині (31%), Японії (23%).

У кожному 1000-мегаватному реакторі міститься стільки радіоактивного матеріалу, скільки могло б утворитися після вибуху 1000 бомб, еквівалентних за потужністю хіросімській.

Перший ядерний реактор, який дав уран для "Маляти" і плутоній для "Товстуна", скинутих на Японію в 1945 р., почав діяти у Хенфорді (США) в 1944 р. Перші захоронення радіоактивних відходів здійснені в 1946 р. у США в північно-східній частині Тихого океану на відстані близько 80 км від узбережжя Каліфорнії. Тривалий час захоронення радіоактивних відходів здійснювалося у Карському морі дещо східніше від Нової Землі.

Металеві контейнери, які використовуються військово-морським флотом для затоплення радіоактивних відходів, руйнуються у морській воді через 10 років (швидкість корозії залежить від матеріалу контейнера, підводних течій, наявності металів-прискорювачів корозії), бетоновані — через 30 років.

У звичайних реакторах ядерним паливом є ^{235}U, у бридерах (реакторах на швидких нейтронах) значно поширеніший у земній корі ^{238}U перетворюється на плутоній. Ефективність останніх у 70 разів вища, але пропорційно зростає і кількість відходів; плутоній у 1000 разів небезпечніший від урану; в бридері замість води теплоносієм є рідкий натрій — пожежо- і вибухонебезпечна речовина.

Для знешкодження рідких відходів АЕС, які належать до мало- та середньоактивних, використовують методи:

- термічні (дистиляція та випаровування);
- сорбційні з використанням катіонітів та аніонітів;
- мембранні (електродіаліз, ультрафільтрація, зворотний осмос).

Концентрат, що має високу активність, переводять у твердий стан і захоронюють.

Контейнери з твердими радіоактивними відходами (або ті, що переведені у твердий стан способом сплаву зі склом, асфальтом, змішуванням з бетоном тощо) захоронюють:

- у шахтних виробітках;
- на дні океану;
- у соляних відпрацьованих шахтах,

враховуючи умови зберігання. Поблизу не має бути населених пунктів чи родовищ корисних копалин, матеріал контейнерів має витримувати високі тиск, температуру, дію агресивного середовища (морська вода, сіль у шахті); зона захоронення не може перебувати у сейсмічно активних районах.

Відходи деревообробки і целюлозно-паперових виробництв

З усього світового споживання деревини (2,3—2,5 млрд м³) 50% іде на потреби промисловості, 48,6% використовують як паливо. Україна належить до лісодефіцитних країн (її залісненість становить 14,2%), проте втрати при заготівлі деревини досягають 40%. Крім того, порівняно з розвиненими країнами, особливо із законодавцем у целюлозно-паперовій промисловості — Фінляндією, вихід целюлози, паперу, картону в кілька разів менший на одиницю сировини. Так, із 1000 м³ деревини, яка надходить до паперової фабрики, одержують паперу, т:

- у країнах колишнього СРСР — 27,3
- у Швеції — 129
- у США — 137
- у Фінляндії — 164.

З метою економії деревини і зменшення обсягів відходів у світі існує тенденція збільшення частки макулатури у виробництві паперу, яка становить (%): в Угорщині — 61, Японії — 51, Нідерландах — 45, Фінляндії і Швейцарії — по 38, Швеції — 34, США — 29, Росії — 27, Канаді — 18. Одержання паперу з макулатури (замість деревини) зменшує витрати енергії на 60%, забруднення повітря — на 15%, води — на 60%.

Гумові відходи на 90% складаються зі спрацьованих шин транспорту, які біологічно практично не руйнуються. У світі виробляють 10 млн т натуральних і синтетичних каучуків, з яких 9 млн т іде на виготовлення шин (лише 1 млн т спрацьованих шин щороку утилізується); частину реставрують, решту перетворюють на кришиво і використовують як сорбент важких металів зі стічних вод, паливо (його теплотворна здатність приблизно дорівнює теплотворній здатності вугілля — 27—29 МДж/кг), для виготовлення гумової фанери, ізоляційних матеріалів, у шляховому будівництві; піролізом отримують продукти для одержання синтетичного каучуку.

Скляні відходи. Виготовлення скла зі склобою обходиться у 6 разів дешевше, ніж із кварцевого піску. З битого скла одержують тепло- і звукоізоляційні матеріали, мелене скло іде на виробництво наждачного паперу. Склобій із додаванням глини — матеріал для керамічних плит. У Швеції 75% пляшок і банок виготовляють з утилізованого скла, зелені пляшки — повністю із битого скла.

◆ Цікаві цифри

На 1 м³ стовбурної деревини сосни маса крони становить 156 кг, хвої — 60 кг, гілок, які не використовуються (діаметром 6—80 мм і більше), — 96 кг, частка кори в об'ємі стовбура становить 10—12%, а в модрині досягає 18—25%.

Ці відходи деревообробки можуть широко використовуватися для одержання багатьох цінних продуктів. Хвоя містить у 6 разів більше аскорбінової кислоти, ніж апельсини й лимони, і у 25 разів — ніж цибуля і картопля, а ще має інші вітаміни, каротин, гормональні речовини, фітонциди, мікроелементи. Канадські лісохіміки Дж. Кіз та Г.Бартон вважають, що кожна тонна хвої, згодована худобі, зберігає 1 т зерна, збільшуючи тим самим світові запаси продовольства.

Із хвої отримують хвойно-вітамінне борошно, екстракт — засіб захисту рослин від кореневої гнилі і головні, тому ним протравлюють насіння; із хвої вилучають антибіотики, вітаміни, ефірні олії, хвойний віск, виготовляють хлорофіло-каротинову пасту.

Кору частково спалюють для одержання добрив, подрібнену використовують для мульчування ґрунту, виготовлення компосту, в суміші з аміачною селітрою, фосфатом та хлоридом кальцію — як гумусове добриво; кору застосовують також як паливо (в суміші з в'яжучими матеріалами), з неї вилучають дубильні речовини.

Зберігання і переробка відходів

Зберігання відходів може бути різним залежно від кількості відходів, наявності площ для зберігання, концентрації цінних компонентів та токсичних речовин, можливості повторного використання.

Найменш небезпечні відходи зберігають у звалищах чи шламосховищах за умови забезпечення контролю за станом прилеглих територій; токсичні відходи залежно від

хімічної природи токсикантів попередньо знешкоджують; радіоактивні переводять у стан, в якому вони завдають найменшої шкоди довкіллю, і захоронюють.

Відповідно до класу небезпечності відходів, які утворюються в технологічному процесі (впродовж зміни, доби), їх розміщують у різній тарі: металевих контейнерах (I клас небезпеки), поліетиленових мішках (II клас небезпеки), паперових мішках (III клас небезпеки), відходи IV класу зберігають на майданчику у вигляді конусоподібних куп. Кожне підприємство повинно розробити інструкцію зі збирання, зберігання та транспортування відходів, інструкцію з техніки безпеки, протипожежної профілактики та виробничої санітарії для персоналу, який має контакт з відходами.

Для підприємства має бути розрахована гранична кількість відходів, яку можна розміщувати на території промислового майданчика в закритому чи відкритому вигляді за умови, що вони виділятимуть у повітря шкідливі речовини в концентраціях, які не перевищують 30% ГДК у повітрі робочої зони, та за відсутності забруднення ґрунтів і водних об'єктів, що є вищим від установлених санітарних норм. При зберіганні відходів враховують клас їх небезпеки і використовують відповідну тару.

Контроль за станом навколишнього середовища в місцях тимчасового зберігання відходів здійснюють лабораторії підприємства, санітарно-епідеміологічні служби.

Іммобілізація небезпечних відходів заснована на закріпленні, фіксації або хімічному зв'язуванні екологічно небезпечних речовин, які містяться у відходах. Цього досягають хімічним перетворенням небезпечних речовин у нешкідливі або нерозчинні, міцні форми. З цією метою проводять

- компактування небезпечних відходів — зв'язування їх у стійкі в довкіллі моноліти та гранули з бітумами, полімерними матеріалами, склом, цементом;
- депонування (включення) в процесі виробництва будівельних матеріалів (цегли, кераміки, бетону), дорожного покриття тощо.

В Інституті фармакології та токсикології АМН України розроблено технологію знешкодження особливо небезпечних відходів, що містять отрути, пестициди, ліки, в яких закінчився термін зберігання з використанням суміші, компоненти якої є дезактиваторами, дегазаторами та індикаторами токсичних речовин (БМСС). Це рідина, яка на повітрі переходить у газо-аерозольний стан, за наявності вологи утворює гель, взаємодіє з токсикантами, зменшуючи їх небезпечність і біологічну дію стосовно комплексоутворення, окиснення — відновлення, каталітичних реакцій.

Небезпечні пестициди, зокрема ДДТ, піридин, вінілфосфат можна знищувати хіміко-біологічним методом (у суміші з компостом і ґрунтом утворюють штабель, який ізолюють від ґрунту вологонепроникною плівкою, і зберігають впродовж 3-4 років); термічним методом, методом омонолічування.

Обробка відходів — **здійснення будь-яких технологічних операцій, пов'язаних зі зміною фізичних, хімічних чи біологічних властивостей відходів із метою підготовки їх до екологічно безпечного зберігання, перевезення, утилізації чи видалення.**

Знешкодження відходів — **усунення або зменшення небезпечності відходів механічними, фізичними, хімічними чи біологічними методами обробки.**

Термічний метод знешкодження використовують для значної групи відходів, які насамперед містять високі концентрації органічних речовин. Під впливом температур може відбуватися окиснення, термічне розкладання, газифікація компонентів з утворенням менш шкідливих чи нешкідливих сполук.

Різновидами термічного знешкодження відходів є:

- *вогненний метод* — універсальний і ефективний метод, у якому за температури понад 1000° С утворюються продукти повного окиснення елементів у вигляді

газоподібних оксидів карбону, нітрогену, сульфуру та твердих залишків — зол і шлаків (переважно у вигляді оксидів металів); при цьому значно зменшується кількість твердих відходів, є можливість використання теплоти, що виділяється при згорянні відходів;

- *метод рідкофазного окиснення* використовують для окиснення рідких відходів за температури 150—350° С і тиску 2—28 МПа;
- *газифікація* — проводять для тих відходів, що перебувають у різному агрегатному стані з утворенням горючого газу, який можна застосовувати як паливо, смоли (як паливо чи хімічну сировину) та шлаку;
- *високотемпературний піроліз* при 1640° С дає змогу отримати гази, смоли і негорючі компоненти, які утворюють шлак;
- *плазмовий метод* базується на тому, що за температури понад 4000° С молекули розщеплюються до атомів, йонів, радикалів, які в реакційних камерах перетворюються на газ та нетоксичний порошкоподібний матеріал;
- *метод склування* використовують для сплавляння зі склом небезпечних, переважно радіоактивних відходів, за температур понад 1600° С. Крім скла для інактивації радіонуклідів можна використовувати асфальт, з яким змішують рідкі чи тверді радіоактивні відходи. Охолоджену масу герметично закупорюють у металеві контейнери, які опускають в глибину морів і океанів, шахти, закриті виробки корисних копалин тощо.

***Поховання відходів* — остаточне розміщення відходів у спеціально відведених місцях чи об'єктах таким чином, щоб їх шкідливий вплив на довкілля та здоров'я людей не перевищував установлених норм.**

Під час вибору методів утилізації, знешкодження та поховання враховують місце переробки відходів (у цьому самому цеху, на станціях загальнозаводського характеру, на спеціалізованих заводах чи полігонах), агрегатний стан, кількість, хімічний склад, токсичність, пожежо- та вибухонебезпечність відходів, вміст цінних компонентів.

Першочерговій утилізації, знешкодженню та похованню підлягають

- шлами гальванічного виробництва, що містять важкі метали, ціаніди, нітрати;
- відходи органічного синтезу та нафтопереробки;
- пестициди та лікарські препарати, термін зберігання яких перевищив нормативний;
- шлами станцій очищення стічних вод;
- забруднені ґрунти полігонів, де захоронені токсичні та радіоактивні відходи.

За хімічним складом відходів їх доцільно розподілити на групи:

- горючі відходи, що їх знешкоджують чи утилізують термічними методами;
- негорючі або горючі відходи, які утилізуються іммобілізаційними методами;
- високотоксичні відходи та пестициди, які знешкоджують фізико-хімічними методами;
- відходи, що містять цінні компоненти, які попередньо вилучають.

Шляхи зменшення кількості відходів. Існує багато способів, які дають змогу скоротити обсяги промислових, сільськогосподарських та побутових відходів. Одні дають змогу повніше вилучати цінний компонент, інші — раціональніше його використовувати або утилізувати утворені відходи (безпосередньо чи після відповідної обробки; у цьому ж виробництві чи на іншому).

Інтегральними економічними характеристиками способу переробки відходів є:

- коефіцієнти зміни їх фізичного стану і хімічного складу;
- продуктивність та економічність технології;
- відчуження території;

- повернення ресурсів;
- ефективність.

Нижче описано основні шляхи зменшення обсягів відходів та шкоди, якої вони завдають довкіллю.

Повторне використання відходів. Відходами може бути сировина, яку не повністю витратили в технологічному процесі, або цільовий продукт, який поглинається фільтрами. Їх можна повторно використати у цьому ж виробництві. Наприклад, цементний пил іде на виготовлення залізобетонних плит.

У разі використання відходів як вторинної сировини розглядають кілька аспектів: вміст цільового компонента, кількість і можливість постійного надходження, вартість перевезень, наявність отруйних сполук, необхідність додаткових операцій.

Доменні шлаки — це шлакові відходи мартенівських та електротермічних печей, шлаки кольорової металургії, що складаються переважно з силікатів та алюмосилікатів. На виробництво 1 т чавуну припадає 450 т шлаків, 1 т сталі — до 150 кг. Гектар шлаків отруює не менш як 5 га сусідніх земель, у повітрі над відвалами розноситься вапняковий пил, із тріщин виділяються оксиди карбону і сульфуру, пара сірки, гідрогенсульфур. У товщі шлаків упродовж 3—4 років утримується температура до 1000° С. У доменних шлаках міститься до 1% заліза, в сталеплавильних — досягає 15%.

❖ Цікаві факти

Шлаки використовують давно (ще у XVI ст. в Європі зі шлаків відливали гарматні ядра). Зі шлакових каменів закладають фундамент, мостять дороги, подрібнений шлак додають у цемент, цеглу, отримують пемзу та мінеральну вату; фосфористі мартенівські шлаки містять 10—18% P_2O_5, тому їх вносять у грунт як добриво.

Комплексна переробка сировини. Комплексна переробка — це максимальне використання не лише цільового компонента, а й решти складників сировини з метою зменшення відходів та економії. Наприклад, під час добування міді з руди вилучають ще понад 20 компонентів: цинк, свинець, золото, срібло, молібден, рідкоземельні елементи.

У разі комплексної переробки поліметалічних руд доцільно замість пірометалургії використовувати гідрометалургію — вилучення металів водними розчинами реагентів, наприклад комплексонами. Нині комплексну переробку дедалі ширше застосовують при добуванні заліза, будматеріалів, залізо-манганових конкрецій тощо.

Біометалургія базується на здатності окремих видів живих організмів вилучати і концентрувати в своєму тілі певний хімічний елемент. Учені вважають, що родовища залізних руд у Криворізькому басейні утворилися саме завдяки діяльності залізобактерій. Оскільки водяні організми — асцидії можуть накопичувати ванадій (до 60% сухої маси тіла), з метою добування цього металу створюють ферми, де живуть і розмножуються асцидії. З їхнього попелу і вилучають ванадій. Останні роки в Англії, Японії, Китаї вчені працюють над створенням підводних водоростевих ферм та аквакультур, здатних акумулювати цінні метали.

Підземна геотехнологія. Сучасні технології дають змогу вилучати з руд лише 1—5% цільового компонента, решта добутого йде у відходи. Крім того, знижується концентрація металів у рудах, ускладнюється їх видобуток. Завдяки діяльності бактерій, які вилучають з руд залізо, уран, мідь, свинець, кадмій, срібло, платину тощо, можна розробляти бідні руди і на великих глибинах.

Для вилучення міді з покладів халькопіриту $CuFeS_2$ можна використати

- *арбітер-процес* — метод прямого вилужнювання насиченим киснем розчином аміаку при низьких температурах і тиску, екстракція органічним розчинником, реекстракція кислим електролітом і електрохімічне виділення;

◆ Цікаві цифри

Якщо порівняти біосферу і техносферу за низкою показників, можна помітити величезну різницю між ними не тільки стосовно обсягів активної речовини, річної нетто-продукції, витрат енергії, запасу генетичної інформації тощо, а й щодо загальної організації процесів життєзабезпечення, управління, відтворення (Акимова Т., Хаскін В., 2001):

Показники	*Біосфера*	*Техносфера*
Сфероутворювальне число біологічних видів	10^7	*1*
Число контрольованих видів	10^7	10^4
Активна речовина, Гт	$4 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^4$
*Річна нетто-продукція, Гт**	*625*	*1,5*
Ступінь замкненості колообігу речовин, %	*99,9*	*<10*
*Запас генетичної інформації, Гбіт***	10^6	*7*
Швидкість переробки інформації, біт/с	10^{36}	10^{16}
Інформаційна швидкість еволюції, біт/с	*0,1*	10^7
*Річна витрата енергії, ЕДж****	*12 000*	*450*
Річна нетто-продукція, Гт	*625*	*15*

Швидкість прогресу цивілізації у XX ст. була на 8 порядків більше швидкості біологічної еволюції у біосфері.

Жива природа планети незрівнянно досконаліша і розумніша за людську цивілізацію, вона більш гармонійна, ефективна, економічна і набагато краще збалансована.

** Гт — гігатонна = 10^9 т.*

*** 1 Гбіт = 10^9 біт.*

**** ЕДж — Ексаджоуль = 10^{18} Дж.*

- *саймет-процес* — обробка сульфідів розчином $FeCl_3$ з утворенням CuCl і виділенням міді на катоді; $FeCl_3$ регенерується; з відпрацьованої суспензії виділяють чисту сірку.

Наземна геотехнологія вважає своїм завданням раціоналізацію поверхневого стоку, поповнення запасів ґрунтових вод, насадження лісосмуг, створення підземної урбанізації — підземних гаражів, заводів, складів.

З метою зменшення кількості відходів доцільно створювати територіально-промислові комплекси, де відходи одного виробництва є сировиною для іншого.

Маловідходні технології **— це такий спосіб виробництва продукції на підприємствах, територіально-виробничих комплексах, за якого негативний вплив на довкілля не перевищує рівня, допустимого санітарно-гігієнічними нормами; при цьому частина сировини і матеріалів переходить у відходи, які направляють на тривале зберігання чи захоронення.**

До цього часу практикують ***захоронення відходів у глибоководних зонах океану*** та ***експорт*** в інші країни.

На завершення розділу слід зазначити, що ***безвідходні технології*** неможливі, вони суперечать закону термодинаміки: неможливо перетворити всю енергію на роботу без витрат. Однак резервом розвитку й екологізації виробництва з метою зменшення відходів можуть бути:

- розробка нових та вдосконалення існуючих маловідходних технологій;
- створення біо- та геотехнологій;
- перенесення окремих технологій у космос;
- мініатюризація;
- вписування технології у природне середовище;
- розробка нових матеріалів, які швидко руйнуються у довкіллі (існує два основні шляхи створення біодеградальних пластмас: синтез за допомогою мікроорганізмів — біополімери або біополісахариди; створення пластмас на основі природних речовин — природні полісахариди, суміш поліетилену і крохмалю та методами хімічного синтезу — синтетичні поліефіри).

Законодавчі і нормативні документи з питань поводження з відходами

1. *Постанова КМ України № 440 від 20.06.95 "Про затвердження порядку одержання дозволу на зберігання, транспортування, використання, захоронення, знешкодження та утилізацію отруйних речовин, у тому числі токсичних промислових відходів, продуктів біотехнології та інших біологічних агентів".*
2. *Постанова КМ України № 117 від 22.02.94 "Про ввезення в Україну і транзит через її територію відходів (вторинної сировини)".*
3. *СП № 3183-84 "Порядок накопления, транспортировки, обезвреживания и захоронения токсичных промышленных отходов".*
4. *СП № 3209-85 "Предельное количество накопления токсических промышленных отходов на территории предприятия (организации)".*
5. *СП № 2811-83 "Санитарные правила устройства и содержания полигонов для твердых бытовых отходов".*
6. *СП № 3897-85 "Предельное количество токсичных промышленных отходов, допускаемое для складирования в накопителях (на полигонах) твердых бытовых отходов (нормативный документ)".*
7. *СНиП 2.01.28-85 "Полигоны по обезвреживанию и захоронению токсичных промышленных отходов. Основные положения по проектированию".*
8. *СП № 3912-85 "Методические указания для органов и учреждений санитарно-эпидемиологической службы по контролю за реализацией мероприятий, направленных на санитарную охрану окружающей среды от загрязнений твердыми и жидкими токсичными отходами промышленных предприятий".*
9. *Базельська конвенція з контролю за міждержавними переміщеннями небезпечних відходів та їх видаленням (1989 рік).*
10. *Проект стандартной статистической классификации отходов ЕЭК. Женева. ООН. Экономический и Социальный Совет. 11.04.89 CES/638.*

Питання для самоконтролю

1. *Дайте визначення техносфері і вкажіть час її виникнення та динаміку її розвитку.*
2. *Класифікуйте забруднення навколишнього середовища за галузевим принципом у порядку його зменшення.*
3. *Що таке "демографічний вибух"?*
4. *Яке значення має транспортне забруднення повітря у містах?*
5. *Що таке "смог"?*
6. *Що таке "кислотні дощі", де вони формуються і де можуть випадати в Україні?*
7. *Назвіть причини евтрофікації водойм.*
8. *Чим є Світовий океан для людини і які його основні антропогенні забрудники?*
9. *Що таке "стічні води" і які методи їх очищення ви знаєте?*
10. *Назвіть основні типи відходів людської діяльності.*
11. *Що таке токсичність відходів?*
12. *У чому полягає специфіка радіоактивних відходів?*
13. *Які сучасні методи утилізації відходів людської діяльності ви знаєте?*
14. *Чи існують безвідходні технології?*

Розділ 4

АГРОСФЕРА

Агросфера — частина біосфери, трансформована людиною під впливом різних видів сільськогосподарської діяльності. Це — землі з переважанням культурних рослин і тварин, поселень сільського типу, землі, на яких упродовж тисячоліть сформувався новий природний масив. Це — агроландшафти, що потребують для свого існування й розвитку постійної значної енергетичної підтримки людиною; території з дуже збідненим біорозмаїттям, виснажені і захімізовані, але не так техногенно навантажені, як урбанізовані та промислові райони. Термін "агросфера" з'явився порівняно недавно — з 90-х років XX ст.; в Україні обгрунтовується і впроваджується, як і термін "агроекологія", з позицій екологічного імперативу відомим ученим, академіком О.Созиновим.

Вивчення агросфери з сучасних екологічних позицій має надзвичайно велике значення для України, в якій агросфера займає 70% територій держави і є одним із джерел економіки і добробуту нації. У багатьох країнах Азії, Південної Америки, Африки, що розвиваються, площа агросфери також велика і має дуже істотне значення для їх соціально-економічного розвитку, але продуктивність аграрного сектора цих країн, як і в Україні, значно нижча від продуктивності агросфери розвинених країн (Німеччини, Голландії, Швеції, Великої Британії, Канади та ін.). Це пов'язано насамперед із технологіями обробітку ґрунту, системами землекористування, екологічним рівнем землеробства і сільськогосподарського виробництва взагалі.

Розвиток агросфери розпочався ще 10 тисяч років тому, коли людина почала меліорувати землі, докорінно змінюючи їх. Саме меліорація стала активним стимулятором розвитку людських цивілізацій (осушення шумерами родючих заплав Тигру і Євфрату, єгиптянами — заплави Нілу та ін.), розвитку ремесел, пов'язаних із виготовленням сільськогосподарського знаряддя, таких наук, як землевпорядкування, астрономія (для визначення часу повеней, засух, сіяння й збирання врожаю).

Саме розвиток агросфери призвів до перших надзвичайно вагомих локальних і регіональних змін природного середовища. Вирубування, викорчовування та випалювання тисяч гектарів лісів, розорювання земель і заміна багаторав'я монокультурами (злакові, овочі), витоптування свійськими тваринами луків і пасовищ спричинили сильне збідніння ландшафтів; розвиток пустель, ярів призвів до зміни режиму й складу поверхневих і ґрунтових вод, значного погіршення екологічних умов. Із часом природні екосистеми дедалі більше витіснялися штучними — агроекосистемами, в яких панували рослини й тварини, потрібні людині, корисні тільки для неї. Таке заміщення біосфери агросферою супроводжувалося спрощенням трофічних ланцюгів, вимиранням значної кількості тварин і рослин, збідненням і деградацією ґрунтів — одного з найголовніших компонентів біосфери. Роль ґрунтів у біосферних процесах надзвичайно велика, вони виконують важливі екологічні функції. Найголовніша з них полягає у тому, що ґрунти є середовищем існування мікроорганізмів, грибів, рослин, інших живих істот. Незважаючи на те, що площа суші втричі менша за площу океану, біомаса суші, завдяки ґрунтам, у сотні разів більша від біомаси водних екосистем. Ґрунти є також основною ланкою у взаємодії геологічного й біологічного колообігів речовин у біосфері. Ще одна важлива екологічна

функція ґрунтів — це те, що саме в ґрунтах відбувається перетворення продуктів розпаду живої речовини на доступні для живлення рослин сполуки. Родючість ґрунтів визначає умови існування людини та її розвитку.

У зв'язку з вищезазначеним, коли стан ґрунтів у всьому світі значно погіршився, особливо після Другої світової війни, вчені — аграрії та екологи — почали займатися дослідженням екологічного значення ґрунтів і шукати шляхи їх відродження та екологізації сільськогосподарського виробництва. Особливого розмаху ці дослідження набули у 80-ті роки XX ст. і продовжують розвиватися нині.

4.1. Агроекосистеми

Агроценоз — створена людиною з метою одержання сільськогосподарської продукції і регулярно підтримувана біотична спільнота, що має малу екологічну стійкість, але високу врожайність (продуктивність) одного чи кількох видів (сортів, порід) рослин або тварин.

У давнину землеробство вважалося даром богів. Згідно з уявленнями шумерів, першу золоту мотику з лазуритовим наконечником створив Верховний бог Землі Енліль. Боги навчили людей обробляти землю, сіяти й зберігати урожай. Син Енліля бог Нінурта був агрономом і від його імені на кам'яних табличках записані агротехнічні прийоми шумерів.

Стародавня китайська мудрість говорить: *"Стан землі і перш за все орної — найкращий показник морального здоров'я суспільства"*. Вся історія землеробства — це спроба досягти компромісу між прагненням одержати високий урожай і збереженням родючості на майбутнє.

❖ **Цікаві факти**

- *1 кг азотних добрив еквівалентний* — *79 800 кДж*
- *1 кг гербіциду* — *263 000 кДж*
- *1 л дизельного палива* — *47 600 кДж*
- *зрошення 1 га посіву* — *44 222 800 кДж.*

Підвищення врожайності рослин і товарного тваринництва потребує дедалі більших витрат антропогенної енергії на одиницю продукції. Сучасні агроекосистеми збиткові, а сільське господарство є найбільшим споживачем енергії.

У світі відомо 1,5 тис. сільськогосподарських рослин, але масово вирощується лише 90 видів і з них 14 належать до злакових і бобових. А чим багатша на види екосистема, тим вона стійкіша. Стійкість агроценозів забезпечується лише надходженням ззовні енергії у вигляді добрив, поливної води, засобів боротьби з бур'янами, шкідниками, захворюваннями. З урожаєм з агроекосистеми виноситься величезна кількість поживних речовин і навіть родючого ґрунту (в Україні гостро стоїть проблема зниження втрат ґрунту разом із зібраними цукровими буряками).

Агроценози зернових і овочевих культур стійкі лише впродовж одного року, багаторічних трав і ягідних — 3—4 років; плодових культур — 30—40 років. Поява агроценозів — величезних площ окремої культури — спричинює надмірне зростання чисельності певних видів шкідників, бур'янів чи захворювань — колорадського жука, який із пасльону в Колорадо перебрався на картопляні поля, філоксери, що змушує знищувати з такою любов'ю вирощені виноградники. Постійна турбота, важка людська праця, витрати пального та різних засобів підвищення врожайності підтримують продуктивність агроценозів на вищому рівні, ніж природних екосистем.

Основним компонентом агроекосистем є ґрунт. Розглянемо найважливіші властивості ґрунтів.

4.2. Ґрунт

Ґрунт — це самостійне природне тіло, яке утворилося з поверхневих шарів гірських порід під сукупним впливом тварин, рослин, мікроорганізмів, клімату, води, рельєфу місцевості, часу, діяльності людини.

Товщина ґрунтового покриву становить від 15—20 см до 2—3 м. В.Вернадський називає ґрунт "біокосним" тілом і "благородною іржею", оскільки він є результатом дії живої і неживої природи; безліч видів живих істот частину або все своє життя проводять у ґрунті, розпушуючи його та удобрюючи. Це мікроорганізми, найпростіші, черви, вищі тварини, зокрема риючі. Ґрунт не лише живить, а й утримує рослини.

Найважливіша особливість ґрунту — родючість, тобто забезпечення рослин усім необхідним для їх росту і розвитку.

❖ **Цікаві факти**

У ґрунті знаходиться 1/4 всієї біомаси лісів, 3/4 степової рослинності, червів, комах та інших безхребетних — кілька десятків мільйонів на 1 м², найпростіших — понад 1 млн в 1 г ґрунту. Біомаса земляних червів у Європі перевищує біомасу людей, що її населяють.

Дощові черви

- *поліпшують структуру ґрунтів;*
- *підвищують її пухкість;*
- *сприяють насиченню киснем;*
- *збагачують органічними та мінеральними речовинами — продуктами власної життєдіяльності, поліпшуючи родючість ґрунту.*

Механічний і фазовий склад ґрунту

Тверда частина ґрунту складається з часточок різного розміру — уламків гірських порід, мінералів, решток рослин і тварин, нерозчинних органічних та неорганічних сполук. Умовно всі часточки розміром понад 0,01 мм називають **фізичним піском**, менші за 0,01 мм — **фізичною глиною**.

Гранулометричний склад ґрунту характеризує:

- родючість;
- водопроникність і вологоємність;
- повітро- і газопроникність.

За вмістом фізичного піску, %, ґрунти поділяють так:

• глина важка	≤ 10%
• глина легка	≤ 30%
• суглинок важкий	≤ 40%
• суглинок середній	~ 50%
• суглинок легкий	≥ 60%
• супісок	≥ 80%
• пісок	≥ 90%

У важких ґрунтах (>50% фізичної глини) висока вологоємність і в'язкість, низька водопроникність, вони родючі, але важкі в обробці; ***легкі ґрунти*** збагачені великими часточками, легко прогріваються і обробляються, швидко пропускають вологу, але малородючі через низьку концентрацію гумусу (органічної речовини ґрунту темного кольору, що утворюється при руйнуванні рослинних і тваринних решток організмів та продуктів їх життєдіяльності; складається переважно з гумінових і фульвінових кислот та їх солей).

Фазовий склад ґрунту:

- тверда частина;
- рідка частина (ґрунтовий розчин);

- газоподібна частина — ґрунтове повітря, збагачене, порівняно з атмосферним, вуглекислим газом, метаном, аміаком, гідрогенсульфуром і збіднене киснем; у верхніх 15—30 см ґрунту склад повітря такий: 78—86% N_2, 11—21% O_2, 0,3—8% CO_2;
- жива частина — сукупність ґрунтових мікроорганізмів і риючих тварин (в 1 га землі перебуває приблизно 10 т найрізноманітніших видів живої речовини).

Хімічні процеси в ґрунті

Усі процеси, що відбуваються в ґрунті, тісно взаємопов'язані. Оптимальною є щільність ґрунту 1 г/см^3; вже при $\rho = 1{,}4$ г/см^3 погіршуються умови для росту коріння, газо- і водообміну, існування риючих тварин. Важка техніка, що працює на полях, переущільнює ґрунти, змінюючи не лише їх структурно-механічні властивості, а й хімічні та біологічні процеси, що в них відбуваються.

Згідно з кліматичними зонами змінюється швидкість процесів ґрунтоутворення, товщина ґрунтового покриву, його родючість, типи ґрунтів (чорноземи, сірі лісові, каштанові, жовтоземи тощо).

За вмістом гумусу ґрунти поділяють на два типи: чорноземи — 7—10% гумусу та підзолисті ґрунти — до 2—3%. В.Докучаєв називав чорноземи "царем ґрунтів". У районах Лівобережного Лісостепу України, де він складав карти ґрунтів, вміст гумусу становив 10—11%, тоді як нині він удвічі менший.

Гумус містить воду та біогенні елементи, розкладаючись щороку на 20—50% залежно від умов, підвищує вбирну здатність та буферну ємність ґрунту, регулює pH, створюючи оптимальні умови для росту рослин.

Оксид карбону (IV) утворюється в ґрунті під час дихання живих організмів та розкладання органічних решток; частина його виділяється в атмосферу, інша поглинається коренями рослин та використовується в процесі фотосинтезу для створення біомаси; CO_2 збільшує розчинність солей і доступність їх для живлення рослин.

Корені рослин виділяють у ґрунт не лише CO_2, а й численні органічні сполуки, зокрема кислоти, що впливають на pH ґрунтового розчину. Крім того, корені утворюють комплекс із ґрунтовими мікроорганізмами — бактеріями, грибами, актиноміцетами, яких тут 150—300 млн на 1 г ґрунту, ризосферу.

У ґрунті містяться і хвороботворні мікроорганізми — збудники захворювань: сибірки, газової гангрени, правця, ботулізму; тимчасово живуть у ґрунті збудники кишкових захворювань (черевного тифу, холери, дизентерії), чуми, коклюшу, бруцельозу.

Збудники туберкульозу зберігають життєздатність у ґрунті впродовж 15 міс., дифтерійна паличка — до 2—3 тижнів. Спороутворювальні бактерії у вигляді цист можуть існувати дуже довго, витримуючи висушування, високий тиск і температуру, нестачу поживних речовин.

Ґрунт є посередником у поширенні гельмінтозів.

Хімічний склад і концентрація ґрунтового розчину зумовлює живлення і ріст рослин. При високому вмісті солей рослини втрачають тургор (вода виходить з капілярів коренів рослин у ґрунт); висока концентрація катіонів Ca^{2+} стримує надходження в рослину K^+; PO_4^{3-} і сприяє засвоєнню NH_4^+; зниження pH погіршує ріст коренів, зменшує поглинання поживних речовин, пригнічує синтез білків і цукрів; при високому pH утруднюється поглинання фосфат-іонів, збільшується засвоєння катіонів.

Підвищення температури від 10 до 25° С збільшує надходження поживних речовин; при охолодженні ґрунту нижче за 10° С уповільнюється поглинання рослинами в першу чергу сполук нітрогену і фосфору.

Таким чином, ***родючість ґрунтів*** визначається:

- щільністю;
- материнською породою;
- вмістом гумусу;
- концентрацією біогенних макро- і мікроелементів;
- тепловим режимом;
- хімічним складом ґрунтового повітря;
- багатством живої речовини;
- відсутністю забрудників, шкідників та збудників захворювань рослин.

Функції ґрунту:

- утримання рослин та забезпечення їх живлення;
- зв'язування і утримання багатьох хімічних елементів;
- мінералізація органічних решток;
- формування стоку та хімічного складу вод на суші;
- місце проживання численних видів тварин;
- участь у колообігу хімічних елементів;
- гуміфікація – перетворення опаду рослин, решток мертвих рослин і тварин детритофагами і редуцентами;
- руйнування біологічно активних шкідливих речовин;
- нейтралізація алелопатично активних інгібіторів, що полегшує сумісне існування рослин в екосистемах;
- утворення складних біогеоценозів з рослинами і тваринами.

Глобальні та екологічні функції ґрунтів і ґрунтового покриву Землі (за Б.Розановим):

- забезпечення функції життя (акумулюють елементи живлення, воду, створюють умови для вкорінення рослин, життя тварин);
- забезпечення взаємодії великого геологічного і малого біотичного колообігів речовин;
- регулювання хімічного складу атмосфери і природних вод;
- регулювання інтенсивності біосферних процесів;
- накопичення гумусу і зв'язаної з ним енергії;
- захист літосфери від інтенсивного руйнування гірських порід під дією екзогенних чинників;
- ґрунт – незамінний природний ресурс.

4.3. Розподіл ґрунтів у світі

Земельний фонд планети представлений в ***табл. 4.1.***

За даними ФАО, орні ґрунти становлять лише 10% території суші, сіножаті і пасовища – 20%, решта земель не використовується в сільському господарстві, оскільки

20% суші розташовано в зонах з холодним кліматом;

20% — у зоні з посушливим кліматом;

20% — розміщено на крутих схилах;

10% — представлено малопотужними ґрунтами.

Таблиця 4.1. **Земельний фонд планети**

Земельний фонд	Площа	
	млн км²	% загальної площі
Ліси і лісопосадки	40,3	27,0
Природні луки і пасовища	28,5	19,0
Сільськогосподарські угіддя	19,0	13,0
Сухі пустелі, скелі, прибережні піски	18,2	12,1
Льодовики	16,3	11,0
Тундри і лісотундри	7,0	4,7
Полярні та високогірні пустелі	5,0	3,3
Антропогенний бедленд*	4,5	3,0
Болота (поза тундрами)	4,0	2,7
Озера, річки, водосховища	3,2	2,2
Землі промислового і міського призначення	3,0	2,0

*Бедленд — "погані землі" (англ.) — рóзчленований рельєф, що робить землю непридатною для землеробства.

Сільськогосподарська освоєність суші на планеті досягає близько 30%. Найбільша забезпеченість за площею ріллі на душу населення в Канаді (1,8 га), найменша — в Японії (0,05 га).

4.4. Причини втрат ґрунтів

Розорювання. На Великих рівнинах США колись жили індіанці, які займалися полюванням. Наприкінці XVIII ст. "білі" почали розорювати степи, що давали багаті врожаї впродовж 100 років. Посуха наприкінці XIX ст. знищила всі посіви, 90% фермерів залишили ці землі і повторне їх освоєння почалося лише після Першої світової війни. Однак сильні вітри, що віяли два роки поспіль (1934—1935 рр.), знесли родючий шар ґрунту, перетворивши Великі рівнини на пустелю. Те саме сталося і після освоєння цілини в 50-х роках XX ст. у Казахстані.

Перевипасання спричинює знищення трав'яного покриву, подальшу ерозію, неможливість відновлення родючості внаслідок втрати детриту. В Ісландії вівці перетворили місцевість на кам'янисту пустелю.

Зниження лісистості сприяє вимиванню поживних речовин з ґрунту (зокрема, сполук нітрогену приблизно в 45 разів), втраті вологості, затопленню низинних місцевостей, посиленню водної та вітрової ерозії ґрунтів, спустелюванню.

Важко повірити, що в пустелі Гобі чотири тисячоліття тому вирощували хліб, а Лівійська пустеля була житницею могутнього Риму. Вирубування лісів і зумовлені нею ерозія та спустелювання призвели до загибелі стародавніх центрів землеробства у Сирії та Пакистані. Народне прислів'я говорить: "Хто рубає ліси, той сушить місця, гонить від полів хмари і готує собі горя купи".

Найнебезпечніше знищення лісів на рівнинних територіях у вологих тропіках, де понад 90% біогенних елементів рослини отримують з опалого листя, та в районах вічної мерзлоти (порушення температурного режиму, заболочування місцевості).

Зрошення в посушливих місцевостях часто зумовлює вимивання солей з глибин у верхні горизонти ґрунту і засолення внаслідок швидкого випаровування води. Засолення перетворює землі на пустелю (за вмісту в ґрунті 1% солей урожайність більшості сільськогосподарських культур знижується на третину, 2—3% — повністю зникає). Зрошення забрудненими водами Південно-Кримського каналу земель на півдні України спричинило їх забруднення важкими металами, пестицидами, нафтопродуктами, радіонуклідами. Нераціональний полив у Криму призвів до заболочення значних територій. Нині у світі засолено близько 30% зрошуваних земель.

Ерозія ґрунтів — **це процес руйнування ґрунтового покриву і знесення його часточок потоками води (водна ерозія) або вітром (вітрова ерозія), яка посилюється внаслідок господарської діяльності людини.** Пилові бурі переносять повітряними потоками мільйони тонн родючого ґрунту на сотні і навіть тисячі кілометрів.

Площа еродованих земель внаслідок неправильного ведення землеробства і будівельних робіт у світі досягла 700 млрд га.

Основними причинами ерозії є руйнування гумусового шару внаслідок

- розорювання цілинних земель;
- вирубування лісів;
- перевипасання і витоптування трав'янистого покриву; особливо небезпечне знищення рослинного покриву і посилення ерозійних процесів у гористих місцевостях, на територіях, де є схили, яри, — дощі й талі води зносять великі маси ґрунту;
- кар'єрний спосіб видобутку корисних копалин;
- будівництво споруд, транспортних магістралей, комунікацій тощо.

Підкислення ґрунтів — **це зниження їх pH, спричинене забрудненням хімічними сполуками, що мають кислотний характер.** Кислі ґрунти більш характерні для низинних місцевостей із холодним кліматом і частим затопленням. Основні причини підкислення ґрунтів, що є несприятливим для більшості видів сільськогосподарських культур, такі:

- винесення з глибоких шарів сульфідів під час видобутку корисних копалин відкритим способом та окиснення їх на поверхні до сульфатів і сульфатної кислоти;
- випадання кислот (H_2SO_3, H_2SO_4, HNO_3 та ін.) з атмосферними опадами;
- вимивання речовин, що мають кислотний характер, із звалищ відходів, шламонакопичувачів.

Заболочування і втрата земель для потреб землеробства також зумовлені господарською діяльністю людини:

- нераціональний полив угідь;
- інфільтрація вод із великих водосховищ у прилеглі землі;
- затоплення великих територій при будівництві ГЕС;
- заповнення водою відпрацьованих кар'єрів і перетворення їх на каскад озер чи боліт.

Осушування боліт. Болота — це унікальні екосистеми з неповторним розмаїттям видів рослин і тварин. Вони мають неоціненне екологічне значення:

- формують стік річок і клімат навколишніх територій;
- регулюють вологість, температуру, радіоактивний фон;
- поглинають і утримують забруднювальні речовини (органічні сполуки, зокрема пестициди; важкі метали, радіонукліди);
- є джерелом кисню (в усьому світі болота дають практично стільки ж кисню, як і ліси — $1{,}6 \cdot 10^8$ т);

- на болотах ростуть численні лікарські та ягідні рослини (бобівник трилистий, валеріана лікарська, череда, журавлина, чорниця);
- живуть водоплавні птахи, бобри, видри та інші численні види, багато з яких перебувають під охороною;
- запобігають замуленню річок, затримуючи продукти розпаду;
- є джерелом торфу, який має здатність поглинати воду, чим підтримує водний баланс, адсорбувати пил, хімічні та бактеріологічні забруднення, тобто діє як очисник, є цінною хімічною сировиною, меліорантом, паливом місцевого значення.

❖ **Цікаві факти**

Із торфу в результаті хімічної чи мікробіологічної обробки отримують:

- ➤ *кормові дріжджі та кормові домішки для згодовування худобі;*
- ➤ *торфовий віск, який застосовують у косметиці, синтезі гормональних препаратів; з неочищеного воску виготовляють туш для вій, емульсійний гуталін, антиадгезійні домішки для виробів з поліуретану;*
- ➤ *активоване вугілля;*
- ➤ *прес-порошки для наповнення пластмас;*
- ➤ *комплексне добриво пролонгованої (тривалої) дії після введення сполук нітрогену, фосфору, мікроелементів та висушування.*

Спустелювання — зниження біологічної продуктивності природних екосистем, яке поділяють на два типи: *аридне спустелювання* — деградація пустельних та напівпустельних територій, куди входить знеліснення, ерозія, засолення тощо. *Арктичне спустелювання* характерне для тундрових і лісотундрових екосистем навколо Північного Льодовитого океану, які надзвичайно довго відновлюються в разі їх порушення чи забруднення, що відбувається, зокрема, під час видобутку нафти (гусеничний всюдихід, проходячи в тундрі чи лісотундрі 10 км, знищує рослинність на площі 1 га), геологічної розвідки, переповнення пасовищ оленями.

Значна кількість земель виходить із сільськогосподарського вжитку внаслідок ***розростання міст (урбанізації),*** яке відбувається в усьому світі. Розподіл земель під міськими поселеннями в Україні наведений в ***табл. 4.2.***

Таблиця 4.2. **Розподіл земель, зайнятих міськими поселеннями в Україні**

Угіддя	Питома частка, %
1	2
Загальна площа	100,0
Включно з сільськогосподарськими угіддями	7,5
З них: ріллю	2,6
багаторічні насадження	0,4
сінокоси	0,6
пасовища	3,5
Присадибні землі	13,5
З них: сільськогосподарські угіддя	11,5
городи	2,7
Ліси	8,8
Чагарники	2,0

1	2
Болота	0,4
Під водою	3,5
Під дорогами	4,3
Під дорогами, вулицями, площами	38,3
Під суспільними будівлями	10,8
Порушені землі	0,6
Інші землі	8,0
З них: яри	1,5
оповзні	2,0

Забруднення ґрунтів. Найпоширенішими забрудниками ґрунтів, що впливають на фізичні й хімічні процеси в ґрунті, ріст і розвиток рослин, функціонування наземних і водних екосистем (зокрема, в разі змивання з поверхні у природні водойми сполук нітрогену чи фосфору відбувається евтрофікація), є мінеральні добрива, нафтопродукти, важкі метали, радіонукліди, пестициди. Деякі з них цілеспрямовано вносить людина для забезпечення родючості ґрунту чи з метою захисту рослин, але без урахування доз, кліматичних умов, типу ґрунту це може спричинити їх надмірне накопичення, пригнічення життєдіяльності рослин і ґрунтової фауни, передачу по ланцюгах живлення і несприятливий вплив на здоров'я людини. Розглянемо основні забрудники, шляхи їх надходження у ґрунт та дію.

У ґрунті відбуваються фізичні, хімічні та біологічні процеси, від інтенсивності й співвідношення яких залежить форма, в якій перебувають хімічні елементи, їх доступність для рослин, швидкість міграції, стійкість ґрунтів.

Розподіл хімічних елементів відбувається в результаті:

- вимивання (вилуження) з ґрунту;
- осадження у вигляді малорозчинних карбонатів, сульфідів, фосфатів, силікатів, гідроксидів тощо;
- включення до складу мінералів;
- адсорбції компонентами ґрунту (ґрунт має високу вбирну здатність завдяки наявності ґрунтового вбирного комплексу, який діє як йонообмінник і завдяки якому ґрунт називають геохімічним фільтром, що міцно утримує катіони важких металів, перешкоджаючи їх надходженню в підземні води).

Отже, **стійкість ґрунту** залежить від:

- pH ґрунту;
- вмісту гумусу;
- водоємності та водопроникності;
- гідрологічного режиму;
- типу ґрунту;
- хімічної природи забрудника;
- угруповань рослин, тварин і мікроорганізмів, які засвоюють, знешкоджують, концентрують чи розсіюють хімічні забрудники, що потрапили до ґрунту.

Техногенні речовини поділяють залежно від об'єкта, на який спрямована їхня дія, на:

- педохімічно активні речовини, здатні впливати на кислотно-основні чи окисно-відновні умови в ґрунтах (кислоти, луги, карбонати; катіони важких металів, що у ґрунтових розчинах гідролізують, змінюючи pH середовища, гідрогеносульфур, метан);
- біохімічно активні речовини, які безпосередньо діють на живі організми (пестициди, поверхнево-активні речовини, важкі метали, діоксини).

Зважаючи на це, можна виділити **три типи стійкості геосистем** (зокрема й ґрунту) — фундаментальні структурні одиниці географічного ландшафту, які об'єднують геоморфологічні, кліматичні, гідрологічні елементи та екосистеми на певній ділянці земної території:

- геохімічна стійкість, або здатність до самоочищення від забрудників;
- фізична стійкість, або стійкість літогенної основи (для ґрунтів — протиерозійна стійкість);
- біологічна стійкість, або відновні та захисні властивості рослинності.

4.5. Основні забрудники ґрунтів

Мінеральні добрива. Для компенсації втрат мінеральних речовин ґрунтом із зібраним урожаєм і підтримання родючості земель вносять добрива — азотні, фосфорні та калійні. При їх внесенні не завжди враховують хімічний склад ґрунту, агротехніку культури, терміни й норми внесення, що призводить до накопичення їх у ґрунті та рослинах, надходження у поверхневі води зі стоком. Азотні і фосфорні добрива сприяють азотфіксації, активують діяльність ґрунтових бактерій, актиноміцетів, грибів, які руйнують рештки рослин і тварин, формуючи гумус.

Накопиченню нітратів у рослинах сприяють:

- високі дози азотних і органічних добрив;
- затінення в разі загущення посівів;
- надмірна вологість і низька температура, посуха;
- пригнічення рослин засобами захисту;
- ослаблення рослин внаслідок ураження шкідниками та захворювань.

У закритому ґрунті нітрати накопичуються більшою мірою, тому в теплий період знімають поліетиленову плівку, вносять мікроелементи — бор, молібден, кобальт. Рекомендують вирощувати певні сорти овочів, що не накопичують нітрати, зокрема капусту "Амагер", "Подарунок", "Зимовка", помідор "Волгоградський 5195", моркву "Шантане 2161", цибулю "Стригунівська".

Крім того, добрива часто містять важкі метали та радіонукліди. 1 т суперфосфату містить 0,7—0,9 кг плюмбуму, 0,3 кг кадмію, невеликі кількості радіоактивних елементів — урану, радію, торію (***табл. 4.3***).

Таблиця 4.3. **Метали, які входять до складу засобів хімізації сільськогосподарського виробництва**

Засоби хімізації	Метали
Фосфорні добрива	Купрум, цинк, кадмій, хром, кобальт, плюмбум, нікель, ванадій, стронцій, уран-238, торій-232, радій-226, плюмбум-210, полоній
Хімічні меліоранти:	
фосфогіпс	Манган, стронцій, натрій, калій, барій, рідкоземельні елементи
томасшлак	Хром, ферум, плюмбум, кальцій;
Пестициди	Меркурій, купрум, ферум, алюміній, цинк, станум, плюмбум, арсен

Іноді для удобрення земель використовують промислові чи господарсько-побутові стічні води і шлами після реагентного очищення вод. Це може вносити в ґрунти окремі види забрудників, найчастіше — важкі метали (Pb, Zn, Cs, Ni, Co та ін.).

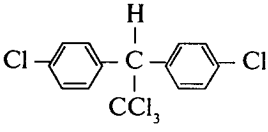
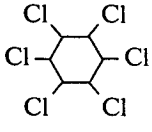
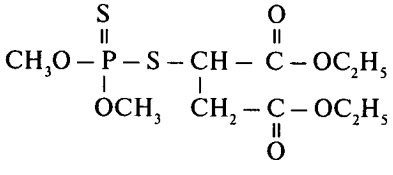
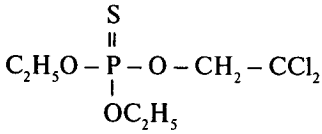
Пестициди. Це збірна назва засобів для боротьби з бур'янами, шкідниками, грибними захворюваннями сільськогосподарських культур тощо. Деякі речовини використовують для одночасного дозрівання врожаю (ретарданти, ауксини), скидання листя перед збиранням (дефоліанти), боротьби з масовим розмноженням водоростей (альгіциди). Найбільше вони потрібні під час вирощування рису, винограду, а також зернових і овочевих культур на поливних землях. Окремі пестициди стійкі в довкіллі, здатні до біоакумуляції, токсичні для людей і тварин (спричинюють отруєння, каліцтва, утворення злоякісних пухлин).

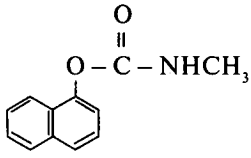
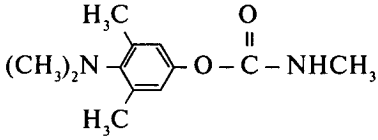
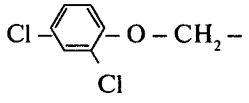
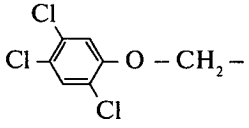
Пестициди, які використовують в Україні, поділяють на три групи:

- препарати рослинного, грибного та бактеріального походження;
- неорганічні препарати, до складу яких входять ферум, купрум та ін.;
- синтетичні органічні препарати, що містять хлор, сульфур, фосфор.

Пестициди останньої групи найнебезпечніші. Їх характеристика наведена в ***табл. 4.4.***

Таблиця 4.4. **Характеристики окремих органічних пестицидів**

Промислова назва	Хімічна назва і структурна формула	Призначення
1	2	3
	Хлорпохідні вуглеводнів	
ДДТ	 1,1,1-трихлор-2,2-біс(n-хлорфеніл)етан	Проти комарів, шкідників бавовни, соєвих бобів, арахісу, технічних культур, лісу
Ліндан	 1,2,3,4,5,6-гексахлорциклогексан	Для знищення шкідників посівів бавовни і рису, руйнівників деревини
	Фосфорорганічні сполуки	
Карбофос (мелатіон)	 о,о-диметил-S-1,2-дикарбетоксиетилдитіофосфат	Знищення окремих шкідників фруктових дерев, овочів і декоративних рослин, а також комарів
Дихлофос	 о,о-діетил-О-2,2-дихлоретилтіофосфат	Знищення домашніх комах

1	2	3
Севін	**Похідні карбаматів**  1-нафтил-N-метилкарбамат	Обробка бавовни, кормових культур, овочів і фруктів
Зектран	 4-диметиламіно-3,5-ксиленіл-N-метилкарбамат	Проти слизнів, равликів, личинок молі
2,4-Д	**Похідні хлорфеноксикислот**  2,4-дихлорфеноксиоцтова кислота	Знищення рослинності у водних системах; дефоліант
2,4,5-Т	 2,4,5-трихлорфеноксиоцтова кислота	Знищення окремих видів деревної рослинності і бур'янів. Дефоліант, який застосовується при веденні військових дій

У 1983 р. в Росії у сільському господарстві на людину припадало використання 25 кг хімічних добрив; кількість новонароджених із генетичними відхиленнями становила 16,5% від загальної кількості (при 30% генетичних порушень популяції загрожує загибель).

За хімічною природою пестициди поділяють на:

- хлор-, фосфор-, меркурій-, арсенорганічні сполуки;
- похідні сечовини;
- похідні карбамінової, тіо- і дитіокарбамінової кислот;
- похідні фенолу;
- сульфурвмісні та купрумвмісні.

Класифікація пестицидів ***за величиною*** $ЛД_{50}$ (при одноразовому надходженні у травний канал):

- сильнодіючі, $ЛД_{50} < 50$ мг/кг;
- високоотруйні, $ЛД_{50} = 50—200$ мг/кг;
- середньоотруйні, $ЛД_{50} = 200—1000$ мг/кг;
- малоотруйні, $ЛД_{50} > 1000$ мг/кг.

Накопичення пестицидів визначають за коефіцієнтом кумуляції K (відношення сумарної дози, що призводить до загибелі половини піддослідних тварин при багаторазовому введенні, до дози, яка спричиняє таку саму загибель при одноразовому введенні):

- надакумуляція, $K < 1$;
- виражена кумуляція, $K = 1—3$;

- помірна кумуляція, $K = 3—5$;
- слабко виражена кумуляція, $K > 5$.

За стійкістю в довкіллі пестициди поділяють на:

- дуже стійкі (не розкладаються впродовж 2 років);
- стійкі (0,5—1 рік);
- помірно стійкі (1—6 міс.);
- малостійкі (переходять у нетоксичні сполуки впродовж 1 міс.).

Незважаючи на пропаганду відмови від пестицидів, їх виробництво зростає. Експерти ВООЗ вважають, що, попри концентрування пестицидів упродовж 40 років використання хлорорганічних (ДДТ, гексахлоран) і 30 років фосфорорганічних (хлорофос, карбофос), кількість хворих на рак не збільшилася і вплив пестицидів менший, ніж стресів, смогу, вихлопів автотранспорту, спалювання сміття.

Пестициди поліпшують якість окремих видів продуктів, наприклад знищують на злакових культурах гриби, які зумовлюють фузаріоз зерна.

З іншого боку, факти протилежні. В Індонезії вважають, що впродовж 20 років пестициди завдали більше шкоди, ніж принесли користі, знищивши не шкідників сільськогосподарських рослин, а їхніх природних ворогів. О.Яблоков наводить факти, коли пестициди стимулюють поширення небезпечних вірусів. На Кубані, де вносять багато пестицидів, діти до 14 років хворіють на туберкульоз у півтора раза частіше, ніж раніше.

Важкі метали — це умовна назва металів, які мають щільність понад 6 г/см^3, відносну атомну масу понад 50 а.о.м., більшість з яких токсичні (цинк, кадмій, меркурій, хром, плюмбум, манган та ін.).

Джерела надходження важких металів у ґрунт: відкритий видобуток корисних копалин; викиди металургійних заводів, хімічних підприємств, сміттєспалювальних фабрик; ТЕС; звалища відходів; атмосферні опади; пожежі тощо.

Метали порівняно легко накопичуються в ґрунтах, але повільно і важко видаляються з них. Період напіввидалення металів:

- цинку — до 500 років;
- кадмію — до 1100 років;
- купруму — до 1500 років;
- плюмбуму — до кількох тисяч років.

❖ Цікаві факти

Сумновідомий пестицид, який знайдено в жирі китів, риб і дельфінів в Антарктиді, льодах Ґренландії, молоці матерів-годувальниць, вперше одержаний в 1874 р. австрійським хіміком О.Цайдлером; через 50 років швейцарський хімік П.Мюллер виявив його токсичну дію на комах; у 1942 р. перша партія ДДТ закуплена американськими військовими для боротьби з мухами, клопами й вошами; за дослідження ДДТ, завдяки якому знищений малярійний комар, відступила жовта лихоманка, сонна хвороба, ведеться боротьба із шкідниками лісу, в 1948 р. П.Мюллер здобув Нобелівську премію.

Згодом почалися нарікання: загинули бджоли, птахи, риби. ДДТ негативно впливає і на здоров'я людей. Він зберігається в довкіллі понад 50 років.

Середня масова частка металів у ґрунті, мг/кг:

- ферум — 55 000
- манган — 5000
- хром — 3000
- барій — 500
- цинк — 10—100
- купрум — 2—100
- нікель — 10—80
- ванадій — 20—25
- олово — 10
- телур — 10
- плюмбум — 10
- берилій — 6
- кобальт — 1—5
- кадмій — 0,06.

Поблизу гірничо-металургійних комбінатів у радіусі 5 км спостерігається висока забрудненість ґрунтів важкими металами, в радіусі 20—50 км — менша. Іноді виникають "технологічні пустелі", позбавлені гумусу й рослинності, значною мірою еродовані.

Навколо великих ТЕС забруднення відбувається в радіусі 10—20 км. Важкі метали вимиваються і з відвалів зол і шлаків ТЕС, що містять в значних кількостях навіть радіонукліди. Особливо ґрунт забруднений плюмбумом, що входить до складу палива, поблизу пожвавлених автомагістралей.

Хімічне забруднення ґрунтів металами оцінюють за ***сумарним показником забруднення*** Z_c, який визначають за формулою:

$$Z_c = \sum_{i=1}^{n} \frac{C_i}{C_{фі}} \cdot n,$$

де C_i та $C_{фі}$ — концентрація *i*-го забруднювального металу в пробі відповідно аналізованого та фонового (чистого) ґрунтів, мг/кг; *n* — кількість присутніх металів.

За значенням сумарного показника забруднення розроблена шкала (Ю.Сает і Б.Равич), що відображає небезпеку забруднення ґрунтів для здоров'я людини.

Згідно з цією шкалою, при мінімальному значенні Z_c (<8) небезпеки не виникає, ситуація відносно задовільна.

При середніх значеннях Z_c (16—32) ситуація помірно небезпечна. Збільшується захворюваність дітей. Сумарна захворюваність досягає 15%.

При значеннях Z_c від 32—64 до 128 екологічна ситуація характеризується як надзвичайна (у першому випадку) і дуже небезпечна (за останнього значення). При Z_c = = 32—64 зростає захворюваність дітей на хронічні хвороби, порушується діяльність серцево-судинної системи. Сумарна захворюваність зростає до 40%.

При максимальних забрудненнях і значеннях Z_c (>128) настає екологічне лихо, захворюваність перевищує 70%, зростає смертність.

Важкі метали у ґрунті можуть:

- утворювати малорухливі форми у вигляді малорозчинних сполук;
- зв'язуватися у стійкі розчинні комплекси з численними органічними лігандами, зокрема гуміновими та фульвіновими кислотами;
- мігрувати у вигляді розчинних сполук;
- накопичуватися в рослинах і передаватися по ланцюгах живлення;
- поглинатися ґрунтовим вбирним комплексом;
- потрапляти в організм ґрунтових мешканців.

Важкі метали є протоплазматичними отрутами, токсичність яких зростає зі збільшенням атомної маси.

Механізм токсичної дії катіонів металів різний і зумовлює:

- зниження активності ферментів (купрум, меркурій);
- утворення хелатів (клешнеподібних комплексів) зі звичайними метаболітами та порушення обміну речовин (ферум);
- взаємодію з клітинними мембранами і зміну їх проникності та інших властивостей (кадмій, купрум);
- конкуренцію з хімічними елементами, необхідними для живлення рослин (цинк входить до складу багатьох ферментів і заміщення його кадмієм спричинює порушення функціонування ферментних систем та загибель рослин).

Рослини мають різну стійкість до важких металів. Окремі види здатні накопичувати значні кількості їх, виступаючи в ролі геоіндикаторів. Цю здатність використовують і для очищення ґрунтів від катіонів важких металів.

Важкі метали впливають і на ґрунтову біоту, порушуючи рівновагу, що існує між видами внаслідок їх різної чутливості до забруднення ґрунту. Найстійкіші до важких металів целюлозолітичні бактерії та мікроскопічні гриби.

Нафтопродукти і нафта потрапляють у ґрунт

- під час видобутку нафти і природного газу;
- у разі аварій нафтопроводів;
- разом зі стічними водами численних галузей промисловості;
- з атмосферними опадами;
- під час роботи техніки на полях;
- змиванням із поверхні автомагістралей, автомийок і транспортних підприємств тощо.

Вплив вуглеводнів та інших сполук нафти й нафтопродуктів на фізичні, хімічні та біологічні процеси в ґрунті, а також рослини і тварин залежить від

- їх хімічної природи;
- леткості компонентів;
- густини та в'язкості;
- здатності руйнуватися під дією зовнішніх чинників (сонячного світла, температури, кисню повітря, води, ґрунтового розчину);
- токсичності;
- концентрації;
- кількості тощо.

Нафта при високих концентраціях ізолює поживні речовини від коренів рослин; робить ґрунтову масу гідрофобною; при загустінні утворює асфальтоподібну масу на поверхні ґрунту, яка ускладнює обмін газами і водою між атмосферою та ґрунтом.

Через наявність ароматичних і поліциклічних ароматичних вуглеводнів та інших сполук нафта і нафтопродукти токсичні для ґрунтової біоти. Однак у ґрунті є численні бактерії, гриби та інші організми, здатні вибірково руйнувати ті чи інші компоненти нафти, використовуючи їх як джерело карбону для створення біомаси. Нафта з часом руйнується; швидкість цього процесу різна для різних компонентів.

Радіонукліди. Радіаційний фон земної поверхні залежить від радіоактивності гірських порід, які виходять на поверхню. В породах вулканічного походження більше радіоактивних ізотопів, ніж в осадових, хоча сланці та фосфорити мають ще більшу радіоактивність (***табл. 4.5***).

❖ **Цікаві факти**

З метою очищення ґрунтів від нафти і нафтопродуктів використовують термічні, хімічні та біологічні методи.

Відновлення ґрунтів, забруднених авіаційним бензином, проводять, нагріваючи ґрунт високочастотним електромагнітним випромінюванням до температури 150—160° С; при цьому видаляється 99% ароматичних і аліфатичних вуглеводнів.

В Нідерландах очищення ґрунтів на території автозаправних станцій від бензину, дизельного палива і мастил проводять хімічним способом, використовуючи як окисник пероксид гідрогену; тривалість процесу 6—12 міс.

Біологічні методи впроваджують із використанням мікроорганізмів (метанокислювальних і метанотрофних), рослин (деякі рослини з родини складноцвітих — айстри, стокротки, осот та ін. швидко очищають ґрунт від нафти). Але в кожному з останніх випадків, напевно, діє комплекс чинників: фізичних, хімічних та біологічних за участі не одного виду організмів, а їх угруповань.

Таблиця 4.5. **Радіоактивність окремих компонентів біосфери (за радієм і радоном)**

Субстрат	Порядок питомої радіоактивності, Кі/кг або Кі/л
Гірські породи:	
кислі	10^{-9}
основні	10^{-10}
осадові	10^{-9}
Ґрунт	10^{-9}—10^{-10}
Вода:	
океанів і морів	10^{-12}—10^{-13}
річок	10^{-12}—10^{-14}
Повітря:	
ґрунтове	10^{-10}
атмосферне над суходолом	10^{-13}
атмосферне над океаном	10^{-15}
Рослини	10^{-12}
Тварини	10^{-13}

Джерела радіоактивних ізотопів у ґрунті:

- розробка родовищ уранових руд;
- випробування ядерної зброї;
- паливно-енергетичний комплекс;
- могильники радіоактивних речовин (відходів);
- аварії на АЕС;
- втрати під час переробки уранових руд.

Радіонукліди мігрують як по поверхні ґрунту, так і вглиб. Співвідношення між шляхами міграції зумовлене кліматичними умовами, сорбційними властивостями ґрунтів, діяльністю ґрунтових мікроорганізмів, розчинністю радіонуклідів, ступенем засвоєння рослинами.

Коефіцієнт акумуляції K_a характеризує накопичення радіонуклідів рослинами чи тваринами порівняно з їх вмістом у ґрунті (субстраті):

$$K_a = \frac{\text{Радіоактивність біомаси, Бк/кг}}{\text{Радіоактивність субстрату, Бк/кг}}.$$

Його значення залежить від хімічної природи радіонукліда, типу ґрунтів, ступеня аерації, pH ґрунтового розчину, наявності поживних речовин, видової різноманітності рослин і тварин.

Найнебезпечніші нині (після аварії на ЧАЕС) радіонукліди ^{90}Sr і ^{137}Cs є хімічними аналогами біофільних елементів — кальцію і калію, тому легко потрапляють у рослини. Важкі ґрунти (суглинисті і глинисті) мають більшу вбирну здатність, ніж легкі.

У ряду Al^{3+} — Fe^{3+} — Ba^{2+} — Ca^{2+} — Mg^{2+} — NH_4^+ — Na^+ відбувається зменшення впливу конкуруючих йонів на обмінну сорбцію Sr^{2+} твердою фазою ґрунтів.

Найбільше радіонуклідів накопичують багаторічні бобові та зернобобові культури, коренеплоди, щавель, смородина; з дикорослих — чорниця, дивина скіпетроподібна,

м'ята, звіробій, фіалка триколірна (зверніть увагу — це лікарські рослини, тож вміст радіонуклідів у лікарській сировині слід обов'язково контролювати).

Шляхи зменшення поглинання радіонуклідів рослинами:

- внесення добрив (але надлишок сполук нітрогену при нестачі калію і фосфору може, навпаки, зумовити інтенсивне накопичення ^{137}Cs);
- насичення ґрунту калієм зменшує поглинання цезію;
- вапнування ґрунтів і збільшення концентрації кальцію в ґрунтовому розчині знижує надходження ^{90}Sr;
- фосфати та карбонати осаджують стронцій у вигляді нерозчинних сполук або знижують його вміст у ґрунті за рахунок співосадження ^{90}Sr з важкорозчинними фосфатами й карбонатами феруму, кальцію, магнію при внесенні фосфорних добрив;
- внесення перегною та мінеральних добрив з одночасним вапнуванням ґрунтів знижує вміст радіонуклідів у рослинній продукції у 4—5 разів.

Крім того, для очищення ґрунтів від радіонуклідів використовують рослини, які їх поглинають у значних кількостях. Зокрема, соняшники за 10 днів вегетації вбирають з ґрунту 95% радіоактивних ізотопів цезію і стронцію. Рослини спалюють, а золу захоронюють, як радіоактивні відходи.

У зоні відчуження ЧАЕС проводиться велика робота з цього напряму.

4.6. Рекультивація земель

Рекультивація земель (лат. користь) — це відновлення порушених промисловістю земельних площ з метою використання їх в інших галузях народного господарства.

У кожному конкретному випадку мета може бути різною і досягатися різними шляхами.

Перші дані про рекультивацію з'явилися в 1766—1784 рр., коли почали експлуатувати Рейнський кам'яновугільний басейн. Нині значні роботи з рекультивації земель тривають у Великій Британії, США, Франції, Німеччині, Японії, Китаї.

У 1939 р. в США видано закони для відкритих розробок, які передбачають озеленення відвалів. В окремих штатах підприємства спочатку платять за порушені землі, а потім частину цих виплат їм повертають, якщо на рекультивованих землях приживаються дерева. Причому часто рекультивовані землі продуктивніші, ніж природні.

Усі порушені території можна розподілити на дві групи:

- землі з насипним ґрунтом — промислові відходи, відвали пустих порід;
- території, пошкоджені вийманням ґрунту — кар'єри і відвали при відкритих розробках, провали підземних розробок.

Під час окиснення сульфідів на поверхні відвальних порід та шламів утворюється сульфатна кислота. У штатах Мериленд і Західна Вірджинія (США) в річці Північний Потомак після Другої світової війни внаслідок цього гинули тварини, заборонялося купатися і користуватися човнами, оскільки навіть цвяхи й металеві частини руйнувались у кислотному середовищі.

Основні напрями рекультивації техногенних ландшафтів

Сільськогосподарський напрям — використання рекультивованих земель для вирощування сільськогосподарських культур. Успіх рекультивації залежить від хімічного складу та структурно-гранулометричних властивостей порід, вмісту токсичних речовин, вологості ґрунту, наявності елементів, необхідних для живлення рослин.

Після припинення видобутку корисних копалин територію розрівнюють і висівають невибагливі рослини, які закріплюють внесений ґрунт (ковила, типчак, червона конюшина, буркун, люцерна, еспарцет) і збагачують його нітрогеном (бобові). Після відновлення обміну речовин у ґрунті висівають зернові.

Лісогосподарський напрям — подальше створення лісів. Поблизу Кохтла-Ярве (Естонія) вирівнюють розробки горючих сланців і вирощують сосну, модрину, обліпиху, липу, березу, чорну вільху. Як правило, лісогосподарську рекультивацію проводять на територіях, не придатних для сільськогосподарського вжитку. Спочатку висаджують невибагливі породи (тополю, акацію, вільху та ін.), а вже за наявності потужного ґрунтового шару — цінні породи: сосну, ялину, березу, дуб, граб тощо.

Водогосподарське використання — створення ставків, басейнів, рибних господарств. У Франції на затоплених кар'єрах створюють водноспортивні бази, іригаційні та протипожежні водосховища, рибні ставки.

Рекреаційний напрям полягає у використанні відчужених земель для відпочинку населення. Тут створюються зони відпочинку, ставки, спортивні майданчики. В Донецьку шахтні терикони поливають суспензією глини для припинення реакцій горіння, вносять шар ґрунту, висівають трави для його закріплення, а потім висаджують дерева. Там добре приживаються клен ясенолистий, тополя канадська, акації біла і жовта, а також трави — тимофіївка, стоколос, пирій, астрагал, буркун, люцерна та еспарцет. Виникають чудові парки для відпочинку.

Будівельний напрям — забудова рекультивованих земель. Часто її проводять без попереднього вирівнювання поверхні і кар'єри використовують для закладання фундаменту. Іноді відпрацьовані кар'єри заповнюють промисловими відходами та сміттям. В Італії поблизу Риму частина земель вапнякового кар'єру відведена під будівництво. Часто в цих місцях будують підземні гаражі, склади тощо.

Санітарно-гігієнічний напрям. Його суть — використання територій виробок під звалища відходів, шламонакопичувачі без попереднього вирівнювання ландшафту.

В Україні загальна кількість порушених земель перевищує 263 тис. га, з яких потребує рекультивації понад 120 тис. га. Найбільше зіпсованих відкритим видобутком корисних копалин земель знаходиться в Криворізькому і Керченському залізорудних, Дніпровському та Львівсько-Волинському вугільних, Нікопольському марганово-рудному та Прикарпатському сірконосному басейнах.

У цих зонах проводять значні роботи з рекультивації земель у різних напрямах: будують житлові будинки, вирощують сільськогосподарські культури, закладають сади.

Етапи рекультивації

Відновлення порушених площ земель здійснюють у кілька етапів:

- ***підготовчий (проектно-пошуковий)*** — вивчення земель, їх структури, здатність до біологічної рекультивації, техніко-економічне обґрунтування;
- ***гірничо-технічний (інженерний)*** полягає у вирівнюванні поверхні та впровадженні протиерозійних меліоративних заходів;
- ***біологічний*** спрямований на відновлення родючості земель та створення екосистем.

Меліораційні заходи

Меліорація — це комплекс заходів, спрямованих на поліпшення якості ґрунтів. До них належать:

- зрошення пустель (найефективнішим є краплинне зрошення — воно економне і не призводить до негативних побічних наслідків поливу);

- осушування боліт;
- внесення добрив (їх норма, співвідношення, терміни внесення мають бути узгоджені з типом ґрунту, кліматичними умовами, фазами вегетації рослин, видом добрива);
- снігозатримання з метою підвищення вологості ґрунтів;
- вирівнювання рельєфу;
- висаджування полезахисних смуг;
- боротьба з водною та вітровою ерозіями: збереження трав'яного покриву, горизонтальне розорювання схилів;
- глибока оранка ущільнених ґрунтів;
- піскування важких ґрунтів;
- обробка кислих ґрунтів вапном, карбонатом кальцію, внесення кальцієвмісних відходів: доменних та електроплавильних шлаків, зол ТЕС, відходів цементних і цукрових заводів (дефекат виробництва цукру містить до 70 % карбонатів кальцію і магнію, близько 15% органічних речовин, 1 % фосфору, 0,6—0,8 % калію, домішки сульфуру, нітрогену, мікроелементів);
- промивання засолених ґрунтів;
- меліорація солонців і солонцюватих ґрунтів, у яких багато обмінного натрію; при зволоженні вони стають в'язкими й липкими. Солонці содового засолення можна обробляти відпрацьованою сульфатною кислотою, а потім промивати водою.

4.7. Системи землеробства

З того часу, як плуг уперше зробив борозну на цілинній землі, пройшли тисячоліття. Одна система землеробства змінювала іншу. Кожна мала свої переваги й недоліки. Ось основні з них.

- *Городна система* — скопування землі палицями або обробка мотиками.
- *Підсічно-вогнева* полягає в підсушуванні й подальшому спалюванні лісів. Ці випалені території використовують 3—4 роки, а потім дають відпочити, освоюючи нові. До цього часу її використовують у тропічних лісах.
- *Перелогова система* — висівання зернових упродовж кількох років, відпочинок земель, а потім знову їх використання.
- *Сидеральна система.* Її суть — вирощування рослин (найкраще — бобових), які потім заорюють, з метою поліпшення родючості земель.
- *Парова (трипільна) система землеробства* — поділ поля на три частини, дві з яких засівають, а одна відпочиває і на ній випасають худобу. Наступного року пар залишають на іншому полі.

Здавна люди навчилися підвищувати родючість земель внесенням добрив. Для цього використовували попіл, гуано (послід птахів), кістки риб тощо.

Надзвичайно велике забруднення земель змусило людину згадати досвід предків-хліборобів. Виникло землеробство, яке не чинить згубного впливу на довкілля і здоров'я людей. Таке землеробство названо ***альтернативним***. Воно має кілька систем.

Органічна система, найпоширеніша в США, пропонує використовувати перегній, компост, крейду, доломіт, гіпс, кісткове борошно, водорості для меліорації та підвищення родючості ґрунтів.

Біологічна система полягає у використанні компостів та природних видів захисту рослин від шкідників і хвороб (збирання комах, розпилення настоянок рослин).

У **біодинамічній системі** враховують як земні, так і сонячні та місячні ритми під час обробки земель, у виборі термінів висівання та збирання сільськогосподарської продукції. Широко застосовують суміші гною і рослин, що удобрюють ґрунт та захищають рослини.

Проблема сталого розвитку аграрного сектора, що визначається "як можливість забезпечення людини безпечними харчовими продуктами, створення гармонійних умов життя з одночасним збереженням природних ресурсів для сучасних і прийдешніх поколінь", стала одним з головних завдань науки і практики. З цього випливає, що найперша вимога часу — розробка, удосконалення і широке впровадження ресурсо- та енергозаощадливих, екологічно чистих систем землеробства.

В Україні вже впродовж трьох десятиліть учені-ґрунтознавці розробляють нові ґрунтозахисні системи землеробства, спираючись на наукові розробки вітчизняних і зарубіжних вчених та світовий досвід. Ґрунтозахисна система землеробства, розроблена вченими Національного аграрного університету під керівництвом доктора сільськогосподарських наук, професора, заслуженого діяча науки і техніки України М.Шикули, в 1973—1988 роках проходила широку експериментальну перевірку в Полтавській області й довела свою економічну ефективність і екологічну безпечність. Яскравим прикладом використання такої системи землеробства стало САТ "Обрій", одне з господарств Шишацького району Полтавської області, яке вже понад чверть століття вирощує всі сільськогосподарські культури за новою технологією.

Незважаючи на набутий за десятиріччя досвід багатьох господарств у різних областях України з ведення землеробства за новою прогресивною технологією, її результати досі не були науково осмислені вченими-економістами й екологами; вони, як правило, розглядалися побіжно, частково, без усебічних узагальнень і оцінок. Висока економічна ефективність і екологічна безпечність ґрунтозахисної системи землеробства констатувалася як незаперечна реальність і вся увага зосереджувалася на біологічних аспектах, тонкощах технології та конструкції ґрунтообробних знарядь.

Ідея безплугової обробки ґрунту, її глибока наукова розробка та обґрунтування тісно пов'язані з іменами вчених О.Бараєва, О.Каштанова, Т.Мальцева, Ф.Моргуна, М.Шикули, Є.Рябова та ін. Різні аспекти проблеми збереження земельних ресурсів, взаємозв'язку екології і ґрунтознавства, наукові основи екологізації сільськогосподарського виробництва широко досліджені в працях таких відомих учених, як В.Вернадський, В.Волобуєв, В.Голубєв, В.Горшков, В.Докучаєв, Л.Карпачевський, В.Ковда, Ю.Одум, М.Реймерс, Б.Розанов, О. Тараріко, Т.Хачатуров, М.Городній та ін.

Нині, коли значення "здорової", "екологізованої" та високопродуктивної агросфери піднялося до рівня чинника, від якого залежить доля цивілізації, біологізація землеробства, технологій та екологізація всіх ланок сільськогосподарського виробництва є єдиним заходом, який може стримати подальшу деградацію і виснаження ґрунтів, стабілізувати розвиток агросфери, знизити її залежність від техносфери, забезпечити умови для еколого-економічного збалансованого розвитку.

Основними шляхами екологізації сільськогосподарського виробництва є:

- спрямування на вирощування екологічно чистої продукції;
- створення парку легких сільськогосподарських машин, які менше ущільнюють ґрунт;
- впровадження біологічних методів боротьби зі шкідниками сільськогосподарських культур;

- виведення нових високопродуктивних сортів рослин та порід тварин;
- раціональне внесення добрив і пестицидів у оптимальні терміни;
- охорона поверхневих і підземних вод від забруднення;
- впровадження нових ефективних технологій землекористування.

Питання для самоконтролю

1. *Дайте визначення поняття агросфера.*
2. *Що таке агроценоз? Чим зумовлена його нестійкість?*
3. *Яку роль відіграють ґрунти у біосферних процесах?*
4. *Які функції виконують ґрунти у біосфері?*
5. *Назвіть основні екологічні зміни ґрунтів під впливом людської діяльності.*
6. *Які ви знаєте антропогенні забруднювачі ґрунтів?*
7. *Що таке пестициди і яка їх екологічна роль?*
8. *Які з важких металів, що накопичуються у ґрунтах, найбільш небезпечні?*
9. *Назвіть найнебезпечніші радіонукліди, якими забруднені ґрунти України, і вкажіть, де саме.*
10. *Що таке рекультивація земель? Назвіть основні її види.*
11. *Що таке альтернативне землеробство?*
12. *Назвіть основні шляхи екологізації сільськогосподарського виробництва.*

Розділ 5

НООСФЕРА

Від зародження концепції до стратегії гармонійного розвитку

Початок третього тисячоліття людство змушене зустрічати новим сплеском загострення суперечностей між різними країнами і народами, між різними партіями і конфесіями, розростанням екологічної, економічної та соціальної криз як у різних регіонах планети, так і в глобальному масштабі. Ці явища є наслідком вичерпання соціально-економічних форм розвитку суспільства в межах нинішніх природно-ресурсних і екологічних умов. Дедалі більша кількість людей і держав відчуває гострий дефіцит не тільки якісних харчових продуктів, а й якісної води, чистого повітря, енергетичних, земельних, біологічних та інших ресурсів. Адже за підрахунками деяких вчених (В.Котляков та ін.) за останні сто років ресурсоспоживання людства збільшилося майже в 100 разів. Вперше в історії людства ресурсна і біологічна кризи досягли біосферних меж і виникла загроза існуванню цивілізації. Вперше перед людством постало завдання глобального масштабу, від правильного розв'язання якого у майбутньому залежатиме життя наших нащадків. Спільне для всіх завдання — зберегти біосферу як середовище спільного існування.

Ця глобальна проблема змушує консолідуватися всі країни для пошуків і реалізації нових шляхів її розв'язання, для переходу на новий, екологічний стереотип мислення, який активно формується і який певною мірою виражає стратегія екологічно збалансованого розвитку. При цьому кожна країна повинна мати свій національний шлях сталого соціально-еколого-економічного збалансованого безпечного розвитку. І Україна як європейська держава проголосила свої наміри щодо вибору сталого розвитку як стратегічної мети XXI ст.

❖ Цікаві факти

За палеонтологічними даними і згідно з сучасними уявленнями, для природного виникнення біологічного виду (середня тривалість існування виду становить близько 3 млн років) потрібен час близько 10 тисяч років. Інноваційний цикл у передових галузях виробництва наприкінці XX століття становив близько 10 років. У разі продовження розвитку цивілізації минулим шляхом нема ніяких надій на збереження біоти й забезпечення стабільності довкілля.

Поняття "сталий розвиток" ще остаточно не визначено і продовжує обговорюватися. Автори пропонують прийняття визначення "гармонійний розвиток", що значно точніше підходить і відповідає сутності процесів розвитку, який бачать екологи і яким має піти людство, ніж такі поняття, як "сталий", "стійкий", "стабільний", "усталений", "збалансованнй", "соціально-еколого-економічно збалансований" розвиток тощо, якими користуються сьогодні українські вчені, політики і публіцисти. У слові "гармонійний" всі ці поняття об'єднані. Адже гармонія — це порядок і єдність у різноманітті, це узгодженість, зв'язки за законами краси і порядку, найкраща організованість. У давньогрецькій філософії гармонія — організованість космосу на противагу хаосу, злагоджене поєднання протилежних елементів світу. До речі, ще піфагорійці вважали, що кожна людина повинна виконувати свій обов'язок, зберігаючи гармонію світу.

Національний шлях України до гармонійного розвитку, по-перше, ґрунтується на критичному усвідомленні сучасної ноосферної ідеї як системотвірної теоретичної бази сталого розвитку і, по-друге, на реальному врахуванні сучасних зовнішніх і внутрішніх загроз національним інтересам держави.

За такого системного підходу гармонійний розвиток можна розглядати як стратегічну мету національної безпеки України у її геополітичному, європейському та національному вимірах, а розробка і реалізація Концепції гармонійного розвитку України має здійснюватися поетапно, послідовно (стабілізація, перехід, досягнення).

Перш за все, необхідно визначитися з теоретичною і методологічною базою гармонійного розвитку, згідно з ноосферною ідеєю і особливостями тенденцій розвитку України (теорія гармонійного розвитку).

По-друге, необхідно розробити Національну стратегію забезпечення стабільності національної безпеки України. Одним із геополітичних пріоритетів і стратегічною метою слід визначити гармонійний розвиток як гарантію сталості національної безпеки суспільства, держави.

І, по-третє, необхідно визначити концептуальні засади переходу України до гармонійного розвитку з урахуванням наслідків попередніх кроків.

Термін "гармонізація" взаємовідносин людини і природи, "гармонійний розвиток" вживали багато відомих вчених-природничників і раніше, особливо — вчені гуманітарії, дослідники соціально-екологічних проблем. Ним користувалися і В.Вернадський, М.Реймерс, М.Моісєєв та ін. Його вживають і українські вчені (М.Кисельов, В.Крисаченко, В.Загорський, В.Кухар, І.Лукінов та ін.).

Останнім часом вчені світу, яким не байдужа майбутня доля людства, почали глибоко вивчати закони розвитку Природи, Біосфери, складні взаємозв'язки її живих і неживих компонентів, місце і роль людини в Біосфері, почали активно шукати шляхи виходу з тих кризових ситуацій, у яких опинилася наша цивілізація на початку XXI ст. З'явилася велика кількість концепцій розвитку людства, у яких пропонуються нові форми його поведінки, діяльності, ставлення до Природи і її ресурсів. Розробляються й пропонуються до реалізації нові форми розвитку соціально-економічних систем, удосконалюється теорія систем з огляду на особливості розвитку їх біологічної компоненти за сучасних умов.

5.1. Витоки ноосферної ідеї

Ноосфера — надзвичайно важливе поняття, уявлення про яке серед багатьох учених-природничників до останнього часу залишається неузгодженим. Учення про ноосферу одні дослідники (В.Казначеєв, 1985; О.Яншин, 1988; В.Комаров, 1990 та ін.) вважають одним із найважливіших наукових досягнень, як основний закон соціальної екології, а інші вчені (В.Кутирєв, 1990; М.Реймерс, 1994; М.Моісєєв, 1997; В.Межжерін, 1996—1998; В.Данилов-Данильян, 2000 та ін.) сприймають як утопію, прекрасну мрію про світле екологічне майбутнє, яке, з низки серйозних реальних причин, вибудоване, практично, бути не може. У концепції ноосфери переплелися й матеріалістичні, й релігійно-філософські, й ідеалістичні погляди на роль і значення людини, людського інтелекту, технологічної могутності в житті біосфери і планети в цілому.

Значну роль у виникненні ноосферних ідей відіграли російські філософи-космісти М.Федоров і С.Булгаков (початок XX ст).

Творцем ноосферної концепції вважається В.Вернадський, який ще в студентські роки в одному з рефератів відзначив дедалі зростаючу геологічну силу і роль людини в довкіллі, а в 1922—1923 рр. ці ідеї, які були вже підкріплені його біохімічними дослідженнями, В.Вернадський висловив на лекціях у Сорбоннському університеті.

У 1925 р. у своїй статті, що була опублікована в Парижі, В.Вернадський писав: "*У біосфері існує велика геологічна, можливо, космічна сила, планетарну дію*

якої зазвичай не беруть до уваги в уявленнях про космос ... ця сила є розум людини, цілеспрямована і організована воля її як істоти суспільної..." У цей час термін "ноосфера" В.Вернадський ще не використовував.

Слово "ноосфера" (грец. ноос — розум) вперше у 1927 р. запропонував французький філософ і математик Е.Леруа, який разом зі своїм колегою — геологом, палеантологом і теологом П.Тейяром де Шарденом дуже схвально і палко сприйняли й підтримали ноосферні ідеї В.Вернадського, а саме:

- людство — це велика геологічна сила;
- ця сила є розум і воля людини як істоти соціально організованої;
- рівень антропогенних змін довкілля на планеті став настільки потужним, що почав діяти на біогеохімічний метаболізм;
- людство могутнішає і дедалі більше відділяється від інших компонентів біосфери, намагаючись ними керувати.

В.Вернадський сприйняв і підтримав термін "ноосфера" і надалі широко використовував у своїх працях. Найбільш глибоке обґрунтування ідеї ноосфери В.Вернадський дав у своїй фундаментальній науковій праці "Научная мысль как планетное явление". У цій праці ноосфера визначається як царство розуму — не тільки наукова думка, а й "... усі духовні прояви особистості людини, у тому числі — у релігійній, художній, філософській галузі ..., у музиці та архітектурі ...". Далі пояснюється, що ноосфера складається не тільки з ідеальної, духовно-художньої, а й із матеріальної частини — перетвореної людиною біосфери, в якій під впливом культурної біогеохімічної діяльності глибоко трансформовані природні режими енерго- і масообміну. В.Вернадський стверджував: *"Ноосфера есть новое геологическое явление на нашей планете. В ней впервые человек становится крупной геологической силой. **Он может и должен перестраивать своим трудом и мыслью область своей жизни, перестраивать коренным образом по сравнению с тем, что было раньше".***

Одночасно з В.Вернадським П.Тейяр де Шарден створив свою ноосферну концепцію, яка дещо відрізнялася, була більш ідеалістичною, культурологічною. У своїй науковій праці "Феномен людини" П.Тейяр де Шарден стверджував, що з появою людини почалася нова ера на Землі, яка почала "міняти шкіру", ставати духовною, що з'являється новий "мислячий пласт, колективний продукт мислення людства". При цьому культура не протиставляється природі і "дух не суперечить матерії" — вони уявляються в єдності, як органічний і природний наслідок еволюції Всесвіту.

Він писав: *"Вокруг искры первых рефлектирующих сознаний стал разгораться огонь... В конечном итоге пламя охватило всю планету. Только одно истолкование, только одно название в состоянии выразить этот великий феномен — **ноосфера** ... она действительно новый покров, "мыслящий пласт", который, зародившись в конце третичного периода, разворачивается с тех пор над миром растений и животных — вне биосферы и над ней".*

Згідно з тлумаченнями В.Вернадського, ноосфера є вищим етапом розвитку земної природи, результатом спільної, ***скерованої людиною еволюції природи*** і суспільства. ***Біосфера*** завдяки розумній діяльності й технічній могутності людини ***має набути нової функції — функції гармонійної стабілізації умов життя на планеті.*** В.Вернадський припускав, що в ***майбутньому людство стане автотрофним***, тобто незалежним від органічних ресурсів, які зможе штучно продукувати у потрібних кількостях. Однак періоду панування на планеті ноосфери має передувати глибока соціально-економічна реорганізація суспільства, конверсія його свідомості, ціннісної орієнтації.

В основі ідеї ноосфери В.Вернадського лежить його соціальний оптимізм і впевненість у величезній силі науки, якій, як він вважав, вдасться невдовзі зробити те, що не вдалося філософії, релігії, політиці, а саме — об'єднати людство.

На жаль, у працях В.Вернадського немає наукового опису (розгорнутого, послідовного, аргументованого) процесу ноосферогенезу з чіткими характеристиками особливостей ноосфери, її складових елементів та етапів розвитку.

Велика гуманістична привабливість концепції, з одного боку, і її неповнота, з іншого, зумовили чимало спекуляцій та вільних тлумачень ноосфери.

Деякі вчені стверджували, що ноосфери вже існували як сфери розуму, продуктом яких були технічні досягнення різного рівня, досягнення науки, мистецтва, літератури тощо (Л.Гумільов), — це ноосфери кроманьйонців, шумерів, еллінів, ацтеків та ін. Інші вчені вважають, що формування ноосфери лише почалося (Ю.Куражковський, 1992), ще інші (М.Голубець, 1998—2000) — що ноосферогенез вже йде повним ходом, розуміючи під цим потужний наступ техносфери на біосферу.

І справді, за сто останніх років швидкість пересування людей збільшилася приблизно в сто разів, потужність створених джерел енергії — в 1000 разів, зброї — в 100 000 разів, швидкість обробки інформації — в 1 млн разів і продовжує зростати.

Науково-технічний прогрес нині в 100 000 разів перевищує швидкість біоеволюції. Сумарне споживання людиною енергії нині порівняно з тим, що було на світанку цивілізації, збільшилося приблизно в 5000 разів. Вплив людини поширився на ближній космос, а обсяги діяльності в межах земної кори справді досягли геологічних масштабів. Антропогенне навантаження на природне середовище збільшилося в сотні тисяч разів, результатом чого стали неконтрольований розвиток у багатьох районах і регіонах планети незворотних процесів деградації екосистем, поява небезпечних кризових екологічних ситуацій, загроза існуванню самої цивілізації (глобальні негативні кліматичні зміни, дуже швидке збіднення біорозмаїття, зменшення лісів, усіх видів природних ресурсів, значне погіршення здоров'я людей у багатьох країнах, деградація людського в людині). За даними геофізичних досліджень (М.Власов, Е.Грінберг та ін.), навіть навколоземний космічний простір, який є важливою захисною оболонкою, за останнє десятиліття став небезпечно забрудненим (його техногенне забруднення в 150 тис. разів перевищило природне, тобто масу метеоритних тіл). Розрахунки передбачають, що на початку III тисячоліття маса космічного техногенного сміття збільшиться до 4—5 тис. т, а це є реальною загрозою дуже чутливому навколоземному космічному середовищу, оскільки його резерви самоочищення і відновлення будуть за таких умов вичерпані.

❖ Цікаві факти

Фахівці Світового Банку підрахували, що за період з 1990 до 2030 р. кількість населення планети зросте на 3,7 млрд, потреба у харчових продуктах подвоїться, споживання енергії і продуктивність промисловості зростуть утричі, а в країнах, що розвиваються, у шість разів. Це призведе до ще потужнішого негативного впливу людської діяльності на довкілля і необхідності екологізації останньої з метою врятування біосфери і цивілізації.

У біосфері — системі, де в процесі тривалого мільйонорічного розвитку формувалися збалансовані біохімічні, геофізичні та геохімічні процеси саморегуляції, самоочищення й самовідновлення — з'явилася підсистема, створена людиною, яка дуже швидко перебрала на себе потоки енергії, необхідні багатьом іншим підсистемам, і це завдало останнім непоправної шкоди.

У ноосфері (антропогенній підсистемі) техніко-економічний прогрес почав замінювати еволюцію. Ця підсистема, як свідчить життя останніх десятиліть, розвивається агресивно, без координуючих зворотних зв'язків і врахування екологічних законів, розвивається за схемою не компенсатора, а підсилювача, і ***не орієнтована на екологічно збалансований розвиток.*** Дедалі частіше виникають еколого-економічні нестабільності в різних регіонах планети, а це провокує політичні дестабілізації, виникнення локальних, регіональних і глобальних конфліктів. Нині етика й мораль не сприяють

еколого-економічно збалансованому розвитку цивілізації та нормальному функціонуванню біосфери, а спрямовані на створення якомога ефективніших технологій використання всіх видів природних ресурсів, їх необачного виснаження з одночасним утворенням абсолютно неприйнятної для біосфери кількості відходів, які не включаються в колообіги речовини та енергії.

Цікаву думку щодо ідеї ноосфери висловив один із найвідоміших спеціалістів у галузі етногенезу, видатний російський вчений, історик і географ Л.Гумільов: *"А что дала нам ноосфера, даже если она действительно существует? От палеолита остались многочисленные кремневые отщепы и случайно оброненные скребки да рубила; от неолита — мусорные кучи на местах поселений. Античность подарила нам развалины городов, а средневековье — руины замков ... И вряд ли в наше время найдется человек, который предпочел бы видеть на месте лесов и степей груды отходов и бетонированные площадки".*

Слід зауважити, що Л.Гумільов був одним із перших у колишньому СРСР учених, який виступив проти ідеї ноосфери ще у 1980-х роках, не маючи таких фактів і розрахунків, якими оперували пізніше В.Горшков, В.Кутирєв та ін. Він вважав (1989), що "сфера розуму" не може бути розумною, якщо її розвиток веде до заміни живих процесів, якщо "людська творчість виривае з природи часточки речовини і замикає їх у кайдани форм. Каміння перетворюється на піраміди або Парфенон, вовна — на піджаки, метал — на шаблі й танки. А ці предмети позбавлені саморозвитку"... На противагу В.Вернадському, який наголошував на інтегральній функції людства як єдиного цілого, Л.Гумільов відзначив (він довів це своїми дослідженнями) просторово-часову неоднорідність людства, етногенезу. Він підкреслював важливість розподілу людства на етноси, тому що кожний етнос має свою сформовану віками специфіку ставлення до довкілля і свою пасіонарність, тобто непоборне прагнення (переважно неусвідомлене) до діяльності. За думкою Л.Гумільова, саме пасіонарність як явище, яке непідвладне людині і яке керує людиною, змінює Землю.

У 1986 р. відомий американський еколог Ю.Одум висловив думку, що незважаючи на величезні можливості й здібності людського розуму та здатність керувати природними процесами, ще рано говорити про ноосферу, людина ще не здатна передбачати всі наслідки своїх дій.

Російські вчені Т.Акимова і В.Хаскін також зазначають, що перетворене людиною довкілля не може бути названо "сферою розуму". Вони вважають (1998), що критерій розумності взагалі не варто застосовувати до людського суспільства, краще — критерій доцільності. Навіть якщо не вдаватися до розгляду доцільності організації суспільства, варто поставити питання, ***чому біосфера Землі, що складається з незбагненної кількості різноманітних і нескорельованих істот, які не мають розуму, виявляє всі властивості надзвичайно точної, збалансованої і стійкої організації, тоді як людське суспільство, суспільство носіїв високого розуму, не тільки не має позитивних якостей, а й своєю стихійною неорганізованістю та поведінкою загрожує існуванню біосфери і самого себе.***

До речі, на Заході останні 50 років у працях провідних філософів учення про ноосферу практично не згадувались, а от у колишньому СРСР в 1960—1980-ті роки, у зв'язку з різким погіршенням екологічних умов у багатьох регіонах держави та специфічним політичним кліматом, ідею ноосфери почали активно розвивати багато філософів і вчених-природничників. Вона глибоко вкоренилася у наукові праці та й навіть у підручники і вважалася надійним теоретичним підґрунтям природоохоронної діяльності та головним дороговказом розвитку людства.

Кілька років тому в Москві створено Міжнародну академію ноосфери; в Україні також ведуться дискусії щодо створення Академії ноосфери. У зв'язку з цим є необхідність, спираючись на сучасний важливий фактичний соціально-екологічний мате-

ріал і результати глибоких наукових досліджень у сфері як природничих, так і соціально-економічних наук, яких не було у В.Вернадського півстоліття тому, навести приклади сучасних підходів до тлумачення ідеї ноосфери і деякі критичні міркування щодо можливості її реалізації.

Певні критичні думки вже наводилися вище, однак до них слід додати ще низку важливих міркувань.

Аналіз праць В.Вернадського, присвячених ноосфері ("Біосфера і ноосфера", "Кілька слів про ноосферу", "Наукова думка як планетарне явище", "Філософські думки натураліста") показав, що поставлене автором завдання охорони навколишньої живої природи має суто утилітарний характер — зберегти лише корисні для людини види. Проблема охорони довкілля в широкому розумінні — збереження біорозмаїття, відтворення екосистем тощо не розроблялася, а знищення "дикої", не займаної людиною природи як некорисної для суспільства В.Вернадський часто висвітлював у позитивному контексті.

Формування ноосфери передбачало докорінну зміну біосфери, використання її як будівельного матеріалу. Ідея розумного збалансованого співіснування біосфери й техносфери цілком ігнорувалася.

Біосфера не розглядалась як така, що має самостійну цінність, завдання про її збереження не ставилося, причини й наслідки глобальних негативних змін біосфери під впливом техногенних навантажень не розглядалися. Вчений, як свідчать його висновки, не передбачав, що вже через 20—30 років після Другої світової війни почнеться розвиток глобальної еколого-економічної кризи.

Перспективи розвитку В.Вернадський намагався оцінювати, спираючись тільки на природничонаукові міркування й ігноруючи роль соціальних процесів. Разом із тим ***сучасні дослідники стверджують, що головною причиною розвитку глобальної екологічної катастрофи є перенаселення планети, яке породжує перевиснаження ресурсів, перевиробництво та перезабруднення довкілля.*** Демографічна проблема нині залишається поза розумним контролем та керуванням і в найближчі десятиліття її розв'язання практично неможливе. Незважаючи на сучасну технологічну могутність і комп'ютерні можливості, ми ще не в змозі ефективно розв'язувати гострі соціальні проблеми, ефективно запобігати релігійним, політичним чи соціально-економічним кризовим ситуаціям та конфліктам. Нині ми надзвичайно далекі від тих загальних умов, які, за визначенням В.Вернадського, необхідні для побудови ноосфери:

- людство має стати єдиним в економічному та інформаційному відношенні;
- людство має прийти до цілковитої рівності рас і народів;
- ноосфера не може бути створена, доки тривають війни на планеті.

Та й сам контроль людства над біосферою принципово неможливий. Людина здійснила величезні деструктивні втручання в обмін речовин, енергії та інформації у біосфері, а здатна нині лише частково контролювати надзвичайно малу частку з мільйонів видів живих істот. Щоб контролювати функціонування і взаємозв'язки між організмами всіх видів і екосистем у біосфері, людині потрібно мати й відповідні інформаційні можливості, які б дорівнювали обсягові потоків інформації всієї біоти планети. Кількісні ж показники інфраструктурних можливостей біоти екосфери на 20 порядків перевищують можливості людини і, як стверджує В.Горшков, цей розрив у принципі не може бути скорочений. Людство йде шляхом різкого зменшення кількості видів організмів, які необхідно контролювати. І все одно, відповідно до "правила 1%", стабілізація умов довкілля вимагає понад 99% енергетичних і трудових витрат, тобто на підтримання й розвиток цивілізації залишиться 1%. У цьому разі природні біоценози поступово зникають, про збереження біорозмаїття годі й казати.

Видатний російський учений-еколог М.Реймерс неодноразово наголошував, що жодні технократичні "вдосконалення" біосферних природних процесів і механізмів або їх дублювання не будуть екологічно оптимальними, тому що "протез завжди гірше".

Як справедливо зауважують В.Хаскін і Т.Акимова, людство не наближається до ноосфери, а віддаляється від неї з великою швидкістю, і якби В.Вернадський міг це бачити, він, вочевидь, засумнівався б у можливості реалізації ідеї ноосфери.

Життя дає дедалі більше фактів, що суперечать прогнозам пропагандистів ноосфери. Один із них — це те, що техносфера набула здатності до саморозвитку, у неї почали з'являтися ознаки, які не планувалися людьми. Людям перестають підкорятися нові фізичні, біохімічні та інформаційні процеси.

Другий — це числені "сюрпризи" самої біосфери, які вона "підкидає" людству у вигляді небезпечних невідомих нам хвороб, біологічних явищ тощо.

Некерованим став процес збільшення прірви між високорозвиненими і слаборозвиненими країнами, процес розшарування суспільства практично в усіх країнах світу на невеликий відсоток дуже багатих і великий відсоток дуже бідних.

Професор Ю.Пузаченко (1993), спираючись на докази Д.Гільберта, Г.Гегеля і численні дані сучасних екологів, стверджує, що ідея побудови гармонійного, несуперечливого світу засобами наукових знань, які завжди формалізують реальні відносини й процеси, недосяжна, і сюрпризи виникатимуть у надрах самого суспільства. Прикладом може бути удар по всемогутності науки, якого їй завдали комахи. Розроблені в 1950-х роках пестициди обіцяли велике майбутнє сільському господарству у сфері боротьби зі шкідниками. Проте виявилося, що впродовж лічених років комахи виробили добру стійкість до цих отрут, адаптувалися, виживали, розмножувалися. Ставали потрібними дедалі нові розробки, багаторазові збільшення доз хімікатів і, врешті-решт, людина виявилася безсилою розв'язати проблему: комахи пристосовувалися швидше, ніж люди знаходили нові ефективні засоби боротьби з ними. З'ясувалося, що біологічні системи взагалі мають схильність "вислизати" з-під керування і контролю. Ці природні відкриті системи і об'єкти можуть стрибкоподібно набувати непередбачених станів і відносин. З аналогічними проблемами зіткнулися кібернетики, соціологи, економісти.

❖ Цікаві факти

*Проф. В.Горшков (1988) на основі багаторічних досліджень біосферних процесів і виконаних розрахунків дійшов надзвичайно важливого екологічного висновку: "Потоки синтезу і розкладу органічних речовин збігаються з точністю 10^{-4}. **Скорельованість потоків синтезу і розкладу зі вказаною точністю доводить наявність біологічної регуляції навколишнього середовища**, бо випадковий зв'язок величин з такою точністю упродовж мільйонів років є малоймовірним.*

Абсолютно утопічною ідею керування біосферою вважає і відомий біофізик В.Горшков (Санкт-Петербург), який із 1970 р. розробляє теорію біотичної регуляції та стабілізації стану навколишнього середовища. Нині ця теорія добре обгрунтована, передбачає перехресну перевірку з біологічних, фізико-хімічних та математичних позицій і має прогностичні властивості. Висновки В.Горшкова широко використовували останнім часом (1994—2000) такі відомі вчені, як М.Моісєєв, К.Лосєв, В.Данилов-Данильян, Т.Акимова, В.Хаскін та інші для розробки власних теорій екологобезпечного, збалансованого розвитку цивілізації.

Головним досягненням наукових розробок В.Горшкова є визначення дуже важливого поняття — критерію, який він назвав ***рубежем сталості*** (стійкості, витривалості, усталеності) ***екосфери щодо антропогенних навантажень,*** або ***несучою ємністю біосфери*** (її екологічною техноємністю). ***Ця величина становить 1% чистої первинної глобальної продукції біоти***, що дорівнює близько 23 ЕДж/рік або 0,74 ТВт/рік*.

* Т — тера (позначення) = 10^{12}

За оцінками різних фахівців, ***сучасне пряме споживання людством біопродукції становить від 7 до 12%, тобто в десять разів більше від рубежу стійкості біосфери.*** Валова потужність енергетики нашої цивілізації становить близько 18 ТВт, тобто в 24 рази більше від енергетичної оцінки межі. Єдиний висновок, що випливає з таких розрахунків — це необхідність негайного зменшення техногенного тиску на біосферу. Найголовнішими шляхами зниження цього тиску є зменшення чисельності населення планети й екологізація економіки та всіх сфер виробництва.

Крім того, В.Горшков розрахував, що в сучасній біосфері живе близько 10^{26} живих організмів, якими, якщо стати на позиції ноосферистів, потрібно буде керувати, формуючи середовище існування майбутньої цивілізації. Це завдання абсолютно утопічне. Адже мікроскопічні живі організми — це природні комп'ютери, в яких обчислювальні пристрої поєднані з елементами активного впливу на довкілля, і ці комп'ютери вкривають усю Землю кількома суцільними шарами. Жоден рівень комп'ютеризації не в змозі забезпечити обмін інформаційними потоками всіх живих істот біосфери ні з технологічного погляду, ні, як згадувалося вище, з енергетичного. Оскільки керування біосферними процесами за допомогою незбагненно великої кількості вироблених людиною комп'ютерів різних розмірів і характеру поглинуло б, як зазначалося, не менш ніж 99% усієї енергії цивілізації.

"Найсвіжішим" ударом по всемогутності науки стала проблема СНІДу і проблема пріонів (модифікованих білків), або губчатоподібної енцефалопатії (коров'ячого сказу). Ще якихось 15 років тому вчені України були переконані, що ВІЛ-інфекція нам не загрожує, що це, здебільшого, проблема народів Африки, та й наукові дослідження, які почали інтенсивно проводитися в США та інших високорозвинених країнах з метою подолання СНІДу, супроводжувалися доволі оптимістичними прогнозами.

Проте життя показало наше безсилля перед цими грізними біологічними явищами. Епідемічний сплеск СНІДу не тільки в Африці, а й в усьому світі набув катастрофічних обсягів, глобальних масштабів. Нині вірусом СНІДу у світі інфікується близько 9 тис. чоловік щоденно, з початку активного поширення цієї хвороби (близько 20 років тому) від неї вже загинуло близько 7 млн чол., і, за прогнозами, у найближчі 25 років загинуть ще десятки мільйонів. Протягом останніх 3-х років в Україні щомісяця виявляють близько 1500 ВІЛ-інфікованих. Навіть із такою хворобою, як грип, нам стає дедалі важче справлятися через здатність вірусів цієї хвороби надзвичайно швидко змінювати свої властивості залежно від природних умов.

Катастрофічне поширення у Європі "коров'ячого сказу" пов'язують із порушенням людиною деяких еволюційно відпрацьованих правил життєзабезпечення виду, яких ми ще не знаємо,

Грубі порушення правил та законів Природи (згідно з четвертим законом Б.Коммонера — "за все треба платити") негайно викликали згубну плату: за останні 15 років тільки у Великій Британії на локалізацію і ліквідацію "коров'ячого сказу" витрачено близько 40 млрд фунтів стерлінгів! Ця хвороба, незважаючи на значні зусилля її локалізувати, переможно крокує Європою і вже загрожує здоров'ю людей.

5.2. Сучасні підходи до ідеї ноосфери

Останнім часом (1992—2000 рр.) проблемі екологічно-безпечного розвитку, аналізу ноосферних ідей виживання цивілізації, їх обґрунтованості, реальності, аналізу результатів і перспектив розвитку ноосферного світогляду приділяли увагу багато вчених і в Росії, і в Україні: М.Моісєєв, В.Кутирєв, М.Реймерс, К.Кондратьєв, В.Горшков, В.Большаков, І.Гітельзон, О.Яншин, А.Урсул, С.Барцев, К.Петров, В.Охонін, Е.Гірусов,

К.Лосєв, В.Данилов-Данильян, Б.Зубаков, Е.Слєпян, І.Гарін, В.Крисаченко, О.Самарський, Г.Швебс, В.Межжерін, В.Боков, М.Голубець та ін.

Попри певні розбіжності в поглядах на ідею ноосфери, усі вчені досягли єдності в головному: у тому вигляді, в якому ця ідея була подана і обгрунтована півстоліття тому, без урахування величезних змін, що відбулися за цей період і в біосфері (природі), і в техносфері, вона не може слугувати базою для розробки шляхів виходу нашої цивілізації з глобальної екологічної кризи та розбудови у перспективі еколого-економічно збалансованого суспільства. Потрібні нові підходи, нове бачення біосферно-техносферних процесів і взаємозв'язків, нові форми поведінки людини в довкіллі, сформовані на засадах нової — екологічної — культури. Інакше розвиток глобальної екологічної кризи призведе до загибелі нашої цивілізації (у віддаленій перспективі) та дуже серйозного погіршення й ускладнення життєвих умов найближчим часом.

Варто навести деякі "сценарії" нашого майбутнього, передбачені не письменниками-футурологами, а вченими. Так, В.Зубаков (1995) змалював якщо не катастрофу, то досить похмуру картину майбутнього людства. Вчений вважає, що в епоху "ноосфери", коли біосфера буде сильно деградована і витіснена техносферою, людина як біологічний вид існувати не зможе. На зміну їй має прийти своєрідний симбіоз людського інтелекту (мозку) зі штучним біокібернетичним пристроєм, тобто кіборг. Джерелом енергії для таких істот буде не їжа, а безпосередня енергія Сонця, енергія хімічних і ядерних реакцій.

Такі напівлюди-напівроботи не залежатимуть від більшості екологічних чинників — води, їжі, повітря (їх якості й кількості), температурних коливань і зможуть функціонувати в надзвичайно забруднених умовах довкілля і на суші, і під водою, і в космічному просторі.

На перших етапах розвитку такої техносфери кіборгам потрібен буде мозок звичайних людей для донорства, тому в цей період необхідно буде створити екологічно чисті території (резервати) для вирощування нормальних здорових людей. У далекому майбутньому необхідно буде замінити людський розум, який помирає, як і будь-яка біологічна структура, на безсмертний штучний інтелект. Такий інтелект, на думку В.Зубакова, здатен заповнити весь мега-Всесвіт. Максимальна концентрація інформації та енергії в мега-Всесвіті викличе мегаентропійний колапс, який є необхідним, щоб увійти в контакт з іншим мега-Всесвітом. Якщо дух — це інформація, то він є вічним, як і матеріальний світ.

В.Зубаков розглядає два альтернативні сценарії майбутнього людства. Перший — песимістичний, за яким людство не зможе стримати розвиток глобальної екологічної кризи і через 30—40 років (у першій третині XXI ст.) розпочнеться активна деградація, вимирання людства, наступ техносфери.

За другим сценарієм у межах цього часу (20—30 років) людство або істотно загальмує, уповільнить розвиток глобальної екологічної кризи, або навіть зможе її подолати. Для цього необхідно здійснити політичне об'єднання людства, контроль кількості населення, повну екологізацію виробництва та реалізацію перемоги соціальної справедливості. Передбачається, що за таких умов можливий перехід до ноосфери, але обов'язково — через тотальний розвиток екологічного мислення й свідомості, в основі яких має бути органічне злиття людства з біосферою. Як бачимо, побудова такого єдиного і благополучного суспільства, як зазначає К.Петров, радше є утопією.

Вважаємо за потрібне навести також доволі песимістичні міркування про ноосферу ще одного фахівця — відомого українського вченого-біолога В.Межжеріна. В.Межжерін описує двоякість уявлень про ноосферу і характеризує ноосферу як

нову релігію. У результаті складного й глибокого аналізу величезної кількості наукової літератури вчений стверджує: *"Сила цивилизации и разум ноосферы — вещи несовместимые! На базе существующей действительности ноосфера не может сформироваться. Главным результатом мыслительной деятельности становится не процесс познания объективно действующих законов, а творение собственных миров, представляющих собой утопии. Цивилизованный человек порывает с подлинным Миром. Между ними возникает конфликт, который разрешится одним-единственным способом — гибелью цивилизации. При этом главной причиной, по которой это происходит, является потеря разума. Потеря разума и формирование ноосферы — сферы разума остаются явлениями несовместимыми. Из того, что отсутствует, нельзя что-либо воздвигнуть. Более того, ноосферу не строят, она приходит сама как природное явление. Для того, чтобы это произошло, Природа расчищает себе дорогу. Она забирает разум у человека и его же руками уничтожает цивилизацию, обеспечивает возврат к действительному миру, в основе которого лежат вечные и неизменные законы, отображающие господствующий в природе порядок и разум".*

Яскравим прикладом неспроможності людини найближчим часом керувати біосферними процесами навіть на обмеженому локальному, спеціально облаштованому просторі можуть бути кілька грандіозних експериментів, виконаних американцями ("Біосфера-II") і росіянами ("Біос-3"), на які покладалися великі надії.

Останнім часом для вивчення ноосферної стадії розвитку біосфери почали використовувати математичне моделювання комплексу біохімічних і біофізичних процесів, що відбуваються в біосфері, проводити складні експерименти з метою створення нормальних для людини життєвих умов у замкнених, ізольованих від зовнішнього світу системах.

Експериментатори прагнули показати, що за допомогою найсучасніших технічних засобів можна ізолюватися від світу в штучних резерваціях, створити там міні-біосфери з необхідною для життя кількістю екосистем, рослин і тварин. Набутий досвід мав бути використаний для створення можливостей тривалого перебування на космічних станціях та інших планетах.

Метою американського проекту "Біосфера-II" (автор — Дж.Аллен, екотехнік, спеціаліст у галузі системного управління, з когорти так званих "антифіналістів", переконаних у практичному безсмерті людства всупереч усім небезпекам, що наближаються, зокрема й глобальній екологічній кризі), який був розпочатий 26.09.1991 р. і тривав до 1995 р., було, як пише Дж.Аллен, прагнення допомогти нашій біосфері приступити до освоєння придатних для життя місць спочатку в межах Сонячної системи, потім — нашої Галактики і, нарешті, в усьому Всесвіті. Він, як і інші розробники проекту, вважає, що створення експериментальних біосфер у масштабі, який дозволяє і передбачає безпосередню участь групи людей в усіх біосферних процесах, дасть змогу в стислі терміни проникнути в сутність дій механізмів Біосфери-I (екосфери нашої планети), включаючи притаманний їй дивовижно спрямований, циклічний і спіралеподібний характер розвитку часу, простору, маси, енергії, різноманітності та мінливості. Набутий на експериментальних біосферах досвід має допомогти у створенні біосферних систем, які здатні до самозабезпечення, самоочищення, саморегуляції у замкнутому просторі на космічних станціях довготривалої дії.

Американська "Біосфера-II" або, як її відразу ж охрестили журналісти-гумористи, "мильна бульбашка", була вибудована в штаті Аризона, неподалік від м.Оракл; будівництво тривало близько 7 років, коштувало понад 150 млн доларів США. Спроектував цей сучасний "Ноїв ковчег" американець П.Солері, а кошти дав мільярдер Е.Баас. Об'єм штучної біосфери становив 204 тис. м^3, площа — як три футбольних поля, висота — 26 м. Вона була практично повністю герметизована (витікання повітря

крізь мікротріщини і мікропори в конструкціях — 1% за рік). Крізь скляний куполнапівсферу проникало лише сонячне проміння. Внутрішня екосистема була спланована і реалізована так, щоб десятиріччями забезпечувати вісьмох біонавтів повітрям, водою, їжею, цілком переробляти всі відходи. "Біосфера-II" була забезпечена двостороннім комп'ютерним зв'язком із зовнішнім світом і електроенергією. Всередині "бульбашки" було розміщено п'ять ландшафтів — типових для регіону середовищ існування: ділянка вічнозеленого тропічного лісу, маленька пустеля, савана, болото, невеличке "море" завглибшки 8 м із справжнім кораловим рифом, а також аграрний сектор і відсік для мешкання біонавтів. Четверо жінок і четверо чоловіків, які пройшли спеціальну підготовку, мали впродовж перших двох років виконувати грандіозний експеримент — ізольовано від світу жити, інтенсивно працювати, виконувати наукові дослідження, використовуючи біологічні ресурси, які самі вирощуватимуть усередині "Біосфери-II". Вони мали зібрати унікальні дані про функціонування п'яти екосистем із метою їх подальшого використання при створенні колоній на інших планетах (спочатку на Марсі). Планувалося створення штучної екосистеми, здатної довго і нормально функціонувати під керівництвом людини з використанням найсучасніших технологій. Кількість живих істот у цій екосистемі становила 3800, у тому числі 300 видів вищих рослин (із них 35 видів злаків і бобових), напівмавпа галаго, панцирна черепаха, ящірки, жаби. Їх ретельно добирали відомі вчені, спеціалісти-біологи, екологи, ботаніки і зоологи з усього світу з таким розрахунком, що після неминучої загибелі з часом певної кількості рослин і тварин (від чверті до половини) ті, що залишаться, зможуть підтримувати екологічну рівновагу в "Біосфері-II".

Площа сільгоспугідь становила близько 20 соток, на ній вирощували рис, картоплю, пшеницю, суниці, боби, папайю та ін. Яйця, м'ясо, молоко постачали кури, кілька кіз і в'єтнамських свиней. У рисових чеках планувалося вирощувати рибу тиляпію, дуже цінну з екологічного погляду. У житловому відсіку крім кают і лабораторій був розміщений комп'ютерний центр, з якого за допомогою 2500 датчиків постійно велися спостереження за температурою та хімічним складом повітря, води, ґрунту.

Надзвичайно цікавий і важливий з усіх поглядів експеримент завершити, згідно з наміченою програмою, на жаль, не вдалося. Ціла низка проблем виникла відразу ж після початку експерименту, наприкінці 1991 — на початку 1992 р. Продовжувалося їх виникнення і під час роботи другої зміни біонавтів у 1994 р. Із тієї невеликої кількості наукових публікацій, які вдалося дістати й проаналізувати, можна зробити висновки про згадані проблеми і труднощі, які свідчать, що ми ще дуже далекі від того, щоб керувати біосферними процесами, ми ще надто мало знаємо про них.

За фахом перші біонавти були біологами, медиками, фізиками-комп'ютерниками, психологами, механіками.

Найбільше клопоту від самого початку завдавала адаптація ледь не кожного з видів рослин чи тварин. Бджіл, яких взяли в "Біосферу-II" для запилювання рослин, довелося замінити (після дуже складних пошуків) одним з видів колібрі. Через невідомий оптичний ефект чи з інших причин бджоли весь час розбивалися об скло. Усі перші біонавти за час ізоляції значно втратили у вазі. Із запланованої кількості необхідних продуктів вдавалося вирощувати лише 80—85%.

Посіяні трави і чагарники захоплювали територію, виділену під пустелю, бо штучний клімат весь час був дещо перезволожений, а тропічний ліс розрісся вдвічі. Злак Coix lacyma, який у природних умовах має зазвичай висоту не більш як 60 см, тут досяг 4-х метрів.

Різко зменшилася кількість планктону в штучному морі і повимирали корали, для яких він є їжею.

Однак найголовніше — це поступове зменшення в "Біосфері-II" концентрації кисню (з 21 до 16% і менше) і збільшення — вуглекислого газу. Ті рослини, що мали очищати повітря, дуже швидко втрачали ці властивості в створених умовах через якісь невідомі вченим причини. В результаті формувався хімічний склад повітря, непридатний для життя людей і тварин. Крім того, вийшло з-під контролю регулювання чисельності деяких комах, надзвичайно сильно розмножилися ґрунтові бактерії. Постало питання про заміну близько 30 тис. т ґрунтів ґрунтами дещо іншого складу, збіднених на поживні речовини. Стабілізувати екологічні умови, привівши їх до запланованих показників за допомогою найсучаснішого обладнання (суперкомп'ютеризовані системи вимірювання показників головних екологічних чинників, автоматизований контроль і регулювання температури, вологості, тиску тощо, використання спеціальних технологій вирощування рослин і тварин, формування спеціальних, найбільш придатних для умов Аризони біонів тощо) так і не вдалося. Хоча, без сумніву, цей експеримент дав екологічній науці велику кількість важливих результатів, які важко переоцінити.

Це — перша серйозна спроба досягти гармонії у стосунках техносфери і біосфери, спроба використання художнього конструювання з метою допомоги біосфері у створенні оптимальних умов підтримання життєдіяльності її біомних екосистем, досягнення оптимального для конкретних умов біорозмаїття. Якщо в "Біосфері-I" відбувається постійне експоненційне зростання населення і кількості промислових підприємств, то в "Біосфері-II" все було розраховано на постійне проживання 10 осіб, з яких 8 зайняті трудовою діяльністю, а виробничі й лабораторні території чітко обмежені, отже, розширення техносфери не передбачене, а розширення біосфери передбачене в невеликих межах.

Істотною особливістю "Біосфери-II" було те, що її "океан" і "суша" мали співвідношення 8:92, а не 70:30, як у "Біосфері-I". При цьому "Біосфера-II" випереджала "Біосферу-I" за середньою продуктивністю суші в 64 рази (порівняно з продуктивністю тропіків). Важливим є той факт, що співвідношення між живою біомасою і загальною кількістю вуглекислого газу в "Біосфері-II" майже в 6000 разів більше, ніж у "Біосфері-I". Це мало призвести до більшої різниці в швидкості колообігу вуглекислого газу, яка в "Біосфері-I" становить 8 років, а в "Біосфері-II" — всього 12 годин.

Значно полегшили розробку проекту "Біосфера-II" результати дещо подібного, але суттєво скромнішого експерименту "Біос-3", проведеного в 1984 р. радянськими вченими, які з 1960-х років проводили досліди на виживання у "зорельотах", використовуючи земні міні-біосфери. Тоді двоє біонавтів провели в ізоляції 5 місяців, що дало можливість отримати дуже цінні дані про умови адаптації. Біонавти вирощували у своїй сфері пшеницю і після закінчення експерименту вийшли назовні із свіжоспеченим з цієї пшениці хлібом. "Біос-3" поступався американській "Біосфері-II" в 700 разів за об'ємом (близько 300 м^3) і був сконструйований в Інституті біофізики Сибірського відділення Російської академії наук.

Незважаючи на численні проблеми й труднощі, що виникали під час проведення згаданих вище ноосферних експериментів, вони мають дуже велике наукове і практичне значення для планування й здійснення довготривалих космічних польотів на базі ноосферного підходу. Набутий досвід слід використати також для послаблення техногенного навантаження на "Біосферу-I", стимулювання раціонального природокористування. Ці штучні екосистеми — перші моделі ноосфери, які дають можливість не лише глибше, детальніше вивчати складні біохімічні, біофізичні та інші природні процеси в "Біосфері-I" (отримані результати, а також зразки ґрунтів, води, крові, повітря, рослини тощо будуть ще вивчатися багатьма висококваліфікованими вченими США і світу), а й взагалі стимулюють людський розум на пошуки оптимальних рішень проблеми виживання у майбутньому.

Нині ж можна стверджувати лише про особливий розвиток нової доби цивілізації, коли реальність змусила людство активно шукати вихід із викликаної ним глобальної екологічної кризи, яка грізно наступає, шукати можливості зберегти біосферу і нормальні умови життя на Землі для майбутніх поколінь, будувати концепції і теорії виживання, моделювати ситуації і сценарії майбутнього. І робити це на основі ідеї екологізації людської діяльності, пошуків розумного співіснування техносфери й біосфери, врахування екологічних законів, законів розвитку Природи.

Потужний вплив суспільства на довкілля (освоєння все нових територій і акваторій, розширення і поглиблення природокористування, активне наближення часу виснаження майже всіх невідновних мінеральних ресурсів, демографічні проблеми, накопичення в довкіллі відходів людської діяльності, з якими ні біосфера, ні сама людина вже не справляються) ***свідчить про витискання біосфери техносферою.*** Нині вже немає жодних сумнівів стосовно того, що продовження тих економічних, демографічних, соціально-географічних, екологічних і політичних тенденцій, які склалися у світі на кінець XX ст., неминуче веде до утворення глобальних умов, за яких людство загине. Тому немає ніяких сумнівів і в тому, що ***необхідна докорінна зміна способу життя***, необхідний перехід на нові шляхи розвитку цивілізації. І серед багатьох варіантів моделей функціонування майбутнього суспільства ***перевага надається*** не технократичним, а ***екологічним підходам***, глибокій біологізації й екологізації сільськогосподарського виробництва та засобів утилізації промислових, енергетичних і транспортних відходів у короткі історичні терміни. Більшість учених вважає, що процес має включати як зміну світової економічної стратегії, господарських і технологічних заходів, так і глибоку переоцінку людських цінностей, встановлення нових норм поведінки людей, формування нової ідеології і філософії життя. За нової доби (за П.Олдаком, 1995) духовні цінності повинні брати гору над матеріальними, а суверенітет природи (збереження здорових умов життя для необмеженої низки наступних поколінь) має бути вищим від суверенітету суспільства (інтересів сучасного покоління).

Усі дослідники одностайні в наступному: **необхідно різко знизити навантаження на біосферу, змінивши концепцію необмеженого споживання** "дарів природи" (яка була стратегією методології економічного мислення впродовж багатьох десятків років) **на концепцію екологізації людської діяльності.**

Протягом десяти останніх років вчені в різних країнах світу розробили численні концепції розвитку людства у майбутньому столітті, які тією чи іншою мірою зменшують техногенний тиск на біосферу, але кардинально проблему не вирішують. У більшості з цих концепцій основна увага приділяється технічним засобам подолання екологічної кризи, інші акцентують увагу на соціально-екологічних, природно-біосферних або космічно-геологічних чинниках.

Нижче наведено стислий критичний огляд відомих фахівцям стратегічних розробок щодо виживання людства у XXI ст., з викладом основних положень авторів.

Група вчених з Інституту біофізики Сибірського відділення наук РАН (І.Гітельзон, С.Барцев, В.Охонін, В.Суховольський, Р.Хлєбопрос, 1997), спираючись на результати глибокого наукового аналізу програмних матеріалів міжнародного екологічного форуму в Ріо-де-Жанейро (1992), а також на дані експериментів виживання людини в невеликих замкнених штучних екологічних системах, розробила і запропонувала фахівцям — науковцям і політикам — свій ***варіант симбіотичного шляху розвитку людства***, відкидаючи ідеї сталого розвитку.

Зазначаючи, що сьогодення — це клубок дуже складних і тісно переплетених економічних, екологічних і соціально-політичних проблем, вчені стверджують, що ми й досі не маємо багатьох важливих точних даних про специфіку природних процесів у біосфері, якими ми могли б управляти, або принаймні якось "підправляти" їх.

Остаточно не зрозумілі причини збільшення "озонових дір", наслідки зміни складу атмосфери, неясною є стратегія переходу від одного типу природокористування до іншого тощо. Ще недостатньо кількісно обґрунтовані варіанти розвитку на підставі жорстких обмежень ресурсоспоживання та розподілу ресурсів між розвиненими країнами і тими, що розвиваються.

Розробники симбіотичного шляху розвитку, використовуючи історичний досвід людства, починаючи від давнини (Єгипет, Месопотамія, аграрії Колхіди, Ізраїлю, досліди В.Докучаєва), закінчуючи сьогоденням (Нідерланди) і спираючись на сучасні досягнення та можливості науки і техніки (збагачення, відродження малоцінних земель за допомогою новітніх технологій — меліорації, рекультивацій тощо) пропонують вирішити проблему біоресурсів і зменшення техногенного тиску на біосферу за рахунок конструювання складних симбіотичних систем. На думку цих учених, досвід створення замкнених систем життєзабезпечення показує, що не варто надто драматизувати глобальні проблеми забезпечення людства харчовими продуктами: за всіма оцінками, якщо ефективно і правильно організувати господарство, віддати всю землю під сільгоспугіддя, ввести краплинний полив у маловодних місцевостях тощо, то на Землі може вижити майже 50 мільярдів людей, хоча краще до такої межі не доходити.

Учені намагаються довести (на нашу думку — досить переконливо й обґрунтовано), що зростання народонаселення ніякої загрози глобальній екологічній рівновазі начебто не становить: якщо країна повністю забезпечує себе продуктами, то скільки в ній живе населення, нікого не стосується, бо під час обробки сільгоспугідь виробляється саме стільки кисню, скільки потім витрачається на дихання жителями.

На їхню думку, розробка високоекологічних технологій виробництва та значне їх поширення в країнах третього світу не погіршить екологічної ситуації на планеті. Небезпеку використання країнами третього світу неекологічних технологій варто розглядати як допоміжний стимул до глобальної конверсії технологій, а не як привід для зниження чисельності населення у цих країнах. Однак виникає інша проблема — у найближчі десятиліття люди мають відмовитися від використання викопного палива і перейти на нові джерела енергії (більш екологічні, технічно доступні для використання і достатні для забезпечення розвитку економіки майбутнього). Необхідно переходити від короткотермінових до довготермінових орієнтирів у політиці як окремих країн, так і в геополітиці глобального масштабу. При цьому необхідно враховувати той факт, що сталий розвиток, зорієнтований на ресурсозбереження і обмеження ресурсокористування, неодмінно призведе до непорозумінь і суперечностей між окремими країнами.

У разі прийняття симбіотичної ідеології країни-лідери у технологічному відношенні мають зкооперуватися і узяти на себе відповідальність за зменшення глобального розбалансування біосфери та розвиток на планеті симбіотичних еколого-економічних систем.

На наш погляд, симбіотичний шлях розвитку лише частково розв'яже проблему, головну увагу приділяючи виснаженню ресурсів і не розглядаючи, з виконанням відповідних розрахунків, цілу низку інших проблем: біорозмаїття, демографії, технології очищення біосфери від відходів, шляхи екологізації економіки тощо.

Досить критично оцінюючи стратегію сталого розвитку, основні принципи якої викладені у Звіті Міжнародної Комісії з охорони навколишнього середовища і ресурсів та у матеріалах конференції в Ріо, Т.Акимова і В.Хаскін (1994, 1998) пропонують свої принципи екологічного розвитку. Вони аргументовано засвідчують, спираючись на серйозні аналітичні дані 1992—1998 рр., що концепція сталого розвитку намагається примирити непримиренне: зберегти цивілізацію споживання і гіперспоживання і при цьому вирішити завдання збереження природи у межах цивілізації, яка знищує цю природу. У концепції, що виглядає як пропагандистська і безпорадна спроба

зробити всіх здоровими і багатими та обійти закон "на всіх не вистачить", не йдеться про спробу бодай частково припинити економічну гонитву й хижацьке ресурсоспоживання. У концепції чітко проглядається слабко завуальоване бажання багатих країн і верств населення стримати намагання бідних підвищити свій добробут, а також соціально-політична дискримінація.

Базові принципи екорозвитку Т.Акимової і В.Хаскіна, спрямовані на розв'язання практичних завдань ***на національному і регіональному рівнях:***

1. Регіональні і локальні завдання екорозвитку мають підпорядковуватися глобальним і національним цілям відвернення екологічної кризи і оптимізації середовища існування ("мислити — глобально, діяти — локально"). Уповільнити тенденцію розростання глобальної екологічної кризи можна лише ***шляхом постіндустріальної цивілізації*** — заміни світу ресурсоємного, метано-нафтового, машинно-технологічного світом наукоємним, інформаційним, біотехнологічним. Із цим мусить бути пов'язана глибока якісна зміна виробництва, соціально-психологічна трансформація суспільства споживання, зміна стереотипу цінностей, гуманізація економіки, трансформація світогляду.
2. Регіональний екорозвиток включає функцію раннього попередження несприятливих екологічних тенденцій або передбачає гарантії їх мінімізації. Незнання наслідків не звільняє суспільство від відповідальності за деструкцію довкілля.
3. Зростання техногенного тиску і збільшення залежності здоров'я людей від стану довкілля вже сьогодні вимагає прискореного підвищення точності екологічних прогнозів на віддалену перспективу і визначення того рівня регламентації несприятливих техногенних впливів, який гарантує значний "запас міцності" для реципієнтів навіть при значно більших і триваліших слідових ефектах, ніж реально зареєстровані за відсутності регламентації. У класичній екології такої теорії випереджувальної оцінки немає. Але близький до цього підхід існує у радіаційній генетиці (Н.Тимофєєв-Ресовський, 1968). А.Сахаров це використав як аргумент неприпустимості суперпотужного термоядерного вибуху (1962). Такий підхід слід було давно використати для оцінки віддалених наслідків впливу мутагенних і тератогенних чинників забруднення довкілля в мегаполісах і великих промислових центрах. Регламентація техногенних потоків на основі врахування віддалених генетичних наслідків має велике принципове значення і не обмежується лише медико-біологічними аспектами, зачіпаючи усі аспекти людської діяльності.
4. Цілі екорозвитку первинні стосовно цілей економічного розвитку (принцип екологічного імперативу).

   Економічна система, яка розглядає необмежене зростання як прогрес, але не враховує екологічні цінності та збитки від невпинного зростання виробництва, не має права на існування. Прийняттю і реалізації цього принципу заважає укорінене уявлення про те, що швидкий економічний виграш виправдовує невизначені і розтягнуті в часі майбутні екологічні втрати.
5. Розміщення і розвиток матеріального виробництва на певній території мають здійснюватися згідно з її екологічною техноємністю (принцип еколого-економічної збалансованості).

   Вилучення місцевих природних ресурсів не має перевищувати швидкості їх відтворення або природного імпорту в екосистему, а надходження забруднень — швидкості їх нейтралізації шляхом розсіювання, виносу, асиміляції, іммобілізації (тобто самоочищення). Порушення принципу збалансованого природокористування рано чи пізно неодмінно призведе не тільки до екологічних, а й до економічних витрат.

Автори розробили відповідні підходи до кількісних оцінок і аналізу еколого-економічних систем.

6. Екологічна безпека суспільства тісно пов'язана з рівнем культури, освіти і вихованості людей у цьому суспільстві.

Автори пропонують таке рівняння для визначення ступеню врахування майбутнього у сучасній поведінці індивіда чи держави:

$$F = \frac{i\,R\,P}{T},$$

де F — коефіцієнт майбутнього; *i* — індекс цивілізованості (рівень культури, освіти, виховання); R — ступінь ризику, імовірність негативних наслідків; P — інтенсивність наслідків; T — час, імовірна віддаленість наслідків.

Індекс цивілізованості має ключове значення, від нього залежить ще один параметр, не вказаний у рівнянні — ступінь добробуту, задоволеність дійсністю. При високому його значенні добробут в теперішній час стає в числівник, при низькому *i* — у знаменник. При низькому рівні культури рівняння зводиться до співвідношення зажерливості і страху.

Коефіцієнт майбутнього повинен мати велике значення в екологічній політиці й стратегії природокористування.

Висновки Т.Акимової і В.Хаскіна здебільшого збігаються з висновками авторів багатьох інших концепцій і стратегій сталого розвитку (головна радикальна зміна пріоритетів у розвитку людства і побудова нової моделі цивілізації з новою економіко-політичною стратегією).

Головним недоліком їхньої концепції є ігнорування природних екосистем, відсутність розгляду особливостей їх життєвоважливих процесів у взаємозв'язку з динамікою техногенних навантажень. Питання об'єктивної й ефективної оцінки несучої ємності екосистем, кількісно розрахованого допустимого господарського навантаження на екосистеми, яке може витримати і переносити впродовж тривалого часу сукупність реципієнтів і екологічних систем території без порушення їх структурних і функціональних особливостей, залишається нерозв'язаним.

Проаналізувавши різні наукові розробки в галузі еволюції біосфери за умов техногенного тиску, К.Петров (1998) об'єднав їх за специфікою висновків у кілька "тез" і "антитез". У "тезах" він наводить думки вчених, які стали широко відомими, суттєво обґрунтовані і завоювали популярність, а в "антитезах" висловлює думки, які необхідно обґрунтувати, довести.

Основні положення тез: антропогенний вплив на біосферу призведе до глобальної екологічної катастрофи, може загинути все живе на Землі; антропогенний тиск охоплює всю біосферу і формує якісно нові чинники впливу на біоту; завершальною фазою біогеоценотичних сукцесій є клімаксові угруповання — цілісні і найбільш поєднані з довкіллям; перебіг еволюції закономірно спрямований у бік цефалізації, людина розумна має главенствувати у біосфері. З матеріалів, наведених в "антитезах", видно, що й досі існує певна кількість вчених, які переконані, що людству глобальна екологічна катастрофа не загрожує. Так, Ю.Селівестров (1994) стверджує, що "теза" про глобальну екологічну катастрофу, пов'язану з антропогенним впливом і загибеллю всього живого на Землі, не є істиною. За нинішніх космічних передумов у живій речовині біосфери закладені величезні резерви для самовідновлення і саморозвитку. Що ж стосується людей, то тут діють різноманітні чинники, елімінуючі їх чисельність. Важливо домогтися, щоб цей процес здійснювався гуманними засобами і керуючись інтересами сталого розвитку.

Деякі вчені (І.Шварц та ін., 1993) намагаються довести, що атропогенний вплив на біосферу виявляється перш за все на регіональному і локальному рівнях, а в глобальному масштабі суттєвої екологічної шкоди не завдає. "За законом зворотного зв'язку неконтрольоване зростання населення, виснаження природних ресурсів, передусім їжі, мають призвести до елімінації чисельності людей. Необхідно передбачати, що екологічні потрясіння і пов'язана з ними загибель людей відбуватимуться, перш за все, на "місцевому ґрунті". Сталий розвиток може бути досягнений лише шляхом розв'язання регіональних і локальних екологічних конфліктів".

Ще одна група вчених (Ф.Клементс, В.Сукачов, В.Василевич, В.Залєтаєв та ін.) стверджує, що стійкість біологічних угруповань, біоценозів підтримується за умов постійного порушення їх цілісності: "збереження стабільного стану угруповань завдяки постійним слабким порушенням. Стабільні клімаксові угруповання в природних умовах насправді являють собою мозаїку плям із порушеним рослинним покривом... В основі стійкості біосфери лежить зовсім не законсервованість екосистем, а їх здатність реагувати на екологічну дестабілізацію динамічними сукцесіями..." Вважаємо тут за потрібне зауважити: залежно від того, який рівень екологічної дестабілізації має місце і за який період вона настає. Якщо дестабілізація настає швидко й екологічні чинники наближаються до порогових, то годі казати про динамічну сукцесію.

Деякі вчені (Р.Баландін та ін.) стверджують, що Homo sapiens не належить керівна роль у біосфері, що людина розумна — це сліпа гілка еволюції, що в біосфері існують групи організмів, наділені потенційною можливістю мутагенного вибуху і народження нових видів, здатні протистояти екологічним стресам як природного, так і техногенного походження (бактерії, лишайники, гриби, членистоногі), і поведінка яких регулюється не вищою нервовою діяльністю, а складною системою інстинктів. Від рівня знання умов функціонування і всіх особливостей цих груп організмів, засобів боротьби й співіснування з ними залежить доля розбудови майбутнього суспільства.

На думку К.Петрова, нормальне функціонування і здатність до самовідновлення ландшафтів, які сьогодні перебувають у стані активної ***екологічної дестабілізації****, можливі лише за умов збереження біотичної структури зональних типів природних екосистем.

Функції живої речовини визначають інтенсивність біогеохімічних колообігів, біологічну продуктивність екосистеми, загальні запаси органіки у ландшафті. Кількість і форма цих запасів, особливості колообігів впливають на напрям господарської діяльності, а остання, своєю чергою, впливає на перебіг названих процесів у ландшафті.

5.3 Екологічний виклик і сталий розвиток

У 2000 р. вийшла друком надзвичайно цікава і ґрунтовна робота відомих російських вчених-екологів В.Данилова-Данильяна і К.Лосєва "Экологический вызов и устойчивое развитие", в якій проаналізовано і узагальнено сучасні уявлення про гармонійний розвиток, але в значно ширшому плані, більш глибоко, з використанням

---

* Екологічна дестабілізація — змінене людською діяльністю географічне середовище, яке й надалі змінюється і для якого є типовим новий характер динамізму, аномально швидкий розвиток як процесу деструкції екосистем, так і одночасно новоутворень, екологічних феноменів формування нових механізмів самоорганізації екосистем. Найважливіша властивість екологічно дестабілізованого середовища (В.Залєтаєв, 1989) — виникнення роздрібненої екологічної диференційованості і контрастності біогеоценотичного покриву, та разом із тим посилення екологічної зв'язковості різнорідних територій на основі суттєво збільшеного транспорту речовини і розселення організмів.

величезного обсягу найсучасніших екологічних і соціально-економічних матеріалів, найбільш науково-обґрунтованих в екологічному, економічному, соціальному, демографічному, науково-технічному, етичному і філософсько-методологічному аспектах. У книжці не тільки глибоко обґрунтовані найсучасніші підходи до розв'язання проблеми гармонійного розвитку людства у майбутньому столітті, а й наведені найбільш переконливі й аргументовані критичні зауваження щодо сучасних вітчизняних і зарубіжних проектів еколого-безпечного розвитку людства у XXI ст., представлена розроблена авторами **концепція біотичної регуляції навколишнього середовища.** Ми вважаємо, що ***за умов сьогодення вона є найбільш всеобічно обґрунтованою і можливою для реалізації в разі доповнень і вдосконалень,*** хоча це, мабуть, може розбігатися з думкою окремих фахівців.

Нижче наведено найголовніші міркування і висновки з цієї роботи як щодо концепцій, які ми розглядали вище, так і щодо концепції біотичної регуляції навколишнього середовища.

Одним із важливих міжнародних документів, де розглядаються еколого-економічні проблеми людства і наводяться пропозиції щодо їх розв'язання, є "Порядок денний на XXI століття", ухвалений на Міжнародному екологічному форумі в Ріо у 1992 р. Цей документ — Концепція сталого розвитку (Sustainable Development), висунута Комісією з охорони навколишнього середовища і ресурсів ООН — включає понад 100 програм, які охоплюють надзвичайно широке коло проблем — від подолання злиднів до підсилення ролі громадськості у розв'язанні екологічних негараздів. Але при цьому багато дуже важливих проблем у згаданому документі або взагалі не розглядалися, або згадувалися фрагментарно: демографічні проблеми, структура споживання, борги країн, що розвиваються, військові витрати і блоки та їх роль в еколого-економічно збалансованому розвитку, експорт небезпечних відходів, співіснування релігій як чинник стабілізації та ін. Як зауважують і російські, і американські дослідники (К.Кондратьев, Д.Дейлі та ін. 1993, 1996), у документі використано чимало застарілих догм, які самі собою містять загрозу для людства. Час, який пройшов з моменту появи документа, засвідчує, що жодної мети, поставленої в ньому, не досягнуто. Навпаки, триває активне загальне погіршення екологічних ситуацій на континентах і в Світовому океані, стрімко зростає розрив між багатими і бідними країнами і людьми, збільшується кількість як природних, так і техногенних катастроф, військових конфліктів тощо. Виявилося, що людство найближчим часом не в змозі відмовитися від нарощування матеріальних благ, ***іде глобалізація способу життя і стереотипу поведінки, які не сумісні зі сталим розвитком.*** За цей період виникла нова глобальна загроза — можливість використання INTERNET людьми й організаціями для здійснення актів і акцій, які матимуть для людства дуже важкі негативні наслідки економічного, екологічного і соціального характеру.

Документи КОСР-2 (Міжнародна Комісія охорони навколишнього середовища і розвитку), декларуючи необхідність збереження довкілля, не пропонують нових ефективних шляхів виходу з глобальної екологічної кризи, залишаючись у рамках старої парадигми економічного зростання.

Незважаючи на те, що концепція сталого розвитку є нині єдиним найбільш визнаним і головним інструментом глобальної екологічної політики, через згадані вище факти й інші причини дедалі більше вчених ставляться до неї досить критично і навіть негативно. Академік М.Моісєєв вважає, що розраховувати тільки на техніко-технологічні чинники розв'язання проблеми безперспективно. За сучасних умов вирішення глобальних екологічних проблем навряд чи можливе, бо прірва між державами, як свідчать останні факти і події, збільшується. У розвинених країнах капітали невпинно концентруються, вони багатіють, натомість інші бідніють і слабшають через необхідність

боротьби із щоразу новими внутрішніми і зовнішніми кризовими явищами та процесами. К.Лосєв, В.Горшков, В.Котляков та ін. теж вважають, що в основі стратегії гармонійного розвитку лежить нездійсненна мрія, бо зберегти біосферу і відродити її до необхідного для цивілізації стану вже неможливо через надмірні техногенні деструкції.

А один із лідерів екологічного руху, С.Забєлін, взагалі вважає, що можливість людства прямувати шляхом гармонійного розвитку вже втрачена, а "Порядок денний на XXI століття" — це документ, який містить чимало нереальних надій, міфів і компромісів. Крім того, негативні процеси глобалізації, які сьогодні дуже активно розвиваються за допомогою INTERNET, прискорюють розвиток глобальної еколого-економічної кризи, яку запрогнозувало на перші двадцять п'ять років XXI ст. подружжя Медоузів ще двадцять років тому.

Цікаво, що деякі спеціалісти низку положень "Порядку денного" порівнюють із соціалістичними гаслами, бо в них є багато спільних положень: зниження рівня споживання на користь більшості; планування на довгий період; передбачення міграції нової екологічної свідомості з країни в країну тощо.

Більшість лідерів екологічного руху в Росії і деякі лідери "зелених" в інших країнах вважають, що "Sustainable Development" більшою мірою політичне гасло, ніж ефективна робоча стратегія виживання нашої цивілізації.

Термін "sustainable development" був запропонований у 1981 р. Л.Брауном, а глобальне поширення дістав після публікації доповіді Комісії леді Брундтланд "Наше спільне майбутнє" (членом цієї Комісії був і Л.Браун). Термін виявився напрочуд популярним, бо вперше поєднав проблеми охорони довкілля, стабілізації економіки і добробуту людей. Найбільш точний переклад ***sustainable development*** — не сталий (усталений, стабільний тощо) розвиток, а ***розвиток, який безперервно підтримується.*** Сьогодні існує понад 30 визначень цього поняття, його теоретична база лише формується. На нашу думку, як український варіант доцільніше вживати термін "гармонійний розвиток", ніж "сталий розвиток", що ми намагалися обґрунтувати у вступові.

Програма гармонійного розвитку, оголошена на конференції ООН з питань навколишнього середовища і розвитку в Ріо, містить п'ять основних протиріч, які пропонується вирішувати з використанням різних сценаріїв розвитку (протиріччя між реальним життям і життям у гармонії з природою, між реальним розвитком і довкіллям; протиріччя інтересів сучасного і майбутніх поколінь; між багатими і бідними; внутрішньоекономічні протиріччя).

Відповідно до сучасного екологічного підходу гармонійний розвиток — це такий розвиток, який не виводить глобальну цивілізацію за межі господарської ємності біосфери, не викликає у біосфері процесів руйнування, деградації і виникнення непридатних для життя людини умов.

Вчені-екологи зазначають таке. Реальні екосистеми — це системи, які самопідтримуються. Ці системи розвиваються, але не ростуть. Двигуном розвитку слугує забезпечення регулювання і стабілізації навколишнього середовища, повернення його параметрів у межі стабільності (релангація) після зовнішніх збурень на відрізках часу порядку десятків тисяч років, або перебудова особистої структури з метою підтримки стабільності навколишнього середовища на новому рівні (швидкість еволюції біологічних видів). Швидкість зростання і розвитку людства незрівнянно вища за швидкість розвитку екосистем і біологічної еволюції, що породжує конфлікт людини і природи. Сучасна глобальна соціально-екологічна криза найтіснішим чином пов'язана з духовною кризою людини, і це підтверджується сутністю всіх розроблених західноєвропейських і американських концепцій розвитку.

У стратегії сталого розвитку США з 16 принципів розвитку 7 присвячені економічному зростанню, розвитку й ефективності. Екологічні проблеми, які згадуються в 12 пунктах, зведені до боротьби із забрудненнями, відходами, до локальної очистки довкілля. Протиріччя між екологією та економікою залишаються. Нині всі фахівці знають, що сталий розвиток в окремо взятій країні (а стратегія США це передбачає) абсолютно неможливий. Американці ж планують поширити свій "досвід" на інші країни (навіть на ті, які не мають ні американського багатства, ні могутності, ні технічних можливостей). Між рядками американської стратегії розвитку читається, що весь світ буде охороняти довкілля під керівництвом США для їх економічного процвітання і соціальної справедливості.

Китайський "Порядок денний на XXI ст. — Біла книга Китаю про населення, навколишнє середовище і розвиток Китаю в XXI ст." — стратегія розвитку, побудована на тих самих принципах, що й американська, але з урахуванням місцевих особливостей, стану економіки, історичної специфіки.

Розвинені країни, подібно до США, у своїх програмах сталого розвитку не пропонують нічого нового порівняно з уже чинною в цих країнах економікою — це все той же природовитратний механізм, доповнений інтенсифікацією виробництва, ресурсозбереженням та посиленою боротьбою із забрудненнями довкілля. Кардинально такий підхід проблему виживання людства не розв'язує.

Японія період природоохоронної економіки пройшла у 1970—1980 рр., тому сьогодні серйозніше, ніж інші країни, займається екологічними проблемами: вводить "зелений валовий національний продукт" (для щорічного порівняння економічного зростання з витратами від невідвернених екологічних порушень). Але, знову ж таки, в японській стратегії розвитку не зважають на вплив економіки Японії на глобальну екосистему.

Подібні до японських природоохоронних заходів використовують у Франції та Норвегії. Тобто загалом у своїх реальних програмах розвинені країни тлумачать сталий розвиток як звичайнісінький бізнес, тільки з урахуванням своїх регіональних екологічних проблем, без жорстких екологічних обмежень.

Країни, що розвиваються, пасуть задніх стосовно розвинених країн і намагаються пройти той самий шлях, який пройшли США, Німеччина, Франція, Японія, — шлях сильного виснаження і руйнування природи.

І розвинені країни, і країни, що розвиваються, продовжують жити за інерцією, плануючи своє майбутнє лише з частковим розв'язанням екологічних проблем, як це робилося у 1960-х роках, коли почався поступовий перехід до природоохоронної економіки від економіки тотального знищення природи.

Однією зі стратегій розвитку, яка дещо відрізняється більшою "екологічністю" від перелічених, є **"План дій" "Стійкі Нідерланди"**, розроблений екологами цієї країни. В його основу покладено два принципи: існування меж росту, які визначаються межами допустимого глобального забруднення і витрат відновлюваних та невідновлюваних ресурсів, і ***рівного для всіх країн використання ресурсів на душу населення.*** Нове у стратегії Нідерландів — це спроба визначити межі споживання ресурсів для своєї країни лише за частиною параметрів, а засіб досягнення мети залишається старий — ставка на високі технології. Обґрунтування екологічних наслідків підвищення енерговитрат і інтенсифікації сільського господарства відсутні.

В.Данилов-Данильян і К.Лосєв акцентують увагу на тому, що останнім часом фіксується новий наступ технологічних оптимістів у царині пошуків оптимальних варіантів виживання цивілізації.

Прикладом є остання доповідь Римському клубу "Чинник чотири: подвоєння продукції при використанні половини ресурсів" (Е.Вайцзеккер, Е.Ловінс, Х.Ловінс, 1994). У роботі аналізуються можливості і позитивні економічні наслідки впровадження найновітніх технологій у різних галузях господарства: за розрахунками авторів, це дасть змогу в 4 рази підвищити ефективність використання ресурсів (не видобування, а використання!). Розглядається проблема нової організації ринку нових технологій і нової податкової бази, яка має заохочувати ефективність використання ресурсів. Розглядаються також питання змін клімату, ліквідації відходів, впливу міжнародної торгівлі на довкілля тощо. Але в роботі ***не розглянуто питання руйнування природних екосистем,*** не пов'язується загроза біорозмаїттю з переключенням людиною на себе не належної їй частини енергетичного потоку біосфери, з руйнуванням на суходолі більшої частини природних екосистем і екологічних ніш, видів та ін. Хоча автори наостанок зазначають: "ненаситне споживання може випередити "революцію ефективності", звівши нанівець зусилля людини щодо поліпшення екологічних умов".

Отже, ця стратегія (їй дали назву "неорозкошування") підштовхує людство на шлях господарювання за старими схемами, підвищення рівня споживання у розвинених країнах і в межах іншого світу. Вона зводить проблему сталого розвитку тільки до ресурсозбереження, зменшення забруднення і часткового збереження біорозмаїття. Біосфера як сукупність природних екосистем, частиною якої є цивілізація, виключена з розгляду й аналізу.

Ідею коеволюції М.Моісєєва, яка ставить акцент не на технології, а на гуманістично-філософських аспектах, вчені не підтримують. Вони заперечують характеристику сучасного типу взаємодії цивілізації і біосфери як процесу коеволюції, бо швидкості еволюції природних екосистем і людського суспільства абсолютно незіставні.

В.Данилов-Данильян і К.Лосєв дійшли висновку, що справжньою критичною межею, зімкнення з якою представляє реальну загрозу для людства, є не критичні ресурси надр, запаси прісної води, доступні для використання джерела енергії, а ***господарська ємність біосфери*** (межа її збурення) — гранично допустиме антропогенне навантаження на біосферу, перевищення якого приводить її у стан збурення і, з часом, — до розвитку незворотних деградаційних процесів. На противагу розглянутим вище концепціям розвитку людства вчені наводять свою — ***концепцію біотичної регуляції навколишнього середовища.*** Її сутність полягає у наступному.

Вся сума геологічних, палеонтологічних, палеогеографічних даних свідчить, що біота була потужним чинником формування навколишнього середовища. Киснева атмосфера і ґрунти практично повністю сформовані біотою. Тому швидке руйнування природних екосистем, яке відбувається сьогодні (а екосистеми регулюють і стабілізують навколишнє середовище), без сумніву, призводить до екологічної кризи. Її неодмінним результатом буде різке зменшення населення у найтрагічніших формах.

Щоб цьому запобігти, необхідно зберегти природний біотичний механізм регуляції довкілля, тобто зберегти незміненими людською діяльністю біологічні угруповання, які займають території, достатні для забезпечення регуляції навколишнього середовища у глобальних масштабах.

Як видно з попереднього аналізу "технологічних" концепцій розвитку, принаймні у XXI ст. розв'язання проблеми побудови нового технологічного механізму регуляції навколишнього середовища в глобальних масштабах, здатного цілком замінити природну біотичну регуляцію, є абсолютно нереальним.

Завдяки біотичній регуляції придатне для життя на Землі навколишнє середовище відновлювалося після будь-яких локальних і регіональних катастроф, біотична

регуляція ніколи не переставала діяти в глобальних масштабах. Ця регуляція забезпечується, перш за все, роботою бактерій і грибів, які споживають до 90% енергії, що запасається в органічній речовині, синтезованій рослинами. Дрібні безхребетні споживають ще близько 10%, тобто практично всю залишкову частину потоків енергії. Великі хребетні тварини відповідальні за тонку настройку функціонування угруповань. Хребетні використовують менше, ніж 1% потоку енергії в угрупованні, їхня робота, яка виконується в рамках біотичної регуляції довкілля, становить мізерну частку тієї роботи, що виконується рештою живих істот.

Така мала величина коефіцієнта корисної дії підтримки життя великих тварин, включно з людиною, спостерігається в усіх екосистемах і угрупованнях організмів у біосфері і не є випадковою. При побудові техногенної системи управління довкіллям можна лише сподіватися, що завдяки майбутнім супертехнологіям буде досягнений такий саме коефіцієнт корисної дії підтримки, що сформувався у Природі упродовж мільйонів років.

А це означає, що 99% енергетичної потужності цивілізації і 99% праці самої людини, спрямованої на управління потужністю цивілізації, мають витрачатися на стабілізацію довкілля.

На саму ж людину залишиться менше, ніж 1% від усієї енергії, яку вона створила.

Енергетична потужність механізму стабілізації довкілля (хоч якою б вона була — природно-біотичною або технологічною) не може перевищувати допустиму частку бюджету сонячної енергії. Тому гіпотетична техногенна система регуляції довкілля не зможе перевищити енергетичну потужність природної біоти.

Єдиним засобом збереження придатного для життя людини довкілля в глобальних масштабах є відновлення угруповань природної біоти не в межах мізерних площ заповідників, а на великих територіях земної поверхні. Це вимагає остаточного припинення подальшого освоєння дикої природи і рекультивації значної частини освоєних земель, скорочення загального енергоспоживання, поступового припинення економічного зростання у його фізичних обсягах (перш за все, за рахунок скорочення виробництва непотрібної або шкідливої для довкілля і людини продукції), зменшення чисельності населення до єдино можливого прийнятного рівня на основі планування сім'ї*.

Відновлення природних екосистем в обсязі, який потрібен для повноцінного регулювання навколишнього середовища і збереження цих екосистем на рівні, не нижчому від критичного, — головна мета перехідного періоду до збалансованого екологічно безпечного розвитку.

Цей перехідний період можна назвати трансформаційним, для нього є характерним швидке усвідомлення загроз, пов'язаних із руйнуванням навколишнього середовища, адекватна реакція на соціально-екологічну кризу, швидкий перехід до нового світосприйняття, нової системи цінностей на основі глобальних колективних дій.

Стартові екологічні умови екологічно безпечного збалансованого розвитку з позицій біотичної регуляції навколишнього середовища зовсім не однакові в різних країнах і регіонах. Гірші вони в тих країнах, які майже цілковито зруйнували на своїх територіях природні екосистеми (всі країни Західної, Центральної і Східної Європи, за винятком Норвегії та Ісландії; Європейська частина Росії; США (без Аляски), південна частина Канади, північна частина Мексики; Китай і територія Індостану, Японія). Найкращі стартові екологічні умови збереглися в Росії і Канаді (за винятком

---

* Зауважимо, що ця пропозиція (шлях гармонізації відносин суспільства і природи) вчених, з нашої точки зору, є дещо утопічною. Принаймні її реалізація можлива лише у дуже віддаленій перспективі.

урбанізованих регіонів), а також у таких країнах, як Алжир, Ботсвана, Лесото, Сурінам, Мавританія, Гайана (> 60% територій з непорушеними екосистемами).

Як стверджують економісти, для збереження гідного рівня життя необхідно, щоб приріст валового національного продукту вдвічі перевищував приріст населення.

5.4. Індикатори гармонійного розвитку

При розробленні стратегій (концепцій) екологічно безпечного розвитку надзвичайно важливе значення має ***розроблення показників або індикаторів гармонійного розвитку,*** на підставі яких приймаються важливі рішення в галузі виробництва і природокористування на всіх рівнях діяльності. Комплекс таких індикаторів відіграє провідну роль і в діагностиці системи "природа-господарство-населення", у виконанні еколого-економічних експертиз, аудиту, моделюванні прогнозованих ситуацій і коригуванні існуючих.

❖ **Цікаві факти**

Багато країн, що розвиваються, вже давно зруйнували природні екосистеми на своїх територіях: Бангладеш — знищені остаточно, в Індії залишилось 1%, у Пакистані — 4%, в Таїланді — 7%, у Малайзії — 8%, у Китаї — 20% (і ті пустелі), в Аргентині і Бразилії щорічно вирубують відповідно 1550 і 2323 тис. га лісу, практично не відновлюючи.

У північній півкулі утворилося три великі зони (загальна площа близько 20 млн км²) дестабілізації довкілля: Європейська (вся Європа без північної частини Російської рівнини), де майже цілком зруйновано природні екосистеми; південно-азійська (південна і південно-східна Азія, Китай) — природні екосистеми практично зруйновані повністю; американська (США, південь Канади, частково — Мексика) — природні екосистеми збереглися на 10% території.

Із цих зон у біосферу потрапляє 2/3 промислових відходів світу.

(Арський та ін., 1997)

Розроблення індикаторів сталого розвитку на сучасному етапі перебуває на стадії вдосконалення і ще далеке від завершення, в першу чергу через відсутність необхідної науково-методологічної бази.

На міжнародному рівні зараз розроблено проект із 134 індикаторів сталого розвитку (indicator of Sustainable Development, 1997). Вони поділені на такі групи:

- індикатори соціальних аспектів сталого розвитку;
- індикатори екологічних аспектів сталого розвитку (включно з характеристиками води, землі, атмосфери, інших природних ресурсів, відходів);
- індикатори інституціональних аспектів сталого розвитку (програмування) і планування політики, наукові розробки, міжнародні правові інструменти, інформаційне забезпечення, посилення ролі основних груп населення.

Міжнародні індикатори поділяють на 3 категорії з огляду на цільову спрямованість їх:

- індикатори — рушійна сила, що характеризує людську діяльність, процеси і особливості, що впливають на сталий розвиток;
- індикатори стану (показують існуючий стан різних аспектів сталого розвитку);
- індикатори реагування (дають змогу здійснювати політичний вибір або застосовувати інший засіб реагування для зміни становища, що склалося).

Серед ***індикаторів сталого розвитку*** національного рівня (рівня окремої держави) вирізняють ***три основні групи: економічні, екологічні, соціальні.*** Вони мають бути узгоджені зі стратегічними цілями сталого розвитку країни і розширюватися порівняно з міжнародними індикаторами.

Концептуальною основою індикаторів країн Організації Економічного Співробітництва і Розвитку (ОЕСР) є три чинники, які збігаються з вимогами ООН:

- тиск на навколишнє середовище;
- стан довкілля;
- реалізація — необхідні заходи щодо поліпшення соціально-екологічних умов.

Індикатори повинні включатися й використовуватися для систем національних підрахунків. Національні підрахунки ґрунтуються на незаперечних даних, а екологічні розрахунки вимагають великої кількості оцінок і визначень. В ООН розроблені інтегровані системи розрахунків (еколого-економічних), які можуть слугувати як агреговані інтегратори гармонійного розвитку.

Приклади агрегованих показників:

- індекс людського розвитку (охоплює тривалість життя, очікувану за конкретних умов, грамотність, реальний валовий внутрішній продукт на душу населення); цей індекс ще називають індексом якості життя;
- оцінка матеріальних (фізичних) потоків (сировинних, внутрішніх та зовнішніх);
- споживання енергії або потужності на одиницю території;
- споживання чистої первинної продукції біоти суспільством на конкретній території.

Важливим недоліком існуючих індикаторів сталого розвитку є відсутність пріоритетів, усі вони подаються як рівноправні. Але пріоритетними, **головними індикаторами сталого розвитку мають бути екологічні**. Серед чинних індикаторів суто екологічних, або таких, які можна віднести до екологічних, налічується близько 60%.

Необхідно в кожній із груп індикаторів (екологічних, економічних, соціальних) теж виокремити пріоритетні та менш важливі.

Групи індикаторів екологічних аспектів гармонійного розвитку

Захист якості прісноводних ресурсів і водопостачання.

Захист океанів, усіх видів морів і прибережної зони.

Інтегрований підхід до планування і використання земельних ресурсів.

Поводження з вразливими екосистемами, гармонійний розвиток гірських районів.

Поводження з подразниками екосистем, боротьба зі спустелюванням.

Підтримка гармонійного сільськогосподарського розвитку.

Відвернення обезліснення.

Збереження біологічного розмаїття.

Екологічно безпечне управління біотехнологіями.

Захист атмосфери.

Екологічно безпечне поводження з твердими відходами і розв'язання проблеми комунальних відходів.

Екологічно безпечне поводження з токсичними речовинами.

Екологічно безпечне поводження з небезпечними відходами.

Безпека й екологічно безпечне поводження з радіоактивними відходами.

Теорія біотичної регуляції довкілля закладає наукове підґрунтя для створення системи екологічних індикаторів сталого розвитку, вона вможливлює виокремлення пріоритетних серед них. Вищий пріоритет має належати природним екосистемам: **частка зайнятої ними площі** в загальній території, а також у території, **яку вони повинні зайняти** для забезпечення повноцінної регуляції довкілля і його стабільності; темпи відновлення або скорочення природних екосистем.

Високий пріоритет повинна мати група показників споживання людиною чистої первинної продукції (стан, стосунок до допустимої межі споживання для різних

екосистем (відносної і абсолютної), темпи зміни споживання людиною чистої первинної продукції).

Далі за пріоритетом мають іти індикатори ефективного використання всіх видів ресурсів, зорієнтовані на зниження тиску на природні екосистеми, що збереглися, і навіть цілковите зняття цього тиску.

При розробці економічних індикаторів необхідно зважати на принципову різницю між ресурсними й екологічними кризами. Останні — явище куди небезпечніше. Ресурсну кризу значно простіше можна ліквідувати створенням нових технологій, заміною ресурсу, виключенням технологічного циклу. Екологічна ж криза — це руйнування природного механізму регуляції і стабілізації довкілля.

У майбутньому індикатори гармонійного розвитку та їх системи для національних, регіональних і глобальних цілей мають узгоджуватися на міжнародному рівні і грунтуватися на міжнародних стандартах.

Найважливіша властивість індикаторів — наукова обґрунтованість їх.

В.Данилов-Данильян і К.Лосєв пропонують, спираючись на положення теорії біотичної регуляції навколишнього середовища, послідовно виконати низку принципових завдань, що допоможе перейти Росії до екологічно безпечного, збалансованого розвитку. Ми вважаємо, що ці завдання є найбільш актуальними і прийнятними також і для України як держави з доволі схожою соціально-політичною й еколого-економічною ситуацією. Але, безумовно, використовуючи для України основні концептуальні положення цих учених, ми маємо брати до уваги низку специфічних національних чинників і найбільш досконалі напрацювання вітчизняних учених.

Найперше завдання — допомогти країні вийти з сучасної екологічної кризи, забезпечивши стабілізацію екологічної ситуації, посилити її економічний потенціал, організувати масове підвищення екологічної культури і свідомості.

Наступне — досягти докорінного поліпшення стану довкілля за рахунок екологізації економічної діяльності в межах інституціональних і структурних перетворень, що дають змогу забезпечити становлення нової моделі господарювання і поширити екологічно зорієнтовані методи управління.

На завершальному етапі необхідно ввести господарську діяльність у межі ємності екосистем на основі масового впровадження енерго- і ресурсоощадних технологій, цілеспрямованих змін структури економіки держави, структури особистого і суспільного споживання, змін у сфері екологічної культури населення, доведення системи екологічного виховання й освіти до європейського рівня.

Реалізації зазначених завдань мають сприяти створення відповідного правового підґрунтя переходу до сталого розвитку, вдосконалення всіх природоохоронних законів (перш за все — приведення їх у відповідність із теорією біотичної регуляції навколишнього середовища), а також удосконалення екологічних нормативів і стандартів України і приведення їх у відповідність з європейськими (сфери природокористування, ресурсозбереження, забруднення довкілля, утилізації відходів тощо), економічних механізмів регулювання природокористування та охорони довкілля, суттєве розширення екологічного підприємництва, впровадження екологічного аудиту в усі сфери діяльності.

Конче важливою на перших етапах екологізації виробництва є оцінка господарської ємності локальних і регіональних екосистем держави, а також визначення меж антропогенного навантаження на кожну з них, екологічна паспортизація об'єктів господарської діяльності, розроблення системи стимулювання екологізації різних видів господарської діяльності та встановлення меж відповідальності за екологічні наслідки цієї діяльності.

Безумовно, надзвичайно важливу роль у створенні методологічного і технологічного підґрунтя екологізації суспільства має відіграти екологічна наука, розвиток усіх її теоретичних і прикладних напрямів, народжених життям на початок XXI ст.

На ті з положень міжнародних документів, розроблених за останнє десятиліття з метою забезпечення сталого розвитку цивілізації, які підходять для України, слід неодмінно зважати, й особливо — на посилення ролі основних соціальних груп населення, молоді, жінок у здійсненні соціально-економічних і екологічних перетворень, реалізації комплексу заходів щодо розв'язання демографічних проблем, проблем бідності, здоров'я, злочинності тощо.

Головну роль у створенні умов переходу до гармонійного розвитку має відігравати держава, гарантуючи безпеку в політичній, економічній, соціальній, екологічній і оборонній сферах. Державне управління процесом переходу до гармонійного розвитку має передбачати створення системи програмних і прогнозових документів: довгострокової державної стратегії; довго- і середньотермінових прогнозів, створення ефективної системи взаємодії "центр-регіони" з передбаченням жорсткого дотримання низки обмежень. Цільові орієнтири мають визначатися в показниках, що характеризують якість життя, рівень економічного розвитку й екологічного благополуччя.

Реалізація принципів гармонійного розвитку має розглядатися поетапно. Прогнозові й програмні документи розробляються тільки для відносно ранніх етапів з огляду на вже чинні національні, державні й регіональні екологічні програми і досвід міжнародної екологічної співпраці (для зон екологічного лиха, кризових і передкризових екологічних ситуацій, для розв'язання проблем питної води, екологічно чистих харчових продуктів тощо).

Пізніші програми екологізації мають передбачати структурні перетворення в економіці, технологіях виробництва, раціоналізацію природокористування.

На завершальних етапах розв'язують питання гармонізації взаємодії з природою у масштабах людства.

5.5. Проблеми гармонійного розвитку України

Розробку науково обґрунтованої Концепції гармонійного розвитку України стримує **відсутність узгодженого системного підходу** до вибору теоретико-методологічних засад його, роз'єднаність і нескоординованість українських учених у визначенні місця і ролі ноосферогенезу з урахуванням національних особливостей гармонійного розвитку.

Гармонійний розвиток як геополітичний орієнтир виживання людства на планеті — це багатофакторний і багатозначний процес, кінцева мета якого — гармонійне соціально-економіко-екологічно збалансоване співіснування Людини і Природи.

Гармонійне співіснування означає відповідність законів і принципів життєдіяльності людей законам Природи, законам екології. Ноосферна ідея, ноосферна теорія набувають за такого підходу ***системотворного значення*** в сучасній інтерпретації їх у процесі гармонізації.

Гармонійний розвиток — це складний багатофакторний процес. На темпи цього процесу впливають різні комбінації соціальних, економічних, воєнних, технологічних, екологічних, етичних та інших *чинників несталості*. Які з цих чинників справляють більший, а які — менший вплив? Як побудувати "дерево" пріоритетів за масштабами впливу? Як спланувати багатофакторний процес із різними комбінаціями індикаторів сталого розвитку? Ці та інші питання виходять за межі однієї теоретичної системи (технологічної, соціальної, чи екологічної). Вони належать до *теорії розвитку великих систем*, "системи систем". І це добре проілюстровано

у фундаментальній праці Ф.Реймерса "Экология (теории, законы, правила, принципы, гипотезы)", М., 1994.

На наш погляд, і самі теоретичні засади гармонійного розвитку слід уявляти як "систему систем", тобто "велику теоретико-методологічну систему", в якій теорія ноосферогенезу, біотичного регулювання навколишнього середовища може посісти провідне місце на стратегічному етапі процесу досягнення гармонійного розвитку. Але у цій системі теоретико-методологічних засад гармонійного розвитку треба визначити місце кожної системної теоретичної складової (теорія динамічної рівноваги, теорія еволюції біосфери, теорія ноосферогенезу, теорія розвитку процесів тощо). Тобто йдеться про комплексну системну теорію гармонійного розвитку, фундаментальну теорію гармонізації розвитку, яка враховує інтереси всіх причетних до процесу сталого розвитку теорій і методологій (симбіоз теорій і методологій).

Розроблення симбіотичної теорії гармонійного розвитку не може бути прерогативою якоїсь однієї групи провідних учених, а має ґрунтуватися на конкурсних альтернативних засадах. Провідна роль повинна належати системним аналітикам із різних галузей наукової діяльності — екологічним однодумцям із глобальним сприйманням проблем гармонійного розвитку та екологічної парадигми, але з національним характером дій.

Щоб встановити якісні та кількісні характеристики (індикатори) складного багаторівневого і багатофункціонального процесу гармонійного розвитку, його необхідно змоделювати.

Тільки завдяки багатофакторному загальнодержавному і регіональному моделюванню можна встановити альтернативні граничні рівні господарської ємності окремих природних об'єктів, екосистем, регіонів біосфери, граничні техногенні навантаження у певному часовому інтервалі. Лише при науково-теоретичній визначеності вихідного стану природних, економічних, технологічних, соціальних, екологічних та інших систем можна застосовувати теоретичні положення біотичного регулювання навколишнього середовища або системи управління процесом досягнення гармонійного розвитку з біотичними, а не "технологічними" пріоритетами. Отже, йдеться про встановлення чітких ***фундаментальних вихідних даних для стратегічного планування процесу досягнення гармонійного розвитку***, зорієнтованого на кінцевий результат — виведення природних екосистем на гранично допустимі господарські ємності біосфери. За такого підходу (а він давно відомий як системний, системно-процесний) усе стає на свої місця і для кожної локальної теорії (тобто теоретичних підстав розв'язання локальних завдань у великому процесі) знаходиться своє місце в ***симбіотичній теорії гармонійного розвитку на філософських засадах ноосферогенезу або фундаментальної теорії гармонізації розвитку суспільства.***

Виконаний нами попередній аналіз наукових розробок українських учених стосовно майбутнього гармонійного розвитку як окремих регіонів, так і держави загалом, засвідчив, що ці розробки умовно можна класифікувати так:

- філософсько-теоретичні (науково-просвітницькі, філософсько-екологічні);
- регіональні ресурсно-економічні;
- економіко-технократичні;
- ресурсно-економічні (природно-ресурсні);
- біосферно-біоекологічні;
- адміністративно-директивні;
- популістські (демагогічно-гаслові).

Висококваліфікованим фахівцям різного профілю (біологам, геологам, географам, економістам, філософам, соціологам, інженерам тощо) необхідно, зконцентру-

вавши зусилля на проблемі вибору національних шляхів гармонійного розвитку, відібрати найобґрунтованіші з них. Треба систематизувати всі теоретико-методологічні напрацювання, починаючи з праць всесвітньо визнаного творця ноосфери В.Вернадського, українських теоретиків сонячної природи доданої вартості (що може більшою мірою відповідати теорії гармонізації!) С.Подолинського і М.Руденка і аж до сучасних теоретико-методологічних розробок Л.Руденка, Л.Мельника, Д.Гродзінського, Р.Зайця, І.Швебса, В.Межжеріна, М.Дробнохода та інших, зваживши на теоретичний доробок російських та західних учених.

На сьогодні доволі досконало розроблено ресурсно-економічні (В.Шевчук, Л.Мельник, Б.Данилишин), географічні (Л.Руденко та ін.), регіонально-економічні (Р.Заєць, А.Шапар, В.Боков, Ю.Голік та ін.), соціальні (М.Дробноход та ін.), філософсько-теоретичні (М.Кисельов, Г.Швебс, В.Межжерін, М.Голубець, В.Крисаченко та ін.) засади переходу до гармонійного розвитку України. Практичні екологічні аспекти переходу до гармонійного розвитку відпрацьовані на конкретних екологічних програмах, що здійснюються за міжнародної допомоги і відображені в монографіях, підручниках, посібниках (В.Шевчук, Ю.Саталкін, В.Навроцький, О.Мазуркевич та ін.). За роки незалежності створена вагома навчально-теоретична екологічна база (Г.Білявський, Л.Мельник, В.Бровдій, В.Боков, О.Адаменко, Г.Рудько, І.Горбаньов, Ф.Стольберг, М.Дробноход та ін.). Заслуговують на увагу дослідження академіка М.Згуровського у сфері системної методології передбачення, яка значною мірою впливатиме на розвиток суспільства майбутнього і яку обов'язково слід використати при формуванні стратегії гармонійного розвитку України, та Є.Марчука (монографія "Україна: нова парадигма поступу", К., 2001). Глибоко проаналізувавши найважливіші тенденції сучасності, напрями світового поступу, формування стратегії цього поступу і потенційні можливості переходу України на шлях гармонійного розвитку, Є.Марчук запропонував і обґрунтував ідею соціополісу як нового типу соціально-економічної розбудови суспільства.

Усе це свідчить про те, що в Україні останніми роками стихійно формується система теоретичних і практичних засад гармонійного розвитку, яку найближчим часом доведеться систематизувати, доопрацювати, узгодити, затвердити і втілити на загальнодержавному рівні. Йдеться про формування національної науково-теоретичної школи гармонійного розвитку.

При визначенні теоретико-методологічних засад гармонійного розвитку необхідно зважити на негативні наслідки світового розвитку ***з ринковими механізмами надмірного споживання природних ресурсів.*** Ринкове реформування не може бути самоціллю розвитку суспільства. Розвинені країни шляхом "спроб і помилок" дійшли до розуміння згубності "нерегульованого ринку". Вже визнано у світі, що ***безпечним є тільки соціально зорієнтований і ресурсоощадний розвиток*** із регульованими механізмами.

Одне з найпріоритетніших і найактуальніших завдань — це формування **ноосферного, екологічного світогляду державних, політичних, громадських діячів** України та підприємницьких кіл.

Слід мати на увазі, що в загальносистемному вимірі будь-яка система для свого довготривалого гармонійного розвитку потребує:

- ефективної розумної (ноосферної) організації у просторі і часі;
- забезпечення збалансованості і рівноваги її складових елементів;
- цілеспрямованості розвитку;
- наявності рушійних сил.

Кожна з цих системних складових повинна мати свої вихідні моделі, що формуються на **єдиній методологічній основі системно-процесного підходу.**

Загальну основу **Концепції гармонійного розвитку України** мають становити:

- теоретико-методологічні і понятєві засади гармонійного розвитку; засади, принципи і критерії **симбіотичної теорії гармонізації розвитку**;
- науково-аналітичний огляд сучасних особливостей переходу України до гармонійного розвитку з побудовою **багатофакторних вихідних моделей** за визначеними пріоритетами й характеристиками;
- система загальної і регіональних структурних моделей процесу переходу до гармонійного розвитку з урахуванням наведених вище чотирьох загальносистемних елементів розвитку;
- система **основних напрямів** нейтралізації дестабілізуючих чинників упродовж нетривалого періоду;
- засадові принципи і стратегічні цілі гармонійного розвитку за короткостроковий, середньостроковий і довгостроковий періоди.

Особливості умов, передумов і механізмів реалізації гармонійного розвитку можна представити у вигляді схеми, розробленої професором Л.Мельником у 2000 році (див. ***рис. 5.1***).

Соціально-еколого-економічні стратегії переходу України до гармонійного розвитку визначаються пакетом офіційних документів, базовими серед яких є Послання Президента України до Верховної Ради України "Україна: поступ у XXI століття. Стратегія економічної та соціальної політики на 2000—2004 роки", Укази Президента "Про основні напрями земельної реформи", "Про стратегію подолання бідності", "Про концепцію розвитку охорони здоров'я населення України" та ін., а також "Основні напрями державної політики України у сфері охорони довкілля, використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки" (затверджені Верховною Радою України 5.03.1998 р.).

Розроблені статегії відповідають принципам гармонійного розвитку.

Минуле десятиліття характеризується для України як підготовчий етап переходу до гармонійного розвитку, який ще не завершився і триватиме щонайменше п'ять років. До цього відбувалося політичне, економічне, воєнне, іституціональне становлення державності.

Нині здійснюється соціальна переорієнтація економічної політики України з огляду на пріоритети гармонійного розвитку.

До цих пріоритетів належать:

в економічній сфері:

- утвердження механізмів, що мають забезпечити надійні гарантії не лише остаточної стабілізації економіки, а й створення необхідних передумов її прискоренного зростання;
- впровадження науково-технологічних інновацій та опанування інноваційного шляху розвитку як головного чинника сталого економічного розвитку;
- здійснення активної аграрної політики;
- зміцнення економічних передумов для глибокої перебудови соціальної сфери;

у соціальній сфері:

- зростання інтелектуального потенціалу нації, всебічний розвиток освіти;
- перебудова соціальної сфери з метою запобігання збідненню населення шляхом реформування системи оплати праці, скорочення безробіття, вдосконалення механізмів надання державної соціальної допомоги, запровадження системи загальнообов'язкового державного страхування;

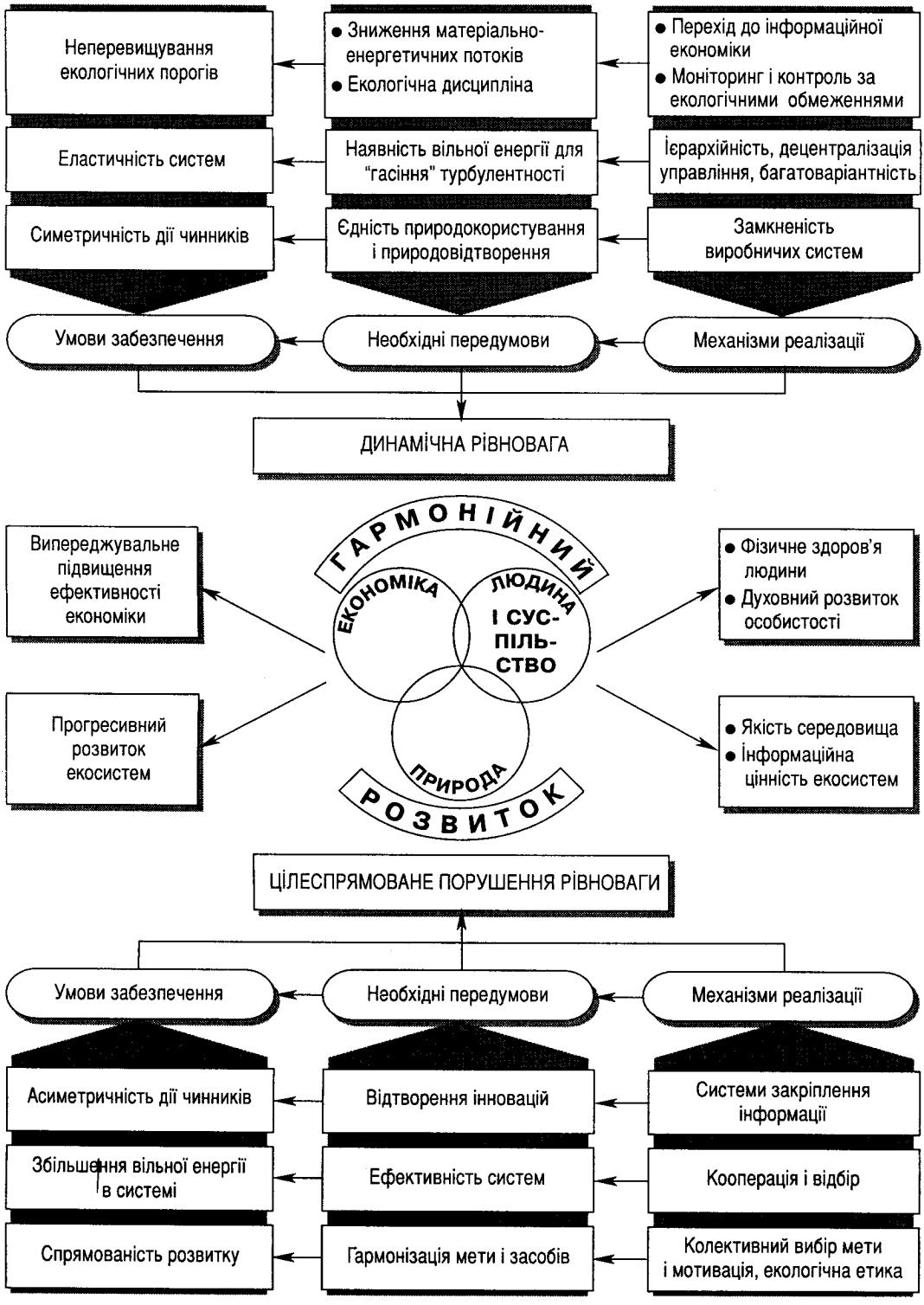


Рис. 5.1. Умови, передумови і механізми реалізації гармонійного розвитку (за Л.Мельником, 2000 р.)

- поліпшення становища дітей, молоді, жінок, сім'ї;
- здійснення скоординованих кроків, спрямованих на поліпшення охорони здоров'я населення, зниження смертності та збільшення тривалості життя;
- зміцнення позицій середнього класу;

в екологічній сфері:

- усебічний розвиток екологічної освіти;
- гарантування екологічної безпеки ядерних об'єктів і радіаційного захисту населення та довкілля, зведення до мінімуму негативного впливу наслідків аварії на Чорнобильській АЕС;
- вдосконалення екологічного законодавства;
- поліпшення екологічного стану річок України, зокрема басейну р.Дніпро, та якості питної води;
- стабілізація та поліпшення екологічного стану в містах і промислових центрах Донецько-Придніпровського регіону;
- будівництво нових та реконструкція чинних потужностей очисних каналізаційних споруд;
- запобігання забрудненню Чорного та Азовського морів та поліпшення їх екологічного стану;
- формування збалансованої системи природокористування та екологізації технологій у промисловості, енергетиці, будівництві, сільському господарстві, на транспорті;
- збереження біологічного та ландшафтного розмаїття, розвиток природозаповідної справи.

Питання для самоконтролю

1. *Хто є творцем ноосферної концепції?*
2. *Як тлумачили поняття "ноосфера" його творці?*
3. *Що ви знаєте про експеримент "Біосфера-II"?*
4. *Чи можна приймати ноосферну ідею за основу розбудови майбутньої цивілізації?*
5. *Що ви знаєте про симбіотичний шлях розвитку людства, хто його запропонував і які він має недоліки?*
6. *Які п'ять базових принципів екологічного розвитку пропонують Т.Акимова і В.Хаскін?*
7. *У чому полягає сутність концепції біотичної регуляції навколишнього середовища і хто її автор?*
8. *Що таке "індекс людського розвитку"?*
9. *Назвіть основні проблеми, що стримують екологічно безпечний розвиток України.*
10. *Визначте особливості й основні завдання щодо ефективного еколого-економічного збалансованого розвитку України.*

ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНІ ОСНОВИ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

Уперше поняття "природокористування" було запропоноване російським екологом Ю.Куражковським у 1959 р. За його визначенням, ***природокористування*** *— це регулювання всіх типів використання природних ресурсів для господарства та охорони здоров'я.*

М.Реймерс визначає ***природокористування*** *як сукупність усіх форм експлуатації природно-ресурсного потенціалу й заходів щодо його збереження (видобуток і переробка природних мінеральних та біологічних ресурсів, їх відновлення, охорона природних умов життя, природних систем тощо).*

Розвиток продуктивних сил, зростання обсягів природокористування й темпів забруднення довкілля за одночасного вичерпання природних ресурсів, погіршення здоров'я працездатного населення, зниження продуктивності праці — все це зумовило формування ***економіки природокористування*** *— нової галузі науки, що вивчає методи найефективнішого впливу людини на природу для підтримання динамічної рівноваги, колообігу речовин у природі.* Витрати, пов'язані з підтриманням цієї рівноваги, йдуть на збереження економічно найсприятливіших умов відтворення матеріальних благ як нині, так і в майбутньому.

Оскільки довкілля виконує такі життєво важливі функції, як забезпечення людей природними ресурсами, природними послугами (рекреація, туризм, естетичне задоволення), поглинання відходів і забруднень, то, реалізуючи заходи з охорони природи й використання її ресурсів, слід знати економічну вартість цього й ціну шкоди, заподіяної природі антропогенними забрудненнями та впливами.

Критерієм ефективності людської діяльності до середини XX ст. було одержання максимальних благ за мінімальних витрат і неконтрольованої, хижацької експлуатації природних ресурсів, а головним принципом ставлення до природи — панування над нею й цілковите підкорення її людиною.

Після об'єктивного аналізу причин екологічних катастроф і величезних економічних втрат від нерозумного господарювання, яких людство зазнало останніми десятиліттями й раніше, стало зрозуміло, що принципи природокористування мають бути інакшими, якщо ми хочемо вижити.

Тому провідним *принципом природокористування* в наш час став *еколого-економічний*, за якого критерій ефективності господарювання формулюється так: *одержання максимальних матеріальних благ з мінімальними витратами й мінімальними порушеннями природного середовища.* Однак це

❖ Цікаві факти

У 1972 р. у Стокгольмі на Першій Всесвітній конференції з навколишнього середовища її Генеральним секретарем М.Стронгом вперше сформульовано поняття "екологічний розвиток", а у 1983 р. з ініціативи Генерального Секретаря ООН була створена Міжнародна комісія з навколишнього середовища і розвитку (МКНСР). У звіті МКНСР, яку очолила прем'єр-міністр Норвегії Г.Брундтланд (1987), вперше наголошено, що зростання економіки має вписуватися в екологічні можливості планети.

Після публікації доповіді і її схвалення Генеральною Асамблеєю ООН в міжнародну практику увійшло поняття "sustainable development" (сталий розвиток).

потребує вкладання значних коштів у природоохоронну сферу, що завжди відчутно знижує прибутковість виробництва.

Тому, як і раніше, стикаються екологічні та економічні інтереси, і, на жаль, здебільшого перемагають економічні: вирубуванню лісів віддають перевагу над їх використанням для рекреації, розвиткові туристичного бізнесу — над збереженням рідкісного ландшафту чи озера, а морським нафтопромислам — над збереженням морських екосистем тощо. При цьому здійснити порівняльну економічну оцінку різних природних ресурсів нині та у віддаленому майбутньому буває досить важко. Сьогодні вартість природних благ і послуг або взагалі не визначено, або її занижують, що часто призводить до прийняття антиекологічних рішень, до спотвореної оцінки економічного розвитку через традиційні показники валового національного продукту. Зростання останнього часто супроводжується деградацією довкілля.

Нині розроблено кілька підходів до визначення економічної цінності природних ресурсів і послуг. Найбільш комплексний підхід ґрунтується на загальній економічній вартості, до якої входять вартості зруйнування природи, її відновлення та охорони.

Для еколого-економічної оцінки проектів і програм будівництва застосовують метод зіставлення витрат і вигід і керуються трьома критеріями: чистою нинішньою вартістю, внутрішньою нормою окупності та співвідношенням витрат і майбутніх вигід.

6.1. Основні завдання економіки природокористування:

- визначення збитків, заподіяних економіці держави, галузі, підприємству, району, окремому приватному господарству чи конкретній особі через нераціональне природокористування, порушення законів, норм або правил охорони природи;
- визначення розміру витрат, необхідних для ліквідації в найближчому й віддаленому майбутньому наслідків негативних техногенних впливів на довкілля;
- оцінка абсолютної та відносної ефективності витрат на охорону й відновлення природи, вибір оптимальних варіантів природоохоронної діяльності та використання природних ресурсів;
- розробка економічних методів керування природоохоронною роботою і способів стимулювання природоохоронної діяльності та екологізації виробництва.

Потрібно, щоб економіка природокористування поступово переходила в економіку природозберігання.

Природокористування, як згадувалося вище, може бути раціональним і нераціональним.

Раціональне природокористування — це високоефективне, екологічно обґрунтоване господарювання, яке не призводить до різких змін природно-ресурсного потенціалу, а підтримує й підвищує продуктивність природних комплексів чи окремих об'єктів, облагороджує їх. Воно спрямоване на забезпечення умов існування людства й стабільного одержання матеріальних благ.

Нераціональним вважається таке природокористування, в результаті якого природа втрачає здатність до самовідтворення, самоочищення й саморегулювання, порушується рівновага біосистем, вичерпуються матеріальні ресурси, погіршуються рекреаційні, оздоровчі та курортні умови, естетичні характеристики ландшафтів, умови проживання загалом. Це, як правило, екстенсивне, хижацьке господарювання, перепромисел, перевипасання, перезабруднення повітря, води й ґрунтів промисловими, транспортними, енергетичними викидами та пестицидами. Нераціональне природокористування може бути як навмисним, так і випадковим, або супутнім (наприклад, спустошення, зруйнування чи пожежі, пов'язані з воєнними діями).

Нераціональне природокористування може бути зумовлене планово-економічними й проектними прорахунками, тимчасовими й вимушеними позиками у природи (перехідні періоди розбудови нових держав, великі стихійні лиха, війни тощо), недбалими обліком та оцінкою природних ресурсів, недосконалістю природоохоронного законодавства, вузьковідомчими підходами в розвитку економіки, недосконалістю технологій виробництв, браконьєрством, самовільною забудовою тощо.

Показниками збитків від забруднення довкілля слугують: підвищення рівня захворюваності населення; зниження продуктивності сільського господарства; прискорення спрацювання основних фондів та ін. Вартість відновлення природи визначається за необхідними витратами на рекультивацію ландшафтів, відновлення водойм або сільськогосподарських угідь, озеленення тощо. Та при цьому часто неможливо оцінити погіршення соціального клімату, порушення рівноваги в екосистемах, загибель внаслідок техногенного впливу унікальних геологічних пам'яток чи ландшафтів, зникнення багатьох видів рослин і тварин.

❖ **Цікаві факти**

Щохвилини у світі знищується близько 12 га лісів, 12 га продуктивних земель перетворюються на пустелю. Щосекунди внаслідок ерозії втрачається понад 18 т верхнього ґрунтового горизонту. Щорічно за рахунок різних деградаційних процесів і відчуження втрачається близько 7 млн га, тобто втрачається база для життя 21 млн жителів планети. На будівництво доріг у світі за рік виводиться з ужитку 300 тис. га орних земель. За історію людства назавжди втрачено 1,5 млрд га орних земель.

За рахунок заміни природних екосистем агроценозами губиться близько 11,7% чистої первинної продукції, а всього в зруйнованих природних екосистемах, де домінує людина, губиться майже 27% чистої первинної продукції.

(Вітоусек, 1986)

Найскладніше оцінити наслідки антропогенних негативних впливів на природу, коли треба дати довгостроковий прогноз збитків від нераціонального природокористування. Витрати на охорону природи нині можна обчислити досить просто й порівняно точно на підставі чинних стандартів і нормативів із застосуванням низки формул (їх наведено в нових підручниках і посібниках з економіки природокористування (див. список літератури), а також у частині II посібника ("Практимум").

Природоохоронні заходи мають не тільки економічний ефект (заощадження витрат на лікування та соціальне страхування хворих, підвищення продуктивності праці, збільшення біопродуктивності, облагородження ландшафту тощо), а й соціальний — поліпшення настрою людей, зменшення їх міграції, стримування конфліктів, зниження злочинності тощо.

До найважливіших проблем економіки природокористування належить правильна (об'єктивна) оцінка природних ресурсів.

***Економічна оцінка природних ресурсів** — це грошове вираження їхньої народногосподарської цінності.* Треба, щоб ціну мали земля, природні води, ґрунти, повітря, корисні копалини, ліс, тваринний і рослинний світ, рекреаційні об'єкти. Нормативи плати за використання природних ресурсів визначають з урахуванням їхнього географічного положення, поширення, якості, можливості відтворення, доступності, комплексності, продуктивності, можливості утилізації відходів, умов переробки.

Для оцінки вартості природних ресурсів використовують такі показники:

- трудові затрати на залучення ресурсу в суспільне виробництво (видобуток мінеральної чи біологічної сировини);
- ефект використання ресурсу у виробництві (цінність одержаних із ресурсів матеріалів, предметів, вигід);
- прогнозовані затрати праці на відновлення ресурсу (якщо це можливо);
- прогнозовані витрати на погашення збитків, завданих природному середовищу під час освоєння конкретного ресурсу.

❖ **Цікаві факти**

Збільшення обсягів виробництва в 10 разів потребує збільшення обсягу знань у 100 разів!

Використання газу замість нафтопродуктів на автотранспорті дало б змогу Україні щорічно заощаджувати близько 10 млн т палива (тобто близько 20 млн т нафти) й істотно знизити забруднення повітря.

На утримання звалищ і смітників витрачається близько 25% вартості виробітку продукції.

В Україні назбиралося кілька мільярдів тонн металобрухту. Цього досить, щоб забезпечити роботу підприємств чорної металургії на десятки років (у Німеччині близько 75% сталі виробляють із металобрухту).

У Японії переробляють понад 70% відходів, в Україні — 3—5%.

Оцінка ресурсів може бути індивідуальною та комплексною.

Розрізняють три види *індивідуальних оцінок:*

- оцінки суспільної корисності природних ресурсів;
- вартісні оцінки (податки, ціни);
- ринкові ціни (ліцензії).

Їх виконують для кожного окремого елемента довкілля і їхні значення не завжди збігаються.

Оцінюючи негативний вплив людини на довкілля, користуються таким поняттям, як екологічні збитки від забруднення окремих компонентів природи — води, повітря, земельних ресурсів. ***Екологічні збитки — це зменшення корисності довкілля в результаті його антропогенної трансформації (насамперед забруднення).*** Їх обчислюють за сумою різних витрат суспільства, пов'язаних зі змінами довкілля й поверненням його до колишнього стану, затрат на компенсацію ризику для здоров'я людей.

Для узагальнених оцінок екологічних збитків вдаються до спеціальних формул, за якими можна з'ясувати шкоду, завдану земельним ресурсам, шкоду від викидів у атмосферу або у водні об'єкти тощо (наведені в численних посібниках, підручниках і довідниках з економіки природокористування та екологічної експертизи).

Плата за природні ресурси — це витрати підприємства, пов'язані з використанням якихось природних ресурсів і визначені за прийнятою в країні методикою розрахунку; при цьому ресурси поділяють на ті, що закуповують у когось, що беруть безпосередньо у природи, і ті, що є власністю виробника. Ціна таких ресурсів різна.

Екологічні податки бувають кількох видів:

- платежі рентного характеру (наприклад, за використання території для відходів);
- податки і (або) штрафи за забруднення понад установлену норму;
- податки за фактичний обсяг забруднень.

❖ **Цікаві факти**

Щоденно через людську діяльність втрачається близько 150 біологічних видів!

Це у той час, коли життя і діяльність людини цілком залежать від стану біорозмаїття у довкіллі.

Зокрема, тільки щорічний врожай, отриманий завдяки опиленню бджолами у США (1994—1996), був оцінений у 30 млрд дол.

Тільки на території США понад 500 тисяч видів рослин, тварин і мікробів підтримують функціонування екосистем, життєво важливих для людини.

Економічні системи, в основі яких було екологічно збалансоване землеробство, проіснували в долині р. Ніл 7 тисяч років.

При цьому податок за забруднення середовища має бути досить високим, щоб підприємствам було вигідніше охороняти довкілля, ніж забруднювати його.

Екологічні ліцензії — це цінні папери, що дають право на викиди конкретного забрудника на конкретний проміжок часу й у конкретних обсягах. Ці права може продавати підприємствам державний орган або одне підприємство іншому. Ціна ліцензії залежить від добового часу, сезону, обстановки в регіоні.

Торгівля квотами на забруднення — найгнучкіший з усіх відомих метод економічного регулювання якості природного середовища.

Додатком до екологічної ліцензії є страхування екологічної невизначеності.

Останнім часом уводяться *ліцензії на родовища* — цінні папери, що дають право на видобуток і продаж корисних копалин.

У ході комплексної економічної оцінки природоохоронних заходів передбачається виконання таких процедур:

- визначення чистого економічного ефекту;
- оцінка варіантів очищення промислових стічних вод;
- оцінка варіантів очищення атмосферних забруднень;
- оцінка варіантів переробки відходів;
- оцінка технологічних рішень;
- оцінка конструкторських рішень;
- екологічна експертиза проектів;
- оцінка ризику аварій.

Останнім часом в Україні, як і в інших державах, розпочато формування системи економічного регулювання природоохоронної діяльності:

- вводяться платежі за використання природних ресурсів та забруднення природного середовища;
- створюються екологічні фонди, банки;
- розпочато торгівлю екологічними ліцензіями, квотами тощо.

У зв'язку з тим, що в період переходу до ринкової економіки виникають значні труднощі не лише економічного, а й екологічного характеру, слід зважати на таке:

- ринок може бути використаний для ефективного обмеження руйнування природи;
- сам механізм стихійного ринкового попиту й пропозиції не забезпечує захисту природи — необхідне втручання ззовні;
- ринкові розцінки на підставі наукових екологічних нормативів можуть використовуватися для регулювання природокористування;
- економіку слід розвивати згідно з плановою стратегією, яка передбачає позаринкові форми контролю;
- для дієвого екологічного керування економічним розвитком потрібні політично організовані сили, які представляють нагальні й довгострокові інтереси всього населення і здатні протистояти вузьким інтересам підприємців і тих, хто прямо чи опосередковано має зиск від виробництв-забрудників.

М.Реймерс сформулював 15 законів природокористування, серед яких можна назвати:

- Закон вичерпності природних ресурсів.
- Закон зростання наукоємності суспільного розвитку.
- Закон зниження природно-ресурсного потенціалу.
- Закон сукупної дії природних чинників.
- Закон спадної (природної) родючості.
- Закон зростання темпів обігу залучених природних ресурсів.
- Закон неминучих ланцюгових реакцій "жорсткого" управління природою.
- Закон територіальної екологічної рівноваги.
- Закон спадної віддачі.

6.2. Правові основи природокористування

Закони про охорону природи. Правову основу охорони природи становлять закони внутрішньодержавної й міжнародної ваги. В них наводяться обов'язкові для всіх громадян вимоги, спрямовані на забезпечення нормальних умов функціонування екосистем біосфери та раціональне використання людиною природних ресурсів. Виконання цих законів забезпечується різними методами: від виховних і просвітніх до штрафувань, адміністративних та кримінальних покарань порушників.

Екологічне право — це порівняно молода, але дуже важлива галузь юриспруденції, що розвивається, покликана законодавчо забезпечити права людини на здорове середовище проживання та раціональне природокористування.

❖ **Цікаві факти**

Ще у IV—V ст. до н.е. у китайських трактатах, присвячених раціональному природокористуванню (гуань-цзи, мо-цзи та ін.), висловлювались ідеї державного регулювання ринкової економіки для цілей сталого розвитку; ідеї необхідності знання природи, особливостей землі, шоб розумно керувати землекористуванням; ідеї адекватності оподаткування якості землі; ідеї залежності стану довкілля і заможності нації від кількості населення і обсягів споживання природних ресурсів та ставлення до природи.

Основним законодавчим актом у галузі охорони природи в нашій державі нині є ***Закон України про навколишнє природне середовище***, затверджений Верховною Радою 1 липня 1991 р. Закон складається з 14 розділів, у яких викладено загальні положення, екологічні права та обов'язки громадян, функції рад народних депутатів, а також повноваження органів управління у сфері охорони природи, висвітлено питання спостереження, прогнозування, обліку та інформації в галузі охорони довкілля, екологічної експертизи, контролю й нагляду, регулювання використання природних ресурсів, економічних механізмів забезпечення охорони природи. В законі наведено також положення про заходи, пов'язані з екологічною безпекою, надзвичайними екологічними ситуаціями, про відповідальність за порушення природоохоронного законодавства та про міжнародні зв'язки України у сфері охорони довкілля.

Незважаючи на потужну правову базу, поки що не визначено правових норм прямої дії багатьох положень указаного Закону, а це ускладнює виконання і робить його малоефективним. Тому до нього слід розробити й ухвалити пакет із кількох десятків суміжних законів і підзаконних актів, які б чітко регламентували застосування всіх положень основного Закону.

До важливих державних документів природоохоронного напряму належать також: Земельний кодекс України (1992 р.), Водний кодекс України (1995 р.), закони України «Про екологічну експертизу» (1995 р.), «Про природно-заповідний фонд України» (1992 р.), Лісовий кодекс України (1994 р.), кодекси України «Про надра» (1994 р.), «Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку» (1995 р.). З 1990 до 1999 р. Верховною Радою України ухвалено близько 20 природоохоронних законів, зміцнюється Державна екологічна інспекція, завершується створення екологічної прикордонної служби. У вересні 2000 р. був затверджений Закон України "Про Загальнодержавну програму формування національної екологічної мережі України на 2000—2015 роки". (*Див. додаток № 1*).

Загалом в Україні нині сформовано одну з найрозвиненіших у Європі систему екологічного законодавства, визначено основні напрями державної політики в галузі охорони довкілля, використання природних ресурсів і піклування про екологічну безпеку, розроблено кілька проектів природоохоронних програм для найнеблагополучніших районів.

Цілу низку законів і нормативних актів, спрямованих на охорону природи й раціональне використання її ресурсів, було прийнято регіональними міжнародними

організаціями, такими як ООН, Європейська економічна співдружність, Організація країн — експортерів нафти (ОПЕК) та ін. До найважливіших документів належать міжнародно-правові акти ООН, ухвалені більшістю країн світу, Декларація та Програма дій людства в XXI столітті (Ріо-де-Жанейро, 1992), Конвенція з морського права (1984), Монреальський Протокол про обмеження використання речовин, що руйнують озоновий шар (1987), та ін. (*Див. додаток № 2*).

Система екологічних стандартів — найважливіша складова природоохоронного законодавства. Недотримання стандартів карається законом.

Екологічні стандарти — єдині й обов'язкові для всіх об'єктів даного виду та рівня системи норм і вимог щодо ставлення до навколишнього природного середовища.

Є стандарти міжнародні, державні, галузеві й стандарти підприємств.

Стандарти з охорони природи об'єднано під загальним номером 17: 17.1 — Охорона природи. Гідросфера; 17.2 — Охорона природи. Атмосфера та ін. В Україні ще діють стандарти СРСР, хоча проводиться велика робота зі створення власних державних стандартів. (*Див. додаток № 3*).

До найважливіших нормативів якості довкілля належать гранично допустимі концентрації (ГДК) шкідливих речовин у природних середовищах. На основі ГДК розробляють нормативи гранично допустимих викидів (ГДВ) і гранично допустимих скидів (ГДС) шкідливих речовин у повітря й воду. Через зміни загального екологічного стану довкілля ГДК, ГДВ і ГДС найнебезпечніших і найпоширеніших забрудників уточнюють кожні 3—5 років з урахуванням посилення негативного ефекту їхньої спільної дії.

ГДК р.з. — гранично допустима концентрація хімічної речовини у повітрі робочої зони, мг/м³. Ця концентрація за умови щоденної (крім вихідних днів) роботи в межах 8 год чи іншої тривалості, але не більше, ніж 41 год на тиждень упродовж всього робочого стажу не повинна викликати захворювань чи відхилень у стані здоров'я, які можна виявити сучасними методами дослідження в процесі роботи чи у віддалені терміни життя сучасного і наступного поколінь. Робочою зоною називають простір висотою 2 м над рівнем підлоги чи майданчика, на якому знаходиться місце постійного чи тимчасового перебування працівника.

ГДК м.р. — гранично допустима максимальна разова концентрація хімічної речовини у повітрі населених пунктів, мг/м³. Ця концентрація при вдиханні впродовж 30 хв не повинна викликати рефлекторних реакцій в організмі людини.

ГДК с.д. — гранично допустима середньодобова концентрація хімічної сполуки у повітрі населених пунктів, мг/м³. Ця концентрація не повинна чинити прямої чи опосередкованої дії при необмежено тривалому (роки) вдиханні.

ГДВ — гранично допустимий викид забруднювальних речовин в атмосферу, за якого забезпечується дотримання гігієнічних нормативів у повітрі населених пунктів за найбільш несприятливих умов розсіювання, кг/добу.

ГДЕН (гранично допустиме екологічне навантаження) — це сукупність окремих впливів, які або не впливають на якість середовища, або змінюють її в допустимих межах, тобто не руйнують екосистем і не викликають несприятливих наслідків для найважливіших популяцій.

Система екологічного контролю. На державних і міждержавних рівнях створено організації, що зобов'язані стежити за виконанням законів про охорону природи і здійснювати моніторинг природного середовища та окремих його компонентів.

В Україні контроль за станом природного середовища й виконанням природоохоронних актів здійснюють Міністерство охорони навколишнього природного сере-

❖ Цікаві факти

За даними ООН (1998) у світі щодобово витрачається на їжу близько 9 млрд дол. США (з мінімального розрахунку 1,5 дол. на день).

Загальні збитки людства від природних катастроф у 1999 році становили близько 80 млрд дол. США, і якщо від цих катастроф (повені, урагани, землетруси) у 1998 р. загинуло близько 53 000 чоловік, то у 1999 — понад 72 000.

довища та ядерної безпеки, Міністерство охорони здоров'я, Державний комітет з гідрометеорології, Міністерство з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи, система Державних санітарно-епідеміологічних станцій та ін.

У 1989 р. опубліковано міжнародний документ "Правові принципи охорони навколишнього середовища і сталого розвитку", підготовлений на запит ООН спеціальною Комісією міжнародної групи експертів-юристів. Він являє собою звіт правових принципів охорони довкілля та сталого розвитку людства. Найголовніші положення цього документа:

- усі люди мають право на довкілля, сприятливе для їхнього здоров'я й добробуту;
- держави охороняють і використовують довкілля та природні ресурси в інтересах сучасного й майбутніх поколінь;
- держави підтримують екосистеми та екологічні процеси, необхідні для функціонування біосфери, зберігають біологічне розмаїття;
- держави встановлюють відповідні норми охорони довкілля, здійснюють моніторинг змін його якості, а також публікують усі дані з цього приводу;
- держави здійснюють попередні екологічні оцінки чи вимагають їх виконання у зв'язку із запропонованими видами діяльності, які можуть істотно вплинути на довкілля або на використання природних ресурсів;
- держави своєчасно інформують усіх осіб, яких може стосуватися запланована діяльність, надаючи їм доступ до інформації, і забезпечують відповідну процедуру в адміністративних і судових справах;
- держави забезпечують умови, за яких збереження природного середовища розглядається як невід'ємна частина планування їхнього розвитку, і надають допомогу у сфері охорони довкілля іншим державам, особливо тим, що розвиваються;
- держави виявляють добру волю у взаємовідносинах з іншими державами для здійснення зазначених прав та зобов'язань.

Виконання екологічних регіональних (міжнародних) і національних законів перевіряють за допомогою ***системи екологічного контролю***, яка постійно дає інформацію про стан екосистем і здоров'я людей в тому чи іншому районі планети або в окремій державі. До системи екологічного контролю входять різні види екологічного моніторингу, екологічна паспортизація об'єктів людської діяльності та екологічна експертиза.

Екологічна експертиза — це оцінка впливу на довкілля й здоров'я людей усіх видів господарської діяльності та відповідності цієї діяльності чинним нормам і законам з охорони навколишнього природного середовища, вимогам екологічної безпеки суспільства.

За українським природоохоронним законодавством, проведення експертизи обов'язкове для будь-якої діяльності, що впливає на довкілля, для будь-якого проекту нововведень технологій, для будівництва, реконструкцій тощо.

Основні завдання експертизи — сприяти дотриманню природоохоронних законів та оцінювати рішення щодо підтримки й відновлення довкілля.

Діють екологічні експертизи кількох типів: ***державні, громадські, відомчі, змішані. За призначенням вони бувають первинні й вторинні,*** за масштабами — ***локальні (об'єктні), районні, регіональні (обласні й міжобласні), державні, міждержавні.***

Процес експертизи передбачає оцінювання й аналіз технологій, техніки, проектів підприємств, проектів перетворення природи, стану здоров'я людей, якості повітряного середовища, води, харчових продуктів, виявлення аномалій фізичних полів тощо.

Державна екологічна експертиза (як і інші види експертиз) має спиратися на принципи обов'язковості її проведення, наукової обґрунтованості, законності висновків, незалежності, об'єктивності, позавідомчості, широкої гласності та участі громадськості.

Державну екологічну експертизу здійснюють експертні комісії Міністерства охорони навколишнього природного середовища та ядерної безпеки України та його підрозділи на місцях, міжгалузеві комісії, а громадську експертизу — громадські комісії із залученням спеціалістів.

Екологічний паспорт — це комплексний документ, що містить характеристику взаємовідносин будь-якого об'єкта (підприємства, тваринницької ферми, підстанції, навчального закладу) з навколишнім природним середовищем. У ньому є загальні відомості про об'єкт, сировину (її вид, обсяги, екологічність), енергію, площу, кількість працівників, технологічні схеми виробництва (роботи), види продукції, системи природоохоронних заходів (очищення викидів і скидів забруднювальних речовин), зберігання відходів (їхню токсичність, кількість, утилізацію) тощо.

Останнім часом активно розвиваються екологічний аудит та екологічний менеджмент.

Екологічний аудит — це екологічне обстеження підприємства, постановка "діагнозу" його "здоров'я", перевірка здатності виробничих систем до самоочищення й випуску екологічно чистої продукції. Це інструмент, за допомогою якого оцінюють екологічну ефективність керування підприємством з метою збереження навколишнього природного середовища.

Чисте виробництво — найсучасніший із трьох використовуваних людиною способів зменшення забруднення природи (перший — розбавляння й розсіювання забруднень, другий — очищення відходів перед викиданням у повітря чи воду). Він передбачає:

- економію сировини, води та енергії;
- позбавлення від токсикантів у процесі виробництва;
- зменшення кількості й токсичності всіх відходів безпосередньо в ході виробничих процесів.

Метод чистого виробництва грунтується на філософії "передбачення й профілактики".

Екологічний менеджмент — це система ефективного управління природоохоронною діяльністю з використанням нових підходів, на базі адміністративних механізмів управління (дотримання екологічних норм, стандартів, правил, затверджених для галузі) та економічного стимулювання.

Необхідно зазначити, що найефективнішим з еколого-економічної точки зору природокористування може бути тоді, коли воно підпорядковане чіткій ***сучасній системі охорони довкілля і керування природокористуванням.*** У такій системі мають функціонувати ***різні методи екологічного управління*** (менеджменту) природокористуванням — ***інформаційні, адміністративні, ринково-економічні*** на основі чинних екологічних законів, норм і правил, ефективного екологічного законодавства.

До **інформаційних методів управління** належать: екологічний моніторинг, екологічне картографування, державні природні кадастри, географічні інформаційні системи, математичне моделювання і прогнозування особливостей природних процесів під впливом людської діяльності з використанням природних ресурсів.

Адміністративні методи управління охоплюють ліцензування природокористування, оцінку впливу на навколишнє середовище, екологічну експертизу, екологічний аудит і екологічну сертифікацію.

Ринково-екологічні методи передбачають різні економічні механізми управління охороною природи і використанням природних ресурсів, екологічне страхування та ін.

Визнавати принцип екологічного управління одним з найвищих корпоративних пріоритетів і вирішальним чинником сталого розвитку; визначати політику, програми та технічні правила для здійснення діяльності, ґрунтуючись на об'єктивному розгляді екологічних проблем

Хартія Міжнародної торгової палати (ICC)

6.3. Основи екологічного управління і менеджменту

Екологічна політика, системи екологічного управління є фундаментальними складовими сталого розвитку, який світове співтовариство визнало стратегічною метою безпечного і забезпеченого існування людства у XXI ст. Гармонізація і збалансованість екологічної, економічної та соціальної політики у кожній країні й у світі в цілому є пріоритетною умовою переходу до сталого розвитку, національного соціально-економічного реформування.

Міжнародні екологічні зобов'язання, екологічна політика, екологічна глобальна і європейська інтеграція, екологічна безпека, екологічні аспекти сталого розвитку набули нині пріоритетного значення як у державній, так і в міжнародній політиці України. Реальний екологічний стан в Україні нині характеризується як кризовий, суттєве поліпшення якого потребує ***високої екологічної компетенції*** державних службовців усіх рівнів і секторів державного управління. ***Актуалізація екологічної підготовки*** фахівців для професійної діяльності як у державній, так і в корпоративній та регіональній сферах управління шляхом розроблення її концептуальних та методологічних засад ***є об'єктивною вимогою сучасності.***

Екологічна політика при цьому розглядається як система не тільки керівних принципів, напрямів і завдань діяльності державних природоохоронних органів, а й програмних планів дій з екологізації державних функцій управління, господарської діяльності, суспільства в цілому, як підґрунтя для формування нової філософії і методології гармонійного еколого-техногенно безпечного розвитку і одна із складових стратегій переходу до сталого розвитку та європейської інтеграції. Тобто екологічна політика — це справа всіх державних службовців, а не тільки природоохоронних державних органів.

Екологічне управління за такого підходу розглядається і як управління охороною навколишнього середовища, природокористуванням та екологічною безпекою, і як система управління здійсненням екологічної політики та міжнародних екологічних зобов'язань із застосуванням законодавчо визначених державних функцій, економічних, правових, організаційних механізмів і важелів, що забезпечують гармонізацію відносин природи і суспільства, збалансованого розвитку еколого-господарських, етно-ландшафтних і природоресурсних систем.

Основи екологічної політики і управління мають міжнародні та національні аспекти і складаються з системи основоположних засад: екологічних законів (законів Природи), ноосферної філософії, науково-методологічних, законодавчих, інформаційних, економічних і підприємницьких засад.

Екологічна політика та екологічне управління — складові частини загальних систем управління (державою, галуззю, регіоном, корпорацією, підприємством) і мають відповідні ієрархічні структури, для яких ***базовою структурою є державна екологічна політика і державне екологічне управління на основі національного екологічного законодавства.***

Структура, відповідальність, практичні методи, процедури і ресурси для здійснення екологічної політики, досягнення цілей і виконання завдань екологічного управління повинні кореспондувати й координуватися з іншими видами діяльності (економічною, фінансовою, енергетичною тощо) відповідно до загальносистемної методології та практики адміністративного управління. ***Загальність підходів у світовому вимірі до методологічних аспектів*** екологічного управління забезпечується чинними і тими, що розробляються, міжнародними стандартами серії ISO 14000 або регіональними регламентами (Європейський регламент тощо).

Загальність підходів у загальнодержавному вимірі забезпечується чинним екологічним законодавством і нормативно-правовими актами, які треба узгоджувати з міжнародним і європейським екологічним законодавством та стандартами. Це обов'язкова умова практичного визнання світових екологічних імперативів та інтеграції як у світову цивілізовану спільноту, так і до Європейського Союзу.

Ефективність екологічної політики та екологічного управління залежить від комплексності, обґрунтованості й ефективності застосування економічного механізму та його інструментів. Суть економічного механізму визначена Декларацією, прийнятою в Ріо-де-Жанейро 1992 р., в якій зазначено, що національні влади мають сприяти інтернуванню витрат на навколишнє середовище, використовуючи економічні інструменти. В інтересах суспільства ***забруднювачі повинні повною мірою відшкодувати витрати за забруднення,*** не впливаючи при цьому на інвестиції.

Суттєвою особливістю економічного механізму, який ще треба впроваджувати в Україні, є те, що податки (або система витрат) примушують користувачів ресурсів ефективніше функціонувати і більш вигідно використовувати ресурси.

Наприклад, за системою витрат забруднювач має покрити витрати на очищення від забруднень і одночасно компенсувати зниження благополуччя суспільства. За такого підходу зменшується можливість використання таких необ'єктивних податків, як податок на прибуток ***(відбувається "позеленіння" податку на прибуток шляхом врахування екологічних витрат).***

Екологічний податок можна збирати:

- із забруднювача (за викиди і тверді відходи);
- з кінцевого продукту зовнішніх впливів на навколишнє природне середовище.

Податки із забруднювача стягуються безпосередньо за шкідливі речовини, тому вони є максимально дієвими і дуже гнучко можуть бути використані забруднювачем. Непрямий податок на капіталовкладення або кінцевий продукт стимулює вдосконалення технології у напрямі зменшення забруднення. Частина витрат на забруднення позначається на ціні кінцевого продукту, оскільки залежить від еластичності попиту і пропозицій. Це стимулює забруднювачів починати випуск менш шкідливої для навколишнього середовища продукції.

❖ **Цікаві факти**

Головне відкриття, яке зробив М.Реймерс, систематизувавши у 70—80 роках XX ст. близько 240 гіпотез, законів, правил, принципів, що стосуються екології, та виконавши близько 250 узагальнень (1994), це те, що головним природним ресурсом є інформація.

"Інформація — один із найважливіших природних ресурсів і одночасно здобутків суспільства, оскільки весь розвиток людства — результат освоєння і переробки інформації, яка отримувалася від навколишнього середовища і накопичувалася суспільством".

Інформаційний потік, який переробляється біотою при здійсненні нею функцій регуляції навколишнього середовища, на 16 порядків (!) перевищує передбачувані технічні можливості цивілізації.

(В.Горшков, 1995)

В Україні діють ***законодавчо визначені економічні механізми*** охорони навколишнього природного середовища (природоохоронний економічний механізм) і природокористування. Методом порівняльного аналізу можна визначити напрями як гармонізації, так і підвищення ефективності національного еколого-економічного механізму. Це потребує прийняття ***спеціальної комплексної міжвідомчої програми*** гармонізації і вдосконалення національного еколого-економічного механізму охорони навколишнього середовища та природокористування.

Інформаційний механізм здійснення екологічної політики та екологічного управління складається з державних і громадських екологічних інформаційних систем одержання, обробки, збереження, надання і подальшого використання інформації про стан навколишнього середовища і динаміку процесів у ньому. До ***екологічних інформаційних інструментів*** належать різномасштабні бази екологічних даних, екологічний моніторинг, картографування і кадастри, геоінформаційні системи, моделювання і прогнозування антропогенних екологічних процесів, а також соціально-екологічні інформаційні заходи в галузях екологічної освіти, культури, виховання, пропаганди та реклами.

Державні органи повинні здійснювати практичні заходи щодо ефективного забезпечення доступу громадськості до екологічної інформації, що надходить як безпосередньо від органів влади, так і від суб'єктів господарської діяльності. Будь-яке обмеження такого доступу має бути законодавчо обґрунтоване положеннями щодо забезпечення прав на особисте життя, конфіденційність, промислову і комерційну таємницю або національну безпеку. У кожному конкретному випадку мотивовані обґрунтування мають бути доведені до відома громадськості.

З метою створення ***ефективного і впливового громадського контролю*** суб'єктів економічної діяльності (в інтересах держави), який змушує їх впроваджувати екологічно безпечні технології і виробляти екологічно чисту продукцію, державні службовці мають підтримувати заходи щодо підвищення поінформованості населення. Цьому сприятиме законодавче закріплення за недержавними екологічними організаціями прав, зокрема й права доступу до екологічної інформації і права на судовий розгляд.

Структурні механізми (структура виробництва, структура споживання) передбачають запровадження або інтеграцію екологічних вимог і завдань в економічну політику, поліпшення ставлення суб'єктів господарської та економічної діяльності до відтворення й охорони навколишнього середовища.

Мета структурних перетворень — формування економіки замкнутого циклу з такими основними напрямами її розвитку: ***скорочення, заміщення, рекуперація, рециркуляція і повторне використання.*** Управління мінімізацією відходів із застосуванням екоаудиторських методологій має стати частиною ширшого підходу до зміни виробничих процесів і структур споживання. На першому етапі головну увагу слід приділяти ***екологічній модернізації*** підприємств, виробництв відповідно до висновків екоаудитів і застосування некапіталомістких способів поліпшення екологічних ***характеристик продукції.***

Необхідно впроваджувати ***саморегулювальні системи екологічного управління і аудиту*** у промисловому секторі, зокрема на підставі добровільних угод між природоохоронними органами і промисловими об'єднаннями (торгові палати, асоціації виробників). Компетентні державні органи повинні разом із промисловими об'єднаннями прагнути поетапного досягнення довготермінових екологічних цілей на рівні виробничих секторів економіки і конкретних груп пріоритетних виробництв і товарів.

У державі мають бути створені умови для поступового впровадження програми ***добровільного екологічного аудиту.*** Необхідно надати компаніям державну допомогу (правову, навчальну, методологічну тощо) у створенні власних систем екологічного управління і аудиту. Держава має всебічно сприяти добровільному впровадженню систем екологічного маркування продукції, заохочувати участь у міжнародному узгодженні відповідних стандартів і критеріїв.

Механізм підприємницької підтримки екологічної політики і управління, своєю чергою, потребує державної підтримки розвитку ***екологічних робіт та послуг*** як саморегулювального сектора ***екологічного бізнесу і ринку.*** Належні умови мають бути створені і для фірм, що безпосередньо займаються охороною навколишнього середовища. Правового і фінансового забезпечення потребують фірми, що спеціалізуються на виробництві природоохоронного обладнання, ***екологічному консультуванні, а також різні об'єднання екологічних підприємств.***

Структура підприємницького механізму підтримки екологічної політики і управління складається з ***16 підприємницьких принципів*** сталого розвитку, що викладені в Хартії Міжнародної Торгової палати:

1) ***корпоративний пріоритет*** — визнання принципу екологічного управління одним із найвищих корпоративних пріоритетів і вирішальним чинником сталого розвитку; визначення політики, програм і технічних правил здійснення діяльності на основі об'єктивного вивчення екологічних проблем;
2) ***комплексне управління*** — повне інтегрування політики, програми й технічних правил діяльності в кожний вид підприємницької діяльності як найважливішого елемента управління всіма його функціями;
3) ***процес удосконалення*** — неперервне поліпшення політики, програми та екологічних характеристик з урахуванням наукових і технічних досягнень, потреб споживачів і суспільства, з орієнтацією при цьому на відповідні правові норми та міжнародні екологічні критерії;
4) ***навчання працівників*** — навчання, підготовка і спонукання працівників здійснювати свою діяльність з відповідальністю за навколишнє середовище;
5) ***попереднє оцінювання*** — оцінювання впливу об'єкта на навколишнє середовище до початку його діяльності чи реалізації проекту і перед тим, як демонтувати виробничий об'єкт чи залишити місце його розташування;
6) ***продукція чи послуги*** — виробництво і постачання продукції чи надання послуг, які не справляють шкідливого впливу на навколишнє середовище, є безпечними у використанні за призначенням, забезпечують економне споживання енергії та природних ресурсів, можуть бути рециркульовані, повторно використані чи безпечно видалені;
7) ***консультування замовників*** — консультування і навчання замовників, дистриб'юторів та населення безпечного використання, транспортування, зберігання та утилізації продукції виробництва; це стосується і надання послуг;
8) ***обладнання і роботи*** — розробка, проектування, експлуатація обладнання, виробнича діяльність передбачають економне використання відновлених ресурсів,

мінімізацію несприятливих впливів на навколишнє середовище, зменшення кількості відходів, їх зберігання, переробку чи знешкодження;

9) ***дослідження*** — проведення і сприяння проведенню досліджень впливу на навколишнє середовище сировини, матеріалів, продукції, виробничих процесів, відходів, а також способів мінімізації їх несприятливого впливу;

10) ***запобіжний підхід*** — модифікація відповідно до наукових і технічних досягнень виробничих процесів, маркетингу, використання продукції чи послуг, проведення діяльності з метою запобігання значній або незворотній екологічній деградації;

11) ***підрядники і постачальники*** — сприяння дотриманню перелічених вище принципів підрядниками, що діють від імені підприємства, і постачальниками, вимоги узгодження їхніх технічних правил із технічними правилами підприємства;

12) ***аварійна готовність*** — розробка спільно з аварійними службами та відповідними органами влади плану аварійної готовності з огляду на потенційно можливий міжтериторіальний вплив;

13) ***передача технологій*** — сприяння поширенню екологічно безпечних технологій та методів управління у промисловому і громадському секторах;

14) ***внесок у спільний результат*** — участь у розвитку державної екологічної політики, а також у розробленні підприємницьких, урядових та неурядових програм, в ініціативах у сфері освіти і, отже, сприяння таким чином зростанню екологічної свідомості та охороні навколишнього середовища;

15) ***відкритість та сприйнятливість*** — створення сприятливих умов для ведення відкритого діалогу з працівниками підприємств і громадськістю з метою виявлення та запобігання потенційній небезпеці, а також впливам на навколишнє середовище робіт, продукції, відходів чи послуг, разом із тими, що мають міжтериторіальний чи глобальний характер;

16) ***відповідність і звітність*** — регулярне подання інформації про екологічні показники виробництва, фірми, підприємства, проведення регулярних екологічних аудитів і оцінювання його відповідності внутрішньофірмовим вимогам і принципам; періодичне подання належної інформації раді директорів, акціонерам, працівникам, органам влади та громадськості.

Екологічна політика держави здійснюється за широкої участі її представників у ***найважливіших міжнародних екологічних конвенціях та в міжнародному правовому полі*** діяльності міжнародних урядових і неурядових організацій.

Україна підписала понад 70 міжнародних двосторонніх та багатосторонніх екологічних угод. Виконання нею зобов'язань, що випливають із багатосторонніх угод, вимагає приведення внутрішніх законів та нормативно-правових актів у відповідність із чинними нормами міжнародного права та врахування існуючої міжнародної практики під час розроблення нових законодавчих актів.

У найближчі роки очікується значне зростання міжнародних зобов'язань України, оскільки існує ціла низка конвенцій, приєднання до яких (а також підписання нових) матиме для України суттєве політичне значення і значно посилить можливості у сфері охорони довкілля, використання та відтворення природних ресурсів.

Поряд із виконанням зобов'язань, що випливають із багатосторонніх угод у сфері охорони довкілля, перспективно важливим є подальше ***розширення міжнародної співпраці України*** за такими напрямами:

- співпраця з міжнародними організаціями системи ООН у галузі охорони довкілля (ЮНЕП — Програма ООН з навколишнього природного середовища,

ЄЕК ООН — Європейська Економічна комісія ООН, ПРООН — Програма розвитку ООН, МАГАТЕ — Міжнародне агентство з атомної енергетики ООН, ФАО — Організація з продовольства і сільського господарства, Центр ООН по населених пунктах, Комісія сталого розвитку, Глобальний екологічний фонд та ін.);

- співпраця на двосторонній основі у галузях охорони довкілля, раціонального використання природних ресурсів, ядерної та радіаційної безпеки з урядами сусідніх держав, держав — стратегічних партнерів і донорів у рамках двосторонніх угод, спільних програм тощо;
- участь у регіональних природоохоронних заходах (Чорне та Азовське моря, Дніпро, Дунай, Карпати, Донбас та ін.);
- участь у міжнародних програмах ліквідації наслідків Чорнобильської аварії, зокрема в рамках Меморандуму про взаєморозуміння між урядами країн "Великої сімки", Європейської комісії та України щодо закриття Чорнобильської АЕС (реалізація Плану підвищення безпеки об'єкта "Укриття", завершення будівництва нових атомних енергоблоків, які компенсують втрату потужностей Чорнобильської АЕС, розв'язання проблеми радіоактивних відходів, нейтралізація перенесення забруднень повітряними та водними потоками тощо).

Питання для самоконтролю

1. *Що вивчає економіка природокористування?*
2. *Дайте визначення раціонального і нераціонального природокористування.*
3. *Які процедури виконуються під час комплексної економічної оцінки природоохоронних заходів?*
4. *Назвіть основні державні документи України природоохоронного напряму.*
5. *Що таке екологічні стандарти?*
6. *Що таке гранично допустимі концентрації (ГДК), викиди (ГДВ) і скиди (ГДС)?*
7. *Що таке система екологічного контролю?*
8. *Які ви знаєте типи екологічної експертизи?*
9. *Визначте поняття "екологічний аудит" і "екологічний менеджмент".*

Частина II

ПРАКТИКУМ

ВСТУП

Розділ 1. СУЧАСНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ ДОВКІЛЛЯ

Розділ 2. ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ПОВІТРЯ

Розділ 3. ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ

Розділ 4. ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ҐРУНТІВ

Розділ 5. ЕКОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЖИВОЇ ПРИРОДИ

Розділ 6. ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ ДОВКІЛЛЯ

Розділ 7. РОЗРАХУНКИ ЕКОНОМІЧНИХ ЗБИТКІВ ВІД ЗАБРУДНЕННЯ ДОВКІЛЛЯ

Вступ

Сучасні екологічні дослідження мають комплексний характер, охоплюючи дослідження гірських порід (геологія), вивчення хімічного складу повітря, вод, ґрунтів, рослинного і тваринного світу (хімія), спостереження за живими організмами, їх функціонуванням на різних рівнях організації: молекулярно-генетичному, органному, організмовому, популяційному, екосистемному (біологія). Недаремно на межі наук спостерігаються найцікавіші явища, створюються нові науки. Отже, екологічні дослідження об'єднують зусилля спеціалістів багатьох наук. Дедалі більшого значення набувають математичні методи планування експерименту, створення моделі окремого процесу, обробка результатів дослідження, складання прогнозів.

Математичне моделювання допомагає створити цілісну картину того чи іншого явища, передбачити коротко- чи довготермінові наслідки певного порушення функціонування екосистеми в локальному або глобальному масштабі.

Першими системами, які вивчалися кількісними методами, були системи "хижак-жертва" (А.Лотка в 1925 р. і В.Вольтерра у 1926 р. створили математичні моделі росту окремої популяції і динаміки популяцій, пов'язаних відношеннями конкуренції і хижацтва).

Комп'ютерне моделювання досить просте і дає змогу легко модифікувати модель.

Останнім часом спостерігається тенденція до більш комплексних моделей, які охоплюють великі території. Перші глобальні моделі світу містили 5 рівнів і зв'язки між ними: народонаселення, промисловість, сільське господарство, природні ресурси, стан довкілля (Дж.Форрестер і група Д.Медоуза). Про ускладнення моделей свідчить той факт, що на ранніх стадіях моделювання світу кількість співвідношень сягала кількох сотень, тоді як у моделі М.Месаровича і Е.Пестеля їх близько 100 тисяч.

Екологічні дослідження включають спостереження в природі (за окремими видами живих організмів, відносинами між популяціями в екосистемі, впливом абіотичного чинника на функціонування угруповань рослин чи тварин тощо), лабораторні дослідження (аналіз повітря, вивчення активності ферментів, спостереження за діяльністю мікроорганізмів), аналіз отриманої інформації та її математичну обробку, створення на цій підставі теорії чи передбачення наслідків.

Особливістю і складністю екологічних експериментів є те, що світ надзвичайно складний, багатогранний і його компоненти пов'язані в єдине ціле численними зв'язками, тому лабораторні дослідження чи спостереження в природі дуже важко об'єднати, результати одних експериментів перенести на інший рівень.

Останнім часом найновіші досягнення хімії, біології, фізики, математики та інших галузей науки і техніки до послуг екології. Тому і досягнення цієї інтегральної

науки дедалі глибші й цікавіші; вони дають змогу побачити цілісність світу, проникнути в його сутність, зрозуміти явища, передбачити наслідки того чи іншого процесу.

Часто проведення досліджень стану довкілля має глобальний характер, зокрема при веденні моніторингу (від лат. "монітор" — той, що наглядає, нагадує, попереджає), вивченні стану озонової оболонки Землі, виявленні негативного впливу на природне середовище кислотних дощів, визначенні зон особливого забруднення Світового океану тощо.

Встановлення хімічного складу і фізичних властивостей елементів довкілля — повітря, води, ґрунтів — досить важке завдання і вимагає певних навичок. Особливістю повітря є його надзвичайна рухливість, тому забрудник в атмосфері може дуже швидко розсіятися, змінити своє місцеперебування, вступити в хімічну взаємодію з компонентами атмосферного повітря чи іншими забрудниками. Це саме стосується і води, хоча вона менш рухливе середовище, ніж повітря. Особливістю ґрунтів є їхня мозаїчність — на незначній території хімічний склад різних ділянок може значно відрізнятися за вмістом вологи, концентрацією біофільних елементів, забрудників, кислотністю тощо, що зумовлює і відмінності в рослинному і тваринному світі, які, в свою чергу, прямо чи опосередковано впливають на свій екотоп.

Склад повітря, поверхневих вод та ґрунтів взаємно впливають одне на одне. Його формують і живі організми, починаючи від найпростіших — мікроорганізмів — до вищих тварин. Однак найбільший коригувальний вплив на стан довкілля чинить господарська діяльність людини. Саме людина змінює довкілля до невпізнанності, будуючи житло, господарські об'єкти, транспортні артерії, видобуваючи корисні копалини та викидаючи й складаючи відходи виробництва.

Хімічний склад компонентів довкілля змінюється в часі та при зміні умов середовища: температури, вологості, тиску, наявності певних речовин. Він залежить також від характеру рельєфу та його геологічної будови, особливостей і обсягів техногенного тиску, динаміки фізико-географічних умов. Тому відбір проб (місце точок відбору, відстань між ними, обсяги зразків і особливості їх зберігання тощо) має велике значення для правильності встановлення складу природних об'єктів, прогнозування забруднення та його поширення, визначення можливості й швидкості процесів самоочищення повітря чи поверхневих природних вод, загрози фотохімічного смогу під час розв'язання екологічних і народногосподарських завдань.

Від фізико-географічних умов довкілля, особливостей і обсягів його забруднення, пов'язаних із різними типами людської діяльності, залежить вибір методів екологічної оцінки території, об'єкта чи акваторії, час виконання, тривалість і детальність досліджень.

Впродовж останніх років в екологічних дослідженнях все ширше застосовуються геоінформаційні системи (ГІС) — сучасні комп'ютерні технології для картографування та аналізу об'єктів реального світу. ГІС базуються на автоматизації інформаційних процесів, базах картографічних і аерокосмічних даних і дають змогу швидко та комплексно інтерпретувати зібрану інформацію, поновлювати, оперувати нею, поєднуючи з прийняттям управлінських рішень на різних рівнях.

В Україні розроблені карти масштабом 1:200 000 і 1:50 000, які можна використовувати в природоохоронних, науково-дослідних, рекреаційних цілях з метою ведення моніторингу.

Розділ 1

СУЧАСНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ ДОВКІЛЛЯ

Під час дослідження стану довкілля кількісному визначенню часто передує *якісний аналіз* на наявність того чи іншого хімічного елемента, йона, сполуки.

Реакції, які використовуються в якісному аналізі, мають супроводжуватися візуальним ефектом:

- появою чи зникненням осаду;
- появою, зникненням чи зміною кольору розчину;
- виділенням газів;
- утворенням кристалів характерного кольору і форми;
- появою забарвлених перлів;
- забарвленням полум'я;
- появою світіння;
- виникненням характерного забарвлення при розтиранні речовин.

Зокрема, наявність плюмбуму в ґрунті виявляють за допомогою йодиду, хромату або сульфату калію за появою характерного осаду:

$$Pb(NO_3)_2 + 2KI = PbI_2\downarrow \text{ (яскраво-жовтий)} + 2KNO_3;$$

$$Pb(NO_3)_2 + K_2CrO_4 = PbCrO_4\downarrow \text{ (жовтий)} + 2KNO_3;$$

$$Pb(NO_3)_2 + K_2SO_4 = PbSO_4\downarrow \text{ (білий)} + 2KNO_3;$$

нітрат- і нітрит-іони у фруктах і овочах — дифеніламіном, який окиснюється за їх наявності до бензидинової сині. У XIX столітті патер Ф.Денца визначав озон в атмосферному повітрі впродовж 26 років, розвішуючи на подвір'ї папірці, змочені розчином йодиду калію; за ступенем їх побуріння внаслідок виділення йоду діставав інформацію про приблизний вміст озону.

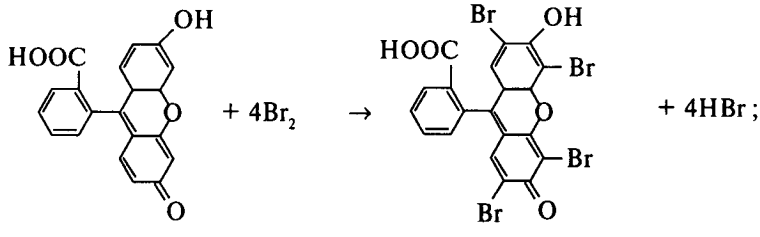
Газовидільні реакції проводять у мікрогазових камерах або пробірках, вносячи туди краплину реагента чи реактивний папір (фільтрувальний папір, оброблений відповідним реагентом), змочений водою. Газ, що виділяється, вступає в хімічні реакції, що супроводжуються появою характерного кольору сполуки.

H_2S визначають за допомогою папірця, змоченого $Pb(NO_3)_2$:

$$Pb(NO_3)_2 + H_2S = PbS\downarrow \text{ (чорний)} + 2HNO_3.$$

Cl_2 викликає почервоніння папірця, змоченого KBr і флюоресцеїном:

$$Cl_2 + 2Br^- = 2Cl^- + Br_2;$$



флюоресцеїн

тетрабромфлюоресцеїн (еозин) (червоний)

NH_3 — за появою бурої плями на папірці, обробленому реактивом Несслера:

$$NH_3 + 2K_2[HgI_4] + 3KOH \rightarrow \left[H_2N\begin{matrix}\diagup Hg \diagdown \\ \diagdown Hg \diagup\end{matrix}O\right] I\downarrow + 7KI + 2H_2O.$$

(бурий)

При сплавлянні кристалічних солей з бурою $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ чи фосфатом натрію на платиновій петлі в полум'ї газового пальника утворюються прозорі забарвлені "перли" характерного кольору: купруму і хрому — зелені, кобальту — блакитні, феруму і нікелю — жовті, мангану — фіолетові, стибію (сурми) — безбарвні.

Попередній висновок про наявність певного хімічного елемента можна зробити і на підставі **забарвлення ним полум'я пальника** (пробу сухої речовини чи розчин наносять на ніхромовий дротик у формі кільця, змочений попередньо розчином хлоридної кислоти і прожарений у полум'ї).

Літій, кальцій і стронцій забарвлюють полум'я в коричнево-червоний колір, натрій — у жовтий, калій — у фіолетовий, купрум, бісмут, бор, барій — в зелений, стибій — у блакитний.

При розтиранні аналізованої проби з сухим реагентом на фарфоровій пластинці чи папері (іноді в присутності гідросульфату калію $KHSO_4$) відбуваються характерні реакції, що супроводжуються зміною забарвлення. Ці реакції часто використовують при встановленні типу мінералу:

$$FeCl_3 + 3NH_4SCN = Fe(SCN)_3 \text{ (червоний)} + 3NH_4Cl;$$

$$CdSO_4 + Na_2S = CdS \text{ (жовтий)} + Na_2SO_4;$$

$$Hg(NO_3)_2 + 2KJ = HgJ_2 \text{ (оранжевий)} + 2KNO_3.$$

Ч.II

Для якісного виявлення використовують і **люмінесцентні реакції** (для збудження люмінесценції необхідна ртутна лампа чи лампа накалювання). Це чутливий метод. Зокрема, при взаємодії з 8-оксихіноліном Li^+ дає блакитну люмінесценцію, Ag^+ і K^+ — жовто-зелену, Al^{3+} — зелену, Mg^{2+} з люмомагнезоном — рожеву, Pb^{2+} з піридином і йодидом калію — жовто-коричневу, Cd^{2+} — блакитну.

Якісний аналіз дає змогу діагностувати засолення ґрунтів.

На практиці частіше користуються *кількісними методами аналізу.*

На основі вимірюваних параметрів методи кількісного аналізу поділяють на хімічні, фізико-хімічні, фізичні та біологічні.

Вибір методу дослідження для визначення того чи іншого компонента залежить від потрібної точності аналізу, доступності методу для виконання, вмісту аналізованої речовини, хімічного складу досліджуваного об'єкта тощо (***табл. 1.1***).

Нижче описані основні методи аналізу, що використовуються при вивченні стану довкілля, та їх можливості.

1.1. Хімічні методи

Титриметричний (об'ємний) метод аналізу ґрунтується на вимірюванні об'єму розчину реагента відомої концентрації, витраченого на взаємодію з аналізованою речовиною за умови, що речовини вступають у реакцію в стехіометричних кількостях. Концентрація визначуваного компонента 10^{-1}—10^{-3} моль/л.

Цим методом визначають загальну і карбонатну твердість води, хімічне споживання кисню (ХСК), біохімічне споживання кисню ($БСК_5$), кислотність, лужність, вміст розчиненого кисню, концентрацію катіонів меркурію, феруму (II), аніонів Cl^-, SO_4^{2-}, S^{2-} тощо.

Таблиця 1.1. **Методи визначення деяких хімічних інгредієнтів у об'єктах природного середовища**

Метод	Визначувані інгредієнти в об'єктах природного середовища		
	у ґрунтах та донних мулах	у природних водах	у повітрі (газах та аерозолях)
Гравіметричний	Вологість, мінеральний залишок, SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, карбонати	SO_4^{2-}, нафтопродукти, завись, мінеральний залишок	Запиленість (вміст пилових часток)
Титриметричний	CO_3^{2-}, HCO_3^-, Cl^-, SO_4^{2-}, Ca, Mg	Кисень (розчинений), CO_2, CO_3^{2-}, SO_4^{2-}, H_2S, Cl^-, NH_4^+, твердість води (загальна і карбонатна), ХСК, $БСК_5$	Кислоти та кислотні оксиди
Фотометричний	NO_2^-, NO_3^-, F^-, PO_4^{3-}, Al, Hg, Cu, NH_4^+	Кольоровість, органічні речовини, H_2S, NO_2^-, NO_3^-, P (неорг.), Fe, Cu, Al	CO, CS_2, SO_2, HCl, HNO_3, Al, Fe, Pb, пестициди, деякі органічні сполуки
Люмінесцентний	Нафтопродукти	Нафтопродукти, хлорорганічні ароматичні сполуки, спирти, 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, Pb, Al, Fe та ін.	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 та хемілюмінесцентні	Катіони важких металів	Mn, Cu, Ni, Fe (III), амінокислоти	Озон
Потенціометричні	pH, F^-,NO_3^-, K, Ca,	pH, F^-, Cl^-, NO_3^-, Cu, Ca, K, 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_4^+, Mg, Ca, Cl^-, SO_4^{2-}, органічні сполуки	CO, CO_2, SO_2, Cl_2, CCl_4, Al, Cu, органічні сполуки

Гравіметричний метод базується на кількісному переведенні аналізованого компонента в малорозчинну сполуку і зважуванні продукту після виділення, промивання, висушування чи прожарювання.

Метод застосовують при концентрації визначуваної речовини в розчині не нижче 10^{-2}—10^{-3} моль/л.

Гравіметричним методом визначають у природних і стічних водах ферум (III) та алюміній у вигляді оксидів, хлориди — AgCl, сульфати — $BaSO_4$ в кислому середовищі, багато металів — у вигляді малорозчинних сполук з органічними реагентами — оксихінолінатів, дитизонатів тощо.

1.2. Фізико-хімічні методи

Ця група методів ґрунтується, як і хімічні, на хімічних реакціях, однак визначають фізичну характеристику (оптичну густину, електропровідність, окисно-відновний потенціал), що залежить від вмісту аналізованої речовини.

Фотометричний аналіз охоплює всі методи, які ґрунтуються на поглинанні світла в ультрафіолетовій, видимій та інфрачервоній частинах електромагнітного спектра визначуваною речовиною чи продуктом реакції.

Фотометричні методи високочутливі, розроблені для визначення практично всіх хімічних елементів, крім інертних газів; з їх допомогою визначають як макро-, так і мікрокількість (до 10^{-8}%) аналізованого компонента.

Методи фотометрії широко застосовують в аналізі природних об'єктів: повітря, поверхневих вод, ґрунту, донних мулів, рослин, а також стічних вод, газоподібних викидів, відходів промисловості. Наприклад, катіони купруму визначають у вигляді діетилдитіокарбамату купруму жовтого кольору, чи аміачного комплексу $[Cu(NH_3)_4]SO_4$ волошково-синього кольору; ферум (III) — у вигляді роданідного комплексу $Fe(SCN)_3$ криваво-червоного кольору чи сульфосаліцилату (залежно від pH середовища окремо можна визначити вміст Fe(II) і Fe(III)); Al^{3+} утворює рожеві комплекси з алюміноном в ацетатному буфері.

Хроматографічний аналіз — метод розподілу, концентрування, якісного виявлення та кількісного визначення компонентів рідких і газоподібних сумішей, що ґрунтується на різному їх розподілі між рухомою і нерухомою фазами.

Метод все частіше використовують для аналізу стану довкілля. Саме завдяки йому вдалося швидко виявити стафілококове та мікозне ушкодження ліквідаторів аварії на ЧАЕС.

Високоефективна рідинна хроматографія — найбільш вживаний метод аналізу складних органічних проб. В установках рідинної хроматографії (як і в газових) використовують різноманітні детектори: ультрафіолетовий, електрохімічний, детектор з діодною матрицею, флуорометричний. 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 флуорометричний детектор. До речі, хроматографічними методами криміналістика виявляє в організмі алкалоїди, що спричинили отруєння.

Методом газорідинної хроматографії визначають склад стічних вод нафтопереробних та хіміко-фармацевтичних підприємств, заводів органічного синтезу.

Газова хроматографія характеризується високою розподільною здатністю, гнучкістю завдяки застосуванню різних детекторів. Найуживанішим є полуменево-йонізаційний; для визначення галогеновуглеводнів застосовують детектор електронного захоплення; азото- і фосфоровмісні агрохімічні препарати виявляють за допомогою спеціального N/P-детектора.

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; у разі безбарвних сполук їх проявляють фізичним (УФ-опромінення, нагрівання) або хімічним (обробка реагентом, який утворює забарвлені сполуки з речовинами, наприклад амінокислоти набувають блакитного кольору після обробки їх розчином нінгідрину) способом. Це якісне виявлення компонентів суміші; кількісний склад визначають за площею плями або розчиняють вміст у відповідному розчиннику і аналізують одним із методів.

Методом тонкошарової хроматографії розділяють амінокислоти і барвники рослин, визначають активність ґрунтової фауни за продукцією амінокислот.

Йонообмінну хроматографію використовують для розділення елементів із подібними хімічними властивостями. Так, елююванням розчином HCl з концентрацією 1 моль/л можна розділити катіони натрію і калію. Йонообмінна хроматографія дає змогу після попереднього розділення і послідовного вилучення компонентів суміші з колонки визначити їх вміст фотометричним, титриметричним чи іншим способом.

Цим методом визначають загальну твердість води, вміст катіонів важких металів у воді, ґрунті, донних мулах.

Методом йонної хроматографії визначають понад 70 аніонів неорганічних і органічних кислот, катіони лужних і лужноземельних металів у воді, продуктах, лікарських препаратах тощо.

Молекулярно-ситова хроматографія дає змогу розділяти речовини на основі різних розмірів їх молекул. Так можна розділити, наприклад, мономерні й полімерні гідроксокомплекси алюмінію, які мають різну токсичність і механізм дії на гідробіонтів у разі їх надлишку в природних водах.

Електрохімічні методи аналізу. ***Потенціометрія.*** *Методом абсолютної потенціометрії* вимірюють потенціал E і за рівнянням Нернста обчислюють концентрацію йона в речовині. Метод використовують для визначення pH природних і стічних вод за допомогою скляного електрода; йоноселективні електроди дають змогу встановити вміст нітратів у рослинах та продуктах, концентрацію катіонів натрію, калію, кальцію, магнію, купруму, аніонів Cl^-, Br^-, J^-, CN^- та ін.

Методом потенціометричного титрування визначають численні сполуки; порівняно зі звичайним титриметричним методом він дає змогу аналізувати забарвлені і каламутні середовища. Потенціометричні біодатчики використовують для визначення концентрації пестицидів у складних багатокомпонентних системах.

Вольтамперометрію поділяють на два типи: *полярографічний аналіз*, що базується на процесі електролізу і вивченні залежності сили струму від прикладеної напруги (цим методом у природних водах і ґрунтах визначають вміст цинку, кадмію, плюмбуму, купруму; з попереднім екстракційним відділенням токсичних елементів — залишкову кількість плюмбуму у виноградному соці з чутливістю 0,002 мг/л; токсичні елементи в продуктах, повітрі, стічних водах; користуються методом і для визначення концентрації вітамінів, ферментів, гормонів в організмі людини, для діагностики захворювань), і *амперометричне титрування* (дає змогу визначати аніони, для яких немає точних і швидких титриметричних методів: $C_2O_4^{2-}$, SO_4^{2-}, CO_3^{2-}, PO_4^{3-}, MoO_4^{2-}, а також багато органічних сполук).

Методами абсорбційної інверсійної вольтамперометрії визначають понад 40 катіонів металів, численні аніони, органічні сполуки (білки, ферменти, лікарські препарати, пестициди, стимулятори росту тварин, комплексони) в різних екологічних об'єктах.

Кондуктометрію (аналіз за електричною провідністю) використовують для визначення концентрації розчинених солей у питних водах і водах для теплообмінного обладнання (*пряма кондуктометрія*). *Кондуктометричним титруванням* визначають суміші кислот у водному та водно-органічному середовищах, численні катіони й аніони; титруванням розчином $BaCl_2$ визначають сульфати, хромати, оксалати, карбонати, цитрати; трилоном Б за різних значень pH аналізують суміші катіонів металів без попереднього їх розділення.

1.3. Фізичні методи

Спектральний аналіз — це фізичний метод визначення складу та будови речовини за її спектром — упорядкованим за довжиною хвилі електромагнітним випромінюванням. Для збудження атомів використовують полум'я пальника, енергію електричної дуги чи іскри.

Спектральний аналіз дає змогу встановити елементний, нуклідний і молекулярний склад речовини та її будову (***атомно-емісійний спектральний аналіз***).

Методом полуменевої фотометрії кількісно визначають понад 70 хімічних елементів, зокрема й катіони лужних і важких металів у природних водах.

Атомно-абсорбційний спектральний аналіз ґрунтується на визначенні концентрації речовини за поглинанням шаром атомної пари елемента монохроматичного резонансного випромінювання.

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, Cu — 0,07, Pb — 0,12 мкг/л).

Переносний аналізатор ртуті РА-915 дає змогу проводити неперервний моніторинг вмісту цього токсичного металу в повітрі робочого приміщення, в атмосферному повітрі з автомобіля, судна, гелікоптера; методом холодної пари — у водах, методом піролізу — в харчових продуктах, нафті, крові, волоссі.

Портативний рентгенофлуоресцентний спектрометр Спектроскан-S дає можливість визначати вміст 73 хімічних елементів. В екології його застосовують для контролю виробничих викидів, визначення концентрації металів у повітрі, воді, ґрунті, в пошуку руд, для контролю збагачення.

Мас-спектрометрія базується на розділенні газоподібних йонів у магнітному полі залежно від відношення величини маси йона (m) до його заряду (z), яке впливає на інтенсивність сигналу. Метод застосовують 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 забруднювальну речовину — тетрахлордибензодіоксин у концентрації 10^{-6} мг/кг.

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

Радіометричні методи аналізу ґрунтуються на виявленні й вимірюванні як природної, так і штучної радіоактивності.

Для кількісного визначення радіоактивності використовують поняття **абсолютної активності** радіоактивних речовин, яку вимірюють у кюрі, та **питомої активності** — радіоактивності одиниці маси даної речовини, тобто міри відносного вмісту радіонуклідів у досліджуваному зразку. Її виражають числом розпадів за хвилину (чи секунду) і вимірюють у беккерелях.

Використовуючи *природну радіоактивність*, кількісно визначають понад 20 хімічних елементів, зокрема уран, торій, радій, актиній. Калій можна визначити у воді в концентрації 0,05 моль/л. Природна радіоактивність лежить в основі пошуку уранових руд за допомогою авіації та супутників.

Радіонукліди застосовують для виявлення пошкоджень у газопроводах, визначення місць витікання води з магістральних колекторів стічних і каналізаційних вод.

Активаційний аналіз ґрунтується на опроміненні нерадіоактивних елементів нейтронами, протонами та іншими високоенергетичними часточками, внаслідок чого вони набувають радіоактивності.

На практиці використовують ***відносний метод аналізу***, коли за однакових умов опромінюють досліджуваний зразок і еталон з відомим вмістом визначуваного елемента. Часто зразок після опромінення розчиняють, здійснюють концентрування методами осадження, співосадження, екстракції, хроматографії і визначають активність продуктів розділення.

Метод ізотопного розбавляння полягає у введенні ізотопа визначуваного елемента в аналізований розчин, що набуває активності, потім цей елемент переводять в осад (екстрагують, хроматографують) і визначають активність розчину після його видалення. За різницею визначають активність осаду (екстракту, елюату) і обчислюють вміст компонента в зразку.

Рентгеноспектральний аналіз базується на послабленні інтенсивності рентгенівського випромінювання під час проходження крізь пробу. В рентгенофлуоресцентному 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.

Люмінесцентний аналіз ґрунтується на здатності речовин випромінювати світло під дією різних збудників: ультрафіолетового випромінювання або видимого світла (фотолюмінесценція), розламування (тріболюмінесценція), енергії хімічної реакції (хемілюмінесценція), яка дуже поширена в живій природі: світяться окремі види молюсків, ракоподібних, глибоководних риб, червів внаслідок взаємодії кисню з люциферином; ця реакція каталізується ферментом люциферазою, а явище називають *біолюмінесценцією.*

Деякі мінерали, наприклад флюорит 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 гладі Світового океану.

Сортовий аналіз використовують для визначення якості зерна (свіже і зерно, що псується, світяться по-різному в УФ-променях), різних видів палива, виявлення забруднень, сурогатів, підробок.

Тривалий час у більшості екологічних, технологічних, біохімічних лабораторій домінували фотометричні методи. Однак зниження ГДК і необхідність визначення забруднювальних і токсичних речовин у надзвичайно малих концентраціях зумовили широке впровадження люмінесценції, яка має високу селективність, дає змогу працювати з малими об'ємами, що зумовлює її переваги перед фотометричними методами.

Люмінесцентним методом аналізують природні й стічні води, повітря, ґрунт, продукти, визначають нафтопродукти — до 0,005 мг/л, феноли — 0,0005, кадмій — 0,0005, купрум — 0,05, у питній воді — плюмбум до концентрацій 0,005 мг/л, бензпірен — 0,00002 мг/л (ГДК цього забруднювача у повітрі населених пунктів — 0,0000001 мг/м^3).

У хемілюмінесцентному аналізі використовують суміш: люмінол + пероксид гідрогену (при pH>8,5), люцигенін + пероксид гідрогену (pH>9 — виникає блакитна люмінесценція); силоксен + окисник (pH<5,0, рожева люмінесценція); каталізують ці реакції метали Cr(III), Mo(VI), Hf(IV), 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 в надзвичайно малих кількостях (до 10^{-8} %).

Кількісний хемілюмінесцентний аналіз базується на вимірюванні інтенсивності або кількості виділеного в хімічній реакції світла фотографічним методом та за допомогою хемілюмінесцентних фотометрів. Хемілюмінесцентним методом визначають наявність мастил, каучуків, вітамінів, бітумів. Це один із найчутливіших методів, який дає змогу виявити $10—10^{-4}$ мкг/мл речовини.

Чутливість (найменша кількість речовини, яку можна виявити певним методом) інструментальних (фізичних та фізико-хімічних) методів аналізу наведена в ***табл. 1.2.***

Таблиця 1.2. **Чутливість інструментальних методів аналізу**

Метод	Межа виявлення, г	Метод	Межа виявлення, г
Фотометрія	$1 \cdot 10^{-6}$	Кулонометрія	$1 \cdot 10^{-10}$
Полярографія	$1 \cdot 10^{-8}$	Флуорометрія	$1 \cdot 10^{-10}$
Атомно-абсорбційний спектральний аналіз	$1 \cdot 10^{-10}$	Газова хроматографія	$1 \cdot 10^{-11}$
Емісійний спектральний аналіз	$1 \cdot 10^{-10}$	Кінетичний аналіз	$1 \cdot 10^{-11}$
		Мас-спектрометрія	$1 \cdot 10^{-12}$
		Радіоізотопний аналіз	$1 \cdot 10^{-15}$

1.4. Біохімічні методи

Основу біологічних та біохімічних методів дослідження становлять реакції рослин, тварин і мікроорганізмів на дію певного чинника. Зміни можуть відбуватися на різному рівні: активності ферментів, проникності мембран та зміні інших органел клітини, окремих органів, систем, організму в цілому, популяції, екосистеми.

Біологічні методи широко використовують з метою визначення стану довкілля (***біоіндикація***). Живі організми часто є тест-об'єктами при вивченні дії токсичних речовин (визначення ГДК і летальних доз), фармакологічного ефекту лікарських препаратів тощо. Біологічні методи використовують в аналізі біологічно активних речовин. Зокрема, антибіотики аналізують за їх здатністю зупиняти ріст мікроорганізмів; серцеві глікозиди — припиняти роботу ізольованого серця жаби; накопичення фенольних сполук в листі рослин — сигнал про стресову ситуацію.

У більшості випадків визначають активність ферментів, оскільки вони мають високу чутливість і вибірковість дії та дають змогу численним хімічним реакціям у живому організмі відбуватися за звичайних умов (амілаза каталізує розщеплення вуглеводів, глюкозооксидаза — окиснення Д-глюкози).

Активність цих біохімічних каталізаторів залежить від багатьох чинників, оскільки вони мають білкову природу: pH середовища, наявності окремих катіонів металів, що можуть збільшувати чи зменшувати їх активність, окисно-відновного потенціалу тощо.

Розроблено електроди, що фіксують зміну активності ферментів за зміною концентрації субстрату чи метаболіту. Зокрема, при інтоксикації коропа виявлено підвищення синтезу кетонових тіл (3-оксибутирату, ацетилацетону, ацетону) з метою адаптивного енергозабезпечення в умовах інтоксикації периферичних тканин, насамперед мозку. Універсальною реакцією на інтоксикацію є розвиток стрес-катаболічного синдрому, який зумовлює утворення і накопичення в клітинах аміаку (його критичний рівень у мозку риб становить 0,6 мкмоль/г тканини).

Вивчення ферментних реакцій має величезне значення при дослідженні функцій і визначенні концентрацій мікроелементів та інших біологічно активних сполук. Їх активність може бути тестом при вивченні забруднення довкілля окремими речовинами, зокрема важкими металами, що діють як ферментні отрути; кислотними оксидами тощо.

З метою контролю стану поверхневих природних вод використовують численні методи біотестування:

- зміну статичного стану п'явки медичної на динамічний;
- виживання та плодючість дафнії магна;
- біолюмінесценцію окремих видів бактерій тощо.

Контрольні запитання і завдання

1. *Чому кількісному аналізу часто передує якісний?*
2. *Назвіть основні фізичні, хімічні та фізико-хімічні методи аналізу, які широко використовуються у визначенні якості природного середовища.*

Розділ 2

ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ПОВІТРЯ

Склад повітря та його кількість — один із найважливіших, життєво необхідних екологічних чинників, від яких залежать колообіги хімічних елементів, життєдіяльність живих організмів, функціонування всієї біосфери.

Забруднення атмосферного повітря, особливо в приземному шарі, аерозолями та газоподібними сполуками негативно впливає на здоров'я людей, рослинний і тваринний світ.

Контроль за станом атмосфери здійснюють контактними і дистанційними методами.

За контактних методів аналізу проби повітря відбирають переважно аспіраційним методом, пропускаючи повітря крізь поглинальну систему. Поглиначі, які при цьому використовують, можна розподілити на три групи:

- **рідкі поглиначі** (фізична або хімічна абсорбція) — розчини кислот, основ, солей: аміак поглинають розчином сульфатної кислоти, оксиди сульфуру — лугом; отримані розчини можна аналізувати, здійснивши попереднє концентрування, видалення домішок (у разі потреби); їх використовують для поглинання парогазуватих речовин;
- **тверді поглиначі** — гідрофільні неорганічні матеріали (силікагель та молекулярні сита), гідрофобні (активоване вугілля), синтетичні макропористі органічні матеріали; вони поглинають гази, паруваті речовини, рідкі аерозолі; для вилучення їх із пор твердого сорбента здійснюють термодесорбцію (через нагріту трубку пропускають гелій, азот, аргон) або екстракцію гексаном, бензолом, етанолом тощо;
- **фільтрувальні матеріали** використовують для вловлювання твердих аерозолів, після аспірації їх розчиняють у розчинах кислот чи лугів і отримані розчини аналізують.

У практиці використовують механічні, теплові, магнітні, електричні, оптичні, хроматографічні, мас-спектральні газоаналізатори.

Крізь поглинальний розчин або сорбент за допомогою насоса чи звичайного медичного шприца прокачують газ, контролюючи об'єм поглинутої газової суміші і швидкість аспірації, яка не повинна перевищувати 1,5—2,0 л/хв для рідких поглинальних систем.

Якісний аналіз газових сумішей проводять ***органолептичним*** або ***індикаційним методом*** із використанням пористих сорбентів. *Органолептично* (за запахом) можна виявити гідрогенсульфур — сірководень H_2S, оксид сульфуру (IV) — сірчистий ангідрид SO_2, оксид нітрогену (IV) — бурий газ NO_2, бензол, хлор; за кольором — хлор, оксид нітрогену (IV). *Індикаційним методом* визначають озон (побуріння паперу, обробленого розчином KI), гідрогенсульфур (почорніння паперу, обробленого розчином $Pb(NO_3)_2$), аміак (червоний лакмусовий папірець синіє).

Дистанційними методами за допомогою зондів, авіації, космічних супутників визначають турбулентність потоків повітря, пилове забруднення, вміст вологи, концентрацію окремих забруднювальних речовин. Так, наступного дня після аварії на Чорнобильській АЕС хмару радіоактивних аерозолів було виявлено над територією Західної Європи з японського супутника.

Вперше радіохвилі були використані для аналізу стану йоносфери (за відбиванням і заломленням хвиль), а в 1965 р. було складено карту хмарового покриву майже над усією земною поверхнею.

З метою встановлення ступеня забрудненості повітря кількома речовинами, що діють одночасно, використовують комплексний показник — ***індекс забрудненості атмосфери (ІЗА)***. Для цього нормовані на відповідні ГДК середні концентрації домішок приводять до концентрації SO_2 і підсумовують. ІЗА показує, у скільки разів сумарне забруднення повітря перевищує ГДК SO_2.

Для спостереження за станом повітря в містах із населенням до 1 млн жителів встановлюють 2—5 стаціонарних постів, із населенням понад 1 млн — більше за 10: у центрі міста, в зоні відпочинку, поблизу пожвавлених автомагістралей, ТЕС, промислових підприємств.

На постах проводять спостереження за однією з програм:

- за повною — о 1, 7, 13, 19 год;
- за неповною — о 7, 9, 13 год;
- за скороченою — о 7 і 13 год;
- за добовою — один раз на добу.

У повітрі визначають вміст пилу та його гранулометричний склад, концентрацію води, оксидів сульфуру, нітрогену, карбону, кислот; якщо аналізують газові викиди підприємств чи повітря поблизу них, то визначають і специфічні сполуки, характерні для нього (гідрогенсульфур, бензол, важкі метали тощо).

2. 1. Оцінка запиленості повітря

Запиленість повітря — важливий екологічний чинник. Небезпека пилу для людини визначається його хімічною природою, концентрацією, формою часточок, токсичністю, здатністю сорбувати забруднювальні речовини.

За розміром часточок пил можна розподілити на дві групи:

- ***тонкодисперсний пил (порох)***, який складається з легких і рухомих часточок розміром до кількох десятків і сотень мікрометрів (1 мкм = 10^{-3} мм), який довго утримується в повітрі і в разі вдихання людиною може накопичуватися в легенях;
- ***грубодисперсний пил***, що складається з великих і важких часточок, який швидко осаджується з повітря.

У закритому приміщенні в 1 $см^3$ повітря може міститися до 10^6 пилових часточок різних розмірів, токсичності, природи.

Обладнання і матеріали: дистильована вода, 10%-й розчин хлоридної або сульфатної кислоти, терези аналітичні, вимірник витрат повітря, лопатки для взяття зразків пилу, мікроскоп з об'єктивом (х8), насос для просмоктування повітря (переносна ротаційна установка типу ПРУ), піпетка, скельце покривне і предметне скло для мікроскопа, секундомір, фільтри паперові типу АФА-10 з фільтротримачем (замість ПРУ можна використати водоструминний насос, який забезпечує всмоктування повітря з витратою не менш як 2 л/хв).

Хід роботи

1. Визначення відносної запиленості повітря

Наносять 1 краплю води на предметне скло. Встановлюють предметне скло у вибраному місці на 15 хв. Готують мікропрепарат, накривши краплю з осілими пиловими часточками покривним скельцем.

Вміщують мікропрепарат на предметний столик мікроскопа. Встановлюють таке збільшення, щоб у полі зору мікроскопа була якнайбільша частина краплі. Підраховують кількість пилових часточок у краплі і описують їх якісний склад (вигляд, структуру, взаємне розміщення, особливості будови тощо).

Визначають кількість пилових часточок, що осіли протягом 15 хв на поверхні краплі такої самої площі після витримування предметного скла з краплею в різних місцях одного й того самого приміщення, в різних приміщеннях.

2. Визначення якісного складу пилу

Відбирають зразок пилу, піддіваючи лопаткою відклади пилу на "доріжці" завширшки 3—5 см. Переносять зразок з лопатки на предметне скло. Готують мікропрепарат сухого пилу, накривши зразок пилу покривним скельцем.

Вміщують мікропрепарат на предметне скло мікроскопа і встановлюють таке збільшення, щоб у поле зору потрапила якнайбільша площа плями. Розглядають мікропрепарат під мікроскопом і описують зовнішній вигляд, форму, розміри, взаємне розміщення, колір часточок тощо. Піднімають покривне скельце препарувальною голкою, наносять на зразок пилу краплю розчину кислоти і відразу накривають покривним скельцем. Вміщують мікропрепарат на предметний столик, розглядають його під мікроскопом і описують зміни, що відбуваються зі зразком пилу в розчині кислоти.

3. Кількісне визначення концентрації пилу

Зважують фільтр на аналітичних терезах із точністю до 0,1 мг і записують початкову масу $m_{поч}$, мг.

Вміщують фільтр у фільтротримач, який потім герметично закривають і приєднують до установки: фільтротримач із фільтром, витратомір, насос. Вмикають прокачування повітря з витратою 10—20 л/хв (при використанні водоструминного насоса встановлюють максимально можливий вихід). Одночасно вмикають секундомір і визначають фактичну витрату повітря (в л/хв). Прокачують повітря крізь фільтр не менше ніж 1 год, визначаючи середню витрату повітря за час прокачування Q. Всього крізь фільтр бажано прокачати не менш як 2 м^3 повітря. Виймають фільтр із фільтротримача і знову зважують його $m_{кін}$.

Обчислюють масову концентрацію пилу C за формулою:

$$C = \frac{(m_{кін} - m_{поч}) \cdot 1000}{Q \cdot t}, \text{ мг/м}^3,$$

де 1000 — коефіцієнт перерахунку об'єму повітря з літрів у метри кубічні; t — тривалість прокачування повітря, хв.

Обробка результатів і висновки

1. Заносять результати проведених експериментів у таблицю.

№ пор. зразка пилу	Місце відбору зразка пилу	Результати спостережень		
		Кількість пилових часточок у полі зору при 15-хвилинній експозиції	Опис якісного складу зразка (з урахуванням поведінки в розчині кислоти)	Масова концентрація пилу, мг/м^3

2. Аналізують отримані результати і доходять висновків:
   - про якісний склад пилу;
   - про відносну запиленість повітря в різних точках приміщення;
   - про екологічний стан приміщення.

Контрольні запитання і завдання

1. Чому шкідливість пилу для здоров'я людини залежить від форми часточок?

2. Які джерела пилу можуть бути в кімнатному приміщенні?

3. Від яких чинників залежить здатність рослин очищати повітря від пилу? Наведіть приклади.

2.2. Оцінка запиленості листя дерев та токсичності пилу

Пилові часточки можуть мати різні розміри, колір, хімічну природу, форму тощо. Потрапляючи на листя дерев, вони не лише створюють перешкоду для проходження сонячного світла, знижуючи інтенсивність фотосинтезу, отже, і первинну продуктивність рослин, а й можуть завдавати механічних пошкоджень гострими краями або спричинювати опіки та отруєння.

Особливістю пилу є те, що він може бути нетоксичним, але, адсорбуючи на своїй поверхні газоподібні, паруваті чи рідкі сполуки, набуває зовсім інших властивостей і збільшує цим небезпеку як для рослин, так і для тварин та людей.

Найбільше пилове забруднення повітря спостерігається поблизу кар'єрів, де видобуток корисних копалин ведуть відкритим способом, біля цементних, металургійних заводів (часточки вуглецю, металів), ТЕС тощо.

Обладнання і матеріали: аналітичні терези, термостат, фарфорова ступка, мікроскоп, садовий секатор, пінцети, чашки для випарювання, предметні стекла з лункою, лінійка, калька, вата, фільтрувальний папір, карта частини міста, що досліджується.

Хід роботи

1. Визначення кількості пилу

Листки одного виду тополі відбирають у позначених на карті місцях на висоті 1,5—2 м (висота шару повітря, яке вдихає людина) з 10—15-разовою повторюваністю по 100—150 шт., використовуючи секатор. Одночасно відбирають листя тополі з чистої зони (контроль). Листя складають у пакети з кальки і переносять у лабораторію, уникаючи струшування пилу.

I спосіб. У лабораторних умовах зважують шматочок вологої вати, загорнутий у кальку (m_1) на аналітичних терезах з точністю до ± 0,0002 г. Листя тополі ретельно витирають шматочком вати з обох боків, розгортаючи її пінцетом, і зважують разом з ватою повторно (m_2). Масу пилу m обчислюють як різницю між двома зважуваннями ($m = m_2 - m_1$).

Площу листка S обчислюють, вимірявши листкові пластинки уздовж (A) і впоперек (B) та помноживши результат на коефіцієнт $к$:

$$S = A \cdot B \cdot к.$$

Коефіцієнт $к$ коливається для різних видів тополь від 0,6 до 0,66.

Кількість пилу обчислюють за формулою:

$$M = \frac{m}{S}, \text{ мг/см}^2.$$

II спосіб. Фільтрувальний папір зволожують водою до стікання. На нього кладуть листок верхнім боком, а поряд — нижнім і прикривають аркушем кальки або поліетиленовою плівкою. На фільтрі дістають відбиток, який оцінюють візуально за ступенем забрудненості (суцільна — 100%, навпіл — 50% тощо).

III спосіб. Пил змивають з 30—50 листків пензликом у заздалегідь зважену випарювальну чашку; воду випарюють, чашку з пилом висушують у сушильній шафі за температури 105°С до сталої маси.

Отримані дані заносять у таблицю:

Місце збирання зразка	Площа листків, см²	Кількість пилу	
		мг/см²	% від контролю

Сухий пил у чашці розтирають скляною паличкою з водою (з розрахунку 1 г пилу на 25 мл води), фільтрують і оцінюють його токсичність за реакцією з найпростішими (див. далі).

2. Побудова карти забруднення пилом певної території

Дані щодо запиленості листя на різних ділянках території (у відсотках від контролю) наносять на карту, подібні за забрудненістю ділянки з'єднують ізолініями і зафарбовують різними кольорами: червоним — зону найбільшого забруднення, оранжевим — меншого, жовтим — слабкого, зеленим — чисту зону.

3. Визначення токсичності пилу

Проба з найпростішими. Для дослідів беруть культуру найпростіших, приготовлену заздалегідь.

I. Висячу краплю культури найпростіших розміщують над годинниковим склом із фільтратом пилу так, щоб вони не торкалися один одного і, спостерігаючи під мікроскопом за збільшенням 300—600 (залежно від мети), відзначають за секундоміром час припинення руху найпростіших. Фітонцидну активність A визначають за формулою:

$$A = \frac{100}{T},$$

де T — час.

Картина загибелі найпростіших під дією суспензій різних рослин різна. Це розчинення (лізис), утворення опуклостей та бульбашок, зморщування, припинення руху тощо.

II. У краплю культуральної рідини з найпростішими в середині годинникового скла додають меншу краплю фільтрату пилу. Спостерігають спочатку прискорення руху, потім уникнення найпростішими фільтрату пилу (розміщення по краях), далі зменшення і припинення руху. Через деякий час стають помітними і морфологічні зміни. Для запобігання розтіканню краплі витяжки її положення можна зафіксувати, зробивши заздалегідь на предметному склі петлю з волосини.

Виготовлення культури мікроорганізмів

1) дуже подрібнене сіно (краще листя, ніж суцвіття) заливають теплою водою (не вище ніж +25° С), настоюють у термостаті 1—2 доби за температури +25° С;
2) листя капусти відварюють 5—10 хв., відвар зливають, охолоджують, у нього вносять невелику грудочку ґрунту і витримують у термостаті за 25° С упродовж 1—2 діб;
3) грудочку ґрунту розмішують з водою в невеликій посудині, нещільно накривають листком паперу і витримують у термостаті при 25° С 1—2 доби.

Контрольні запитання і завдання

1. *Листя яких видів і чому, на вашу думку, затримуватиме більше пилу: липи, каштана, береста, клена гостролистого?*
2. *Чому запилення сільськогосподарських культур поблизу місць відкритого видобутку корисних копалин зумовлює зниження їх урожайності?*
3. *Назвіть прямий і опосередкований вплив запиленості атмосферного повітря на рослини і тварин.*

2.3. Визначення вмісту вуглекислого газу (оксиду карбону (IV))

CO_2 не належить до отруйних газів (об'ємна частка в атмосферному повітрі становить 0,027%), однак молекули оксиду карбону (IV) затримують інфрачервоне випромінювання Землі, впливаючи тим самим на температуру приземного шару; від його концентрації залежать процеси фотосинтезу і дихання.

Обладнання і матеріали: барометр, відкривач індикаторних трубок, індикаторні трубки (ІТ) для визначення оксиду карбону (IV), поліетиленовий мішок місткістю 3—5 л, насос-аспіратор, термометр.

Хід роботи

1. Експрес-аналіз повітря на вміст CO_2

Відкривають ІТ на CO_2 з обох кінців (звертають увагу на колір наповнювача) і під'єднують його з боку виходу повітря до насоса. Роблять зазначену в інструкції кількість закачувань насосом, просмоктуючи крізь ІТ повітря приміщення (вулиці, парка). Відзначають зміну забарвлення і довжину стовпчика наповнювача, що прореагував після прокачування.

Для точних аналізів вимірюють і записують значення температури повітря (t, °С) і атмосферного тиску (*P*, мм рт. ст.) у момент прокачування повітря насосом.

Розміщують ІТ поряд зі шкалою, зображеною на етикетці, і визначають концентрацію CO_2 *С* стовпчиком, що змінив забарвлення. Приводять значення концентрації, виміряне за температури *t* і тиску *P*, до нормальних умов. Розрахунок здійснюють за формулою:

$$C_p = \frac{C \cdot P \cdot 293}{760 \cdot (273 + t)}, \text{ мг/м}^3.$$

2. Експрес-аналіз повітря, яке видихається, на вміст CO_2

Розпрямляють сухий і чистий поліетиленовий пакет. Роблять видих у пакет, наповнюючи його газами, що видихаються. "Загерметизовують" пакет, затиснувши його горловину рукою.

Беруть заздалегідь приготовлену і відкриту ІТ, вставляють у насос. Трохи відкривають пакет і швидко вміщують туди ІТ з насосом, після чого пакет знову "загерметизовують", закриваючи рукою. Здійснюють зазначену в інструкції кількість закачувань насосом, просмоктуючи крізь ІТ повітря з мішка.

Обчислюють об'ємну частку CO_2 в повітрі C_1 за формулою:

$$C_1 = \frac{C_2 \cdot 10^{-4} \cdot 22{,}4}{M}, \%,$$

де C_2 — концентрація газу, мг/м³; *M* — молярна маса CO_2 (*M* = 44).

Одержані результати заносять у таблицю:

Місце відбору проб	Умови аналізу		Масова концентрація, мг/м³	Об'ємна частка, %
	Температура, °С	Атмосферний тиск, мм рт. ст.		
Приміщення Вулиця Парк				

Аналізують одержані результати і доходять висновку про якість повітря.

Контрольні запитання і завдання

1. Назвіть абіогенні і біогенні джерела оксиду карбону (IV) в атмосферному повітрі.

2. Яку функцію виконує CO_2 в організмі тварин, зокрема в крові?

3. Чи залежить продуктивність рослин від вмісту CO_2 в повітрі і чому?

2.4. Оцінка забрудненості повітря за допомогою лишайників (ліхеноіндикація)

Лишайники — симбіотичні організми, що утворюють талом (вегетативне тіло водоростей, грибів, лишайників тощо, яке не диференційоване на органи (стебло, лист, корінь) і не має справжніх тканин) та складаються з гриба і одноклітинних водоростей.

Лишайники поширені по всій земній кулі і чутливі до забруднення атмосферного повітря речовинами, які збільшують кислотність середовища (SO_2, NO_2, HF, HCl), тоді як важкі метали і радіонукліди, що накопичуються на їх поверхні, для них практично нешкідливі. Завдяки цій властивості, а також тому, що їх вибагливість до чистоти повітря зростає в ряду "накипні — листуваті — кущисті", лишайники часто використовуються для біоіндикації на різних рівнях: локальному, регіональному, глобальному.

За допомогою лишайників учені-екологи визначили стан повітряного середовища в Рурському кам'яновугільному басейні і склали карту забруднення.

Обладнання та матеріали: лупа, рамка для визначення ступеня покриття лишайниками стовбурів дерев розміром 10 х 10 см з клітинами 1 х 1 см.

Хід роботи

Вибирають район для спостереження і складають його карту, на якій позначають розташовані поблизу ТЕС, заводи, інші підприємства, пожвавлені автомагістралі.

Розбивають вибрану територію на квадрати розміром 10 х 10 м. У кожному квадраті вибирають 10 старих, але здорових дерев, що ростуть окремо. На кожному дереві підраховують кількість видів лишайників (не обов'язково знати точну назву видів, потрібно лише розрізняти їх за кольором і формою талома). До накипних належать графіс (світло-сірий), ксанторія (жовто-оранжевий); до листуватих — гіпогімнія (попелясто-сірий), до кущистих — кладонія (як маленький сріблясто-сірий кущик), уснея (у вигляді звисаючої бороди сірувато-зеленого кольору).

Проводять оцінку ступеня покриття деревного стовбура лишайником. Для цього на висоті 30—150 см на найбільш зарослу лишайниками частину кори накладають рамку. Підраховують, який відсоток загальної площі рамки займають лишайники.

Крім дерев можна досліджувати обростання лишайниками каміння, стін споруд тощо.

Одержані результати заносять в таблицю:

Ознака	Дерева									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Загальна кількість видів лишайників, у тому числі										
кущистих										
листуватих										
накипних										
Ступінь покриття стовбура дерева лишайниками, %										

Роблять висновок про ступінь забрудненості повітря на досліджуваній території за таблицею.

Зона	Ступінь забрудненості повітря	Наявність (+) або відсутність (—) лишайників		
		кущистих	листуватих	накипних
1	Забруднення немає	+	+	+
2	Слабке забруднення	—	+	+
3	Середнє забруднення	—	—	+
4	Сильне забруднення ("лишайникова пустеля")	—	—	—

Контрольні запитання і завдання

1. Які види лишайників найчутливіші до забруднення?

2. Симбіозом яких видів є лишайники? Які функції виконує кожен з видів в угрупованні?

3. Чи орієнтуються лишайники на стовбурах дерев відносно сторін світу? Якщо так, то чому?

2.5. Оцінка впливу автотранспорту на стан повітря

1. Визначення завантаженості ділянки вулиці автомобільним транспортом

Автотранспорт, чисельність якого на вулицях міст і сіл України постійно зростає, негативно впливає на самопочуття їх мешканців, чинячи як пряму, так і опосередковану дію: шум, забруднення повітря й ґрунтів, ущільнення ґрунтів тощо. Викиди автотранспорту, що містять вуглеводні, оксиди нітрогену, сульфуру, карбону, сажу, надзвичайно небезпечний бензпірен тощо, зумовлюють появу смогів та кислотних дощів, почастішання респіраторних захворювань населення. Особливо значне забруднення спостерігається поблизу перехресть вулиць, де автомобілі змінюють швидкість або мотори працюють на холостому ходу.

Викиди шкідливих речовин у відпрацьованих газах автотранспорту регламентуються стандартами; вміст свинцю і оксидів сульфуру обмежується стандартами на пальне. Останнім часом із метою зменшення негативного впливу автотранспорту на довкілля і здоров'я людей вживаються заходи, серед яких і заборона на використання домішок тетраетилплюмбуму (тетраетилсвинцю) в пальному, перехід на природний газ.

2. Визначення завантаженості вулиць автотранспортом

Оцінку завантаженості вулиць автотранспортом визначають за інтенсивністю руху:

- низька інтенсивність руху — 2,7—3,6 тис. автомобілів за добу;
- середня інтенсивність руху — 8—17 тис. автомобілів за добу;
- висока інтенсивність руху — 18—27 тис. автомобілів за добу.

Хід роботи

Студенти розподіляються на групи по 3 особи (двоє підраховують з обох боків вулиці, третій оцінює ситуацію), які після інструктажу займають спостережні пункти по обидва боки вулиць (із пожвавленим рухом автотранспорту — в центрі міста; з незначним рухом; на ділянках, де багато транспортних розв'язок і світлофорів тощо).

Збирати матеріал можна як упродовж одного практичного заняття, так і в різні години доби протягом тривалого часу.

Інтенсивність руху автотранспорту визначають методом підрахунку автомобілів різних типів — 3 рази по 20 хв під час кожного терміну вимірювань (о 8-й, 13-й і 18-й год). Записи заносять у таблицю:

Тип автомобіля	Кількість автомобілів в різний період доби, шт.		
	8 год	13 год	18 год
Легкої вантажності Середньої вантажності Важкої вантажності Автобус Легковий			

Автомобілі поділяють на три категорії: з карбюраторним двигуном, дизельні, автобус "Ікарус".

Здійснюють оцінку руху транспорту на окремих вулицях, будують графіки, обговорюють способи зменшення негативного впливу транспорту на стан довкілля. Результати можна подати у вигляді графіків (***рис. 2.1***).

Знаючи види викидів і концентрацію окремих забруднювачів у відпрацьованих газах автотранспорту, можна розрахувати ступінь забруднення повітря на висоті людського зросту чи іншій висоті.

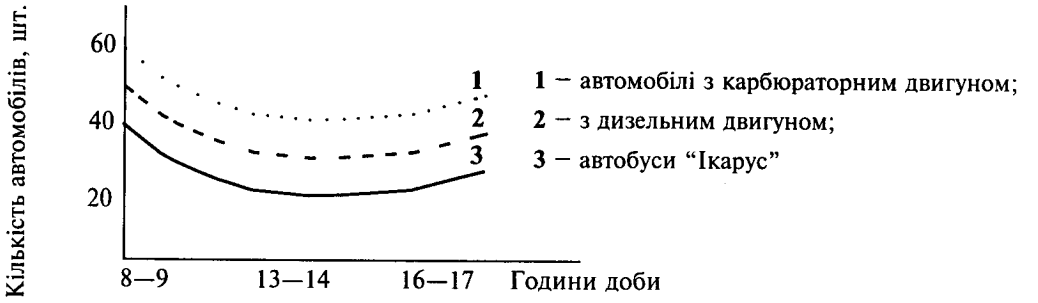


Рис 2.1. Кількість автомобілів у різні години доби

3. Оцінка ступеня забрудненості атмосферного повітря відпрацьованими газами на ділянці магістральної вулиці (за концентрацією CO)

Ступінь забрудненості повітря автотранспортом залежить не лише від інтенсивності руху, вантажності машин, кількості та характеру викидів, а й типу забудови, рельєфу місцевості, напряму вітру, вологості й температури повітря. Тому всі ці особливості слід зазначати.

Ухил визначають візуально чи з допомогою екліметра, швидкість вітру — анемометром, вологість повітря — психрометром, вміст CO, пилу, оксидів нітрогену і сульфуру, вуглеводнів визначають за стандартними методиками.

Зазначають наявність насаджень, які поглинають пил та інші забрудники, зменшують шумове навантаження, регулюють мікроклімат (вміст вологи, кисню, CO_2, йонів, фітонцидів).

Усі ці впливи різних чинників під час визначення концентрації CO враховує формула:

$$K_{CO} = (A + 0{,}01NK_m) \cdot K_a \cdot K_н \cdot K_c \cdot K_в \cdot K_п,$$

де A — фонове забруднення атмосферного повітря ($A = 0{,}5$ мг/м³); N — сумарна інтенсивність руху автомобілів на ділянці вулиці (шт./год); K_m — коефіцієнт токсичності автомобілів за викидами в повітря CO; K_a — коефіцієнт, що враховує аерацію місцевості; $K_н$ — коефіцієнт, що враховує зміну забруднення атмосферного повітря оксидом карбону, залежно від величини поздовжнього нахилу; K_c — те саме відносно швидкості вітру; $K_в$ — те саме відносно вологості повітря; $K_п$ — коефіцієнт збільшення забрудненості атмосферного повітря оксидом карбону біля перехресть.

Коефіцієнт токсичності автомобілів визначають як середньозалежний для потоку автомобілів за формулою:

$$K_m = P_i K'_m,$$

де P_i — склад руху, частки одиниці; значення K'_m визначають за таблицею:

Тип автомобіля	Коефіцієнт K'_m
Важкий вантажний (мікроавтобус)	2,3
Середній вантажний	2,9
Легкий вантажний	0,2
Автобус	3,7
Легковий	1,0

Значення коефіцієнта K_a, що враховує аерацію місцевості, визначають за таблицею:

Тип місцевості за ступенем аерації	Коефіцієнт K_a
Транспортні тунелі	2,7
Транспортні галереї	1,5
Магістральні вулиці і дороги з багатоповерховою забудовою з обох боків	1,0
Вулиці та дороги з одноповерховою забудовою	0,6
Міські вулиці та дороги з однобічною забудовою, набережні, естакади, високі насипи	0,4
Пішохідні тунелі	0,3

Для магістральної вулиці $K_a = 1$

Значення коефіцієнта $K_н$, що враховує зміни забруднення повітря CO відповідно до величини повздовжнього нахилу вулиці, визначають за таблицею:

Повздовжній ухил, град	Коефіцієнт $K_н$
0	1,00
2	1,06
4	1,07
6	1,18
8	1,55

Коефіцієнт K_c, що враховує вплив швидкості вітру на вміст CO в повітрі, визначають за таблицею:

Швидкість вітру, м/с	Коефіцієнт K_c
1	2,70
2	2,00
3	1,50
4	1,20
5	1,05
6	1,00

Коефіцієнт $K_в$ (враховує вплив відносної вологості повітря на концентрацію CO) поданий у таблиці:

Відносна вологість повітря, %	Коефіцієнт $K_в$
100	1,45
90	1,30
80	1,15
70	1,00
60	0,85
50	0,75
40	0,60

Значення коефіцієнта $K_п$ для різних типів перехресть наведені в таблиці:

Тип перехрестя	Коефіцієнт $K_п$
Регульоване перехрестя:	
світлофорами звичайне	1,8
світлофорами регульоване	2,1
саморегульоване	2,0
Нерегульоване:	
зі зниженою швидкістю	1,9
кільцеве	2,2
з обов'язковою зупинкою	3,0

Підставивши значення наведених коефіцієнтів, обчислюють концентрацію оксиду карбону на певній ділянці магістралі за різних метеорологічних умов або на ділянках з різною забудовою. Доходять висновків, які чинники більше, а які менше впливають на забрудненість повітря оксидом карбону, що міститься у викидах автотранспорту.

Контрольні запитання і завдання

1. Який негативний вплив чинить автотранспорт?

2. Що можна зробити для зменшення шумового навантаження?

3. Що б ви запропонували для зменшення забруднення повітря і ґрунтів викидами автотранспорту?

4. Який фізіологічний вплив чинить оксид карбону (II)?

Розділ 3

ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ

До водних об'єктів, які потребують екологічного вивчення, належать океани, моря, річки, озера, штучні водойми, болота, підземні та стічні води.

Вода — менш мінливе, ніж повітря, середовище. Хімічний склад води, її фізичні характеристики, швидкість трансформації забрудників залежать від ***природних чинників:***

- хімічного складу ґрунту берегів і мулу;
- температури;
- багатства рослинного й тваринного світу водойми;
- швидкості течії;
- глибини водойми;
- pH води;
- вмісту розчиненого кисню

та ***антропогенних***, зокрема сусідства

- тваринницьких ферм, звалищ;
- сільськогосподарських угідь, особливо рисових чеків та виноградників, де використовують різноманітні пестициди;
- промислових підприємств, енергетичних об'єктів;
- штучних водосховищ;
- місць скидання господарсько-побутових чи промислових стічних вод.

Стабільність і трансформація хімічних сполук у воді залежать від наявності кількох забруднювальних речовин, які, взаємодіючи між собою, можуть утворювати як нетоксичні, так і більш токсичні, ніж вихідні, сполуки. Зокрема, сполуки меркурію за наявності органічних речовин здатні утворювати значно небезпечнішу для живих організмів сполуку — диметилмеркурій; хлор у надлишкових концентраціях хлорує органічні речовини до хлороформу та діоксинів.

Значною мірою впливають на хімічний стан водойм водонаповнення, скидання теплих вод, активізація різних мікробіологічних процесів.

3.1. Особливості відбору проб на аналіз

Місце відбору проб залежить від поставленого завдання. Проби води відбирають у маловодні і багатоводні періоди.

Відбір проб може бути *одноразовим (нерегулярним)* або *серійним (регулярним)*. Проба чи серія проб має бути характерною для місця відбору, а обсяг залежить від кількості визначуваних компонентів та обраної методики аналізу.

Прості проби одержують одноразовим відбором об'єму води, необхідного для аналізу; *змішані* — це суміш простих проб, відібраних одночасно з різних місць досліджуваного об'єкта чи в одному місці через різні проміжки часу (вони характеризують склад води у просторі й часі). В окремих випадках, якщо стічні води скидаються у водойму, в якій аналізують воду, нерегулярно і в різних кількостях, відбирають *середню пропорційну пробу* (суміш простих проб, об'єм яких пропорційний кількості скинутих стічних вод).

Проби води відбирають у склянку з поліетилену чи боросилікатного скла "пайрекс". Посуд миють синтетичними мийними засобами, розчином хлоридної кислоти, скляний — хромовою сумішшю, після чого споліскують спочатку водопровідною, а потім дистильованою водою. Перед відбором проб посудину 2—3 рази промивають водою, яку беруть для досліджень (для достовірності результатів відбирають одночасно по 2 проби).

Посудину заповнюють водою вщерть, щоб не залишалося повітря, і закривають пробкою. Записують місце забору, час, прізвище особи, яка відбирала проби.

3.2. Консервування та підготовка проб води до аналізу

Відібрану пробу води аналізують впродовж 2—3 годин після відбору; крайній термін — 12 годин. В іншому випадку її зберігають у холодильнику або консервують (способи підготовки проб наведені в ***табл. 3.1***).

Таблиця 3.1. **Способи підготовки проб води**

Компонент, властивість	Спосіб підготовки	Термін аналізу	Особливості відбору і зберігання
pH	Не консервується	1. Під час відбору проб 2. Упродовж 6 годин	Посудину заповнити повністю, не нагрівати
Магній	Не консервується	Упродовж 2 діб	
Твердість	Не консервується	Упродовж 2 діб	
Кислотність	Не консервується	1. Під час відбору проб 2. Упродовж 1 доби	Посудину заповнити повністю, не нагрівати
Органічні речовини	Не консервується	У день відбору проб	
Сульфати	Не консервується	Упродовж 7 діб	
Хлориди	Не консервується	Упродовж 7 діб	
Лужність	Не консервується	1. Під час відбору проб 2. Упродовж 1 доби	Посудину заповнити доверху, зберігати при +4°С
Ферум	1. Не консервується 2. 2—4 мл хлороформу на 1 л	Не більше 4 годин Упродовж 1 доби	
Кобальт, манган, купрум, нікель, плюмбум	1. 3 мл нітратної кислоти (ρ=1,42 г/см^3) на 1 л (до pH=2) 2. 5 мл хлоридної кислоти (1:1) на 1 л (до pH=2)	Упродовж 1-2 діб Упродовж 1 місяця	
Нафтопродукти	1. 2—4 мл хлороформу 2. Екстрагують хлороформом на місці відбору проб	Упродовж 1 доби	
Окиснюваність перманганатна	1. Не консервується 2. 5 мл сульфатної кислоти (1:3) на 100 мл води	Не більше 4 годин Упродовж 1 доби	Під час визначення врахувати кількість доданої кислоти
Окиснюваність дихроматна	1. Не консервується 2. 1 мл сульфатної кислоти (ρ=1,84 г/см^3) на 1 л води	Не більше 4 годин Упродовж 1 доби	

Консервант може мати бактерицидні властивості, перешкоджаючи розмноженню мікроорганізмів, запобігати гідролізу, осаджувати той чи інший компонент води тощо.

Слід пам'ятати, що під час визначення окремих характеристик води консервування хімічними реагентами недопустиме (визначення кислотності, лужності, вмісту розчиненого кисню, аміаку тощо).

Деякі компоненти містяться в природних водах у мізерних кількостях і визначення їх концентрації проводять чутливими методами (полуменева фотометрія, мас-спектрометрія, люмінесценція тощо), що можливо зовсім не в кожній лабораторії. З метою підвищення концентрації визначуваного інгредієнта здійснюють його попереднє концентрування і подальше визначення доступними методами.

Методи концентрування поділяють на 2 групи.

До *першої групи* належать випарювання і заморожування (останнє має переваги, оскільки під час нагрівання виділяються з води леткі речовини, прискорюється гідроліз, відбувається дегазація і руйнування окремих органічних сполук). Об'єм розчину зменшується, а концентрація зростає (загальне концентрування).

Другу групу становлять методи, за якими загальний об'єм проби води не змінюється, а одночасно з концентруванням мікрокомпонентів усуваються домішки, що перешкоджають визначенню. До них належать адсорбція, хроматографія, екстракція, співосадження, електрохімічне виділення (вибіркове концентрування).

Перед проведенням аналізу часто необхідно заздалегідь позбавитися від домішок, які перешкоджають визначенню. Вплив домішок усувають:

- *фізичними методами* (пропускання води крізь шар катіоніту чи аніоніту; нагрівання, якщо домішка летка; екстрагування органічними розчинниками чи попереднє зв'язування реагентами, що утворюють сполуку, яка переходить в органічну фазу; хроматографія);
- *хімічними методами* (окиснення або відновлення домішок; осадження у вигляді малорозчинних сполук; зв'язування у стійкі малодисоційовані комплекси; зміна pH, що зумовлює розчинення чи осадження домішок).

Результат експерименту залежить від вибраного методу аналізу. Стандартна методика має бути перевірена на конкретній воді, яку аналізують, оскільки зміна компонентів, їх співвідношення чи умов середовища може зумовити необхідність коригування в ході аналізу.

Чутливість методу має відповідати вимогам; висока чутливість потрібна лише в разі дуже малих проб води. Точність визначення хімічного складу вод залежить від його сталості, правильності місця відбору проб, забезпечення умов їх зберігання, методики аналізу, селективності методу.

3.3. Методи аналізу води

Контактні методи. Проби води відбирають у певних місцях. Мережі спостереження за якістю води у водоймах поділяють на три типи: *стаціонарні, експедиційні і спеціальні.*

Стаціонарні пости спостереження встановлюють у містах і селищах поблизу місць скидання у водойми стічних вод підприємств, ТЕС, АЕС; у місцях стікання вод із територій, які осушують, та поливних земель; у місцях великих нерестилищ; на прикордонних річках тощо.

На стаціонарних станціях проводять спостереження за станом води за трьома програмами: *обов'язковою, повною* та *скороченою.* Обов'язкова програма включає візуальні спостереження, визначення витрат води, температури, pH, кольоровості, каламутності, вмісту завислих, розчиненого кисню, вуглекислого газу, біогенних речовин (нітроген загальний та амонійний, нітрати, нітрити, фосфор загальний, фосфати), органічних сполук (розчинених і у вигляді завислих), нафтопродуктів, пестицидів, катіонів важких металів (меркурію, кадмію, іноді алюмінію); аніонів: SO_4^{2-}, Cl^-, HCO_3^- та деякі інші визначення (ХСК, $БСК_5$).

Дистанційні методи. За допомогою акустичних хвиль ($\lambda<10$ см) визначають температуру і солоність вод відкритого океану, а також глибину, оскільки швидкість звуку при 1^0 С температури води зростає на 3 м/с; при 1 г солоності — на 1,2 м/с; при 10^6 Па (10 атм) тиску — на 1,6 м/с.

Перші виміри з повітря кольору водного середовища виконані у 1960-ті роки спектрофотометричним методом при λ = 400—700 нм.

Дистанційним методом за утворенням і утриманням піни вітром визначають силу шторму, оскільки при 3 балах кількість піни зростає, при 7 — лягає смугами, при 8 — вся акваторія вкривається піною.

Неконтактні методи дають можливість визначати нафтове забруднення Світового океану: площу покриття, товщину плівки, приблизний хімічний склад, просторово-часову динаміку цих показників. В інфрачервоній ділянці спектра коефіцієнти відбивання чистої і забрудненої нафтою поверхонь дуже різняться. Активні надвисокочастотні радіолокаційні методи виявляють плями вночі, в туман, під час шторму в 2 бали.

Надзвичайно чутливий метод аналізу — флуоресцентний — дає змогу виявити нафту за концентрації до 10^{-10} г в 1 л води, він селективний; спектри легких (λ = 360—460 нм) і важких (λ = 520 нм) фракцій значно різняться.

3.4. Основні екологічні характеристики водойм

Екологічними характеристиками водойм, зокрема текучої води річок, є температура, прозорість, кольоровість, вміст розчинених сполук і зависей, швидкість потоку, співвідношення кількостей води, що втікає і витікає, профіль глибини, характер берегів і дна.

1. Визначення температури

Температура є важливим екологічним чинником. Підвищення температури інтенсифікує гідроліз багатозарядних катіонів, спричиняє дегазацію води, збільшує токсичність окремих сполук, прискорює біохімічні процеси у воді водойм. Крім того, кожен живий організм має свій оптимальний режим температур; поза межами стійкості гідробіонти гинуть.

Промислові підприємства, що скидають у природні водойми теплу воду, спричинюють *теплове забруднення водойм*. Особливо сприяють забрудненню теплові й атомні електростанції — їх води нагріті до 45° С.

Обладнання і матеріали: термометр, пластилін, шпагат із поділками на метри і сантиметри, баласт (камінь чи гиря).

Хід роботи

Температуру води визначають за допомогою термометрів (спиртових, ртутних, термісторних тощо). Якщо глибина водойми понад 1 м, температуру визначають через кожний 1 м глибини. При цьому для замірювань на глибині понад 1 м термометр слід «залінивити». Для цього чутливий кінець термометра (спиртову чи ртутну кульку) треба обмазати шаром пластиліну завтовшки в кілька міліметрів. Такий термометр довше сприймає температуру навколишнього середовища (більш «лінивий») і його слід витримувати на глибині замірювання кілька хвилин (тривалість встановлюють дослідним шляхом). Він також довше утримує визначену температуру і не встигає змінити її показ під час підйому його на поверхню. Для замірювань температури на глибинах понад 1 м використовують шпагат із поділками на метри й сантиметри. До нижнього кінця прив'язують термометр і баласт. Попередньо глибину водойми промірюють у місці, де визначатимуть температуру. Глибинні вимірювання температури виконують із містка або човна, причому слід суворо дотримуватися правил безпеки поведінки на воді. Температурні вимірювання проводять одночасно з іншими дослідженнями (відбором проб води, визначенням її прозорості тощо).

Вимірювати температуру води в річці бажано поблизу місця скидання у водойму води з підприємства чи електростанції. У цьому разі замірювання виконують вище й нижче від місця скидання. Складають два температурних профілі річки і порівнюють їх між собою.

2. Визначення швидкості течії річки чи струмка

Швидкість течії впливає на процеси самоочищення вод, їх насиченість киснем, температуру.

Обладнання та матеріали: секундомір, легка стрічка відомої довжини (10—20 м), легкий плавучий предмет, наприклад надувний м'яч.

Хід роботи

Виходять на середину струмка (якщо він неглибокий) або випливають на середину річки в човні і ставлять його на якір. Тримаючи в одній руці кінець стрічки, другий її кінець з прив'язаним до нього плавучим предметом опускають у воду, одночасно натиснувши кнопку секундоміра. Коли стрічка натягнеться, зупиняють секундомір. Під час замірювання рука, що тримає вільний кінець стрічки, має бути якомога ближче до поверхні води.

Якщо відомі час і довжина стрічки, легко визначити швидкість течії (в метрах на секунду). Повторюють процедуру 3—4 рази й визначають середнє значення всіх замірювань.

До важливих екологічних показників, від яких залежить концентрація забрудників, що потрапляють у річку, належить *об'єм потоку*. Для визначення об'єму потоку в якихось прийнятих його межах слід заздалегідь визначити швидкість потоку v (див. вище), середню ширину l (в метрах), середню довжину секції потоку s, де проводять замірювання, і середню глибину h. Об'єм потоку визначається за формулою:

$$W = lshv, \text{ м}^3.$$

3. Визначення поперечного профілю потоку

Важливим показником, від якого залежать такі екологічні характеристики, як температура, швидкість потоку і характер донних організмів, є також *поперечний профіль потоку*. Визначення цього параметра проводять біля неширокого й неглибокого потоку, який можна легко подолати вбрід.

Обладнання та матеріали: мірна стрічка, довжина якої має бути трохи більшою за ширину потоку, планка з позначками (в сантиметрах).

Хід роботи

Натягують мірну стрічку впоперек потоку й закріплюють її кінці на берегах кілочками. Через певні інтервали заміряють глибину потоку, визначаючи в кожній точці заміру характер донного матеріалу і кількість донних рослин. Якщо ширина струмка становить 1 м, то замірювати глибину слід через кожні 5 см, за ширини 5 м — через кожні 50 см.

Накреслюють поперечний профіль потоку, позначивши в кожній точці заміру характер донного матеріалу, ввівши умовні знаки для таких порід, як пісок, гравій, намул, валуни, корінні породи, а також донних рослин.

Контрольні запитання і завдання

1. Як вплинуло створення каскаду ГЕС на Дніпрі на швидкість ріки і які це мало наслідки?

2. Як можна пояснити видову зміну риб у водоймі, куди скидають теплі стічні води?

3. Який прямий і опосередкований вплив на гідробіонтів справляє теплове забруднення водойм?

3.5. Органолептичні властивості води

До органолептичних показників води (тих, що визначають її зовнішній вигляд і сприймаються органами чуття) належать запах, кольоровість, каламутність (обернена їй величина — прозорість), які мають надзвичайно велике значення для процесів, що відбуваються у водоймах. Зокрема, запах може бути зумовлений наявністю різних забруднювальних речовин: фенолу, нафти чи нафтопродуктів, хлору, гнилої органіки тощо. Від вмісту завислих часточок залежить прогрівання води, розвиток водяних рослин і тварин; колір води впливає на глибину проникнення сонячного випромінювання.

1. Визначення кольоровості води

Колір води у водоймах може бути різним, що найчастіше зумовлено наявними в ній домішками. Так, Жовта ріка в Китаї має справді жовту каламутну воду внаслідок наявності глинистих зависей, у Чорному морі вода синя, в холодному Балтійському —

сіро-зелена. Коричневий колір свідчить про наявність заліза, зеленуватий — про масове розмноження синьозелених водоростей, так звані небезпечні "червоні припливи", спричинені спалахами чисельності популяцій окремих водяних організмів.

Кольоровість води визначають колориметричним методом у градусах, порівнюючи її з дихроматно-кобальтовою шкалою кольоровості, яку отримують, змішуючи в різних співвідношеннях розчини 1 і 2:

Шкала кольоровості

Кількість, мл												
розчину 1	0	1	2	3	4	5	6	8	10	12	14	16
розчину 2	100	99	98	97	96	95	94	92	90	88	86	84
Градуси кольоровості	0	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80

Обладнання і реактиви: фотоелектроколориметр, бюретка на 25 мл, 12 мірних колб на 100 мл, розчин 1 (містить 0,0875 г дихромату калію $K_2Cr_2O_7$, 2 г сульфату кобальту $CoS0_4 \cdot 7H_2O$ і 1 мл H_2SO_4 (ρ = 1,84 г/см³) в 1 л розчину); розчин 2 (1 мл H_2SO_4, ρ = 1,84 г/см³, в 1 л води).

Хід роботи

Готують серію еталонних розчинів: у мірні колби на 100 мл наливають зазначені об'єми розчину 1, доливають до риски розчином 2 і перемішують. Визначають оптичну густину отриманих розчинів і будують градуювальну криву залежності кольоровості від оптичної густини. Потім вимірюють оптичну густину аналізованої води і визначають за графіком кольоровість (якщо вона більше за 80°, воду розбавляють, а результати помножують на кратність розбавляння).

Під час визначення кольору води рекомендують визначати її оптичну густину на спектрофотометрі за різних довжин хвилі або на фотоелектроколориметрі з різними світлофільтрами.

Проби води не консервують, визначення проводять упродовж 2 год, заздалегідь профільтрувавши пробу і відкинувши перші порції фільтрату.

Оптичну густину вимірюють у кюветі з товщиною світлопоглинального шару 1 см порівняно з дистильованою водою. Довжина хвилі світла, яка найбільше поглинається водою, і є характеристикою її кольору. Слід пам'ятати, що видимий колір розчину є додатковим до кольору випромінювання, що поглинається (***табл. 3.2***).

Таблиця 3.2. **Довжина хвиль спектра і відповідне забарвлення**

Довжина хвилі світла, що поглинається, нм	Колір випромінювання, що поглинається	Додатковий (видимий) колір розчину
400—450	Фіолетовий	Жовто-зелений
450—480	Синій	Жовтий
480—490	Зелено-синій	Оранжевий
490—500	Синьо-зелений	Червоний
500—560	Зелений	Пурпуровий
560—575	Жовто-зелений	Фіолетовий
575—590	Жовтий	Синій
590—605	Оранжевий	Зелено-синій
605—730	Червоний	Синьо-зелений
730—760	Пурпуровий	Зелений

Значення оптичної густини досліджуваної води за довжини хвилі, близької до максимуму поглинання, є мірою інтенсивності її забарвлення.

За правилами скидання стічних вод у водойми природна вода при змішуванні має залишатися прозорою в шарі завтовшки 10 см. З цією метою в лабораторних умовах визначають ступінь розбавлення води, за якого колір її шару зазначеної товщини стане непомітним.

Для цього на аркуш паперу ставлять три циліндри з прозорого скла діаметром 20—25 мм. У перший циліндр наливають стічну воду (висота шару 10 см), у другий стільки ж дистильованої води. В третьому циліндрі — стічна вода, яку поступово розбавляють доти, доки при огляді зверху розбавлена і дистильована вода не стануть однаковими.

2. Визначення запаху

За характером запахи поділяють на 2 групи:

- *запахи природного походження:* землистий, торф'янистий, гнильний, трав'яний, болотний, дерев'янистий, ароматичний, рибний, запах цвілі, сірководневий тощо;
- *запахи штучного походження:* хлорний, оцтовий, фенольний, бензиновий, камфорний тощо.

Інтенсивність запаху визначають за п'ятибальною шкалою:

0 — запаху немає
1 — дуже слабкий
2 — слабкий
3 — помітний
4 — чіткий (виразний)
5 — дуже сильний.

Визначення характеру й інтенсивності запаху проводять за кімнатної температури і при 60—65° С в колбі, накритій годинниковим склом чи притертою пробкою.

Хід роботи

100 мл аналізованої води при 20° С наливають у колбу місткістю 150—200 мл з широким горлом, закривають, струшують при обертанні, відкривають і визначають характер та інтенсивність запаху.

Порогова концентрація запаху — це концентрація визначуваної речовини в розчині при максимальному розбавлянні, коли запах ще відчутний.

1) Для визначення порогу запаху 200 мл аналізованої води переносять у конічну колбу місткістю 400—500 мл, додають 200 мл води без запаху (її готують так: пропускають воду крізь колонку з активованим вугіллям; можна додати 0,6 г вугілля на 1 л води, перемішати і профільтрувати крізь шар вати в кімнаті, де немає запахів). Розбавляючи поступово в 2 рази, досягають порогової концентрації, коли запах перестане відчуватися у двох найбільших розбавляннях.
2) У кілька колб, заздалегідь ополіснутих водою для розбавляння, що не має запаху, вносять 200, 100, 65, 50, 40, 33, 25, 20 мл аналізованої води і доводять об'єм водою для розбавляння до 200 мл. Ставлять контроль. Колби закривають.

Починаючи з найбільшого розбавляння, струшують колби і визначають характер та інтенсивність запаху.

Якщо аналізують дуже забруднені води, кількість досліджуваної води може становити 16, 8, 4, 2, 1 мл.

Інтенсивність запаху U аналізованої води обчислюють за формулою:

$$U = \frac{200}{V},$$

де V — об'єм проби, взятий для приготування суміші, в якій виявлено відчутний запах, мл.

Контрольні запитання і завдання

1. *Чи може нафтовий запах води мати природне походження?*
2. *В яких процесах утворюється гідрогенсульфур? Чи може він поліпшити стан водойми, у воді якої значний вміст важких металів?*
3. *Чи впливає кольоровість води на процеси, що відбуваються у водоймі, та гідробіонтів і як саме?*

3.6. Завислі і розчинені речовини

Завислі — це часточки мінерального й органічного походження (глина, мул, органічні високомолекулярні сполуки тощо) розміром понад 0,1 мкм. Їх вміст характеризує кілька величин.

1. Визначення прозорості води

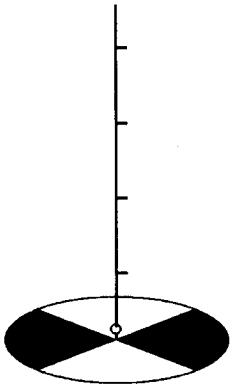


Рис. 3.1. Диск Секкі

Прозорість води залежить від кількості й ступеня дисперсності завислей. Її виражають у сантиметрах водяного стовпа, крізь який видно лінії завтовшки 1 мм, що утворюють хрест (за "хрестом") або шрифт №1 (за Снілленом). Для визначення прозорості води безпосередньо у водоймі застосовують диск Секкі — металевий диск діаметром 20 см, поділений на чотири сектори, два з яких пофарбовані в чорний, а два — в білий колір, з'єднаний із тросиком, що має позначки (***рис. 3.1***).

Обладнання і матеріали: диск Секкі; аркуш білого паперу з нанесеним "хрестом" або шрифтом №1; циліндр Геннера.

Хід роботи

Вимірювання проводять у затінку чи в похмуру погоду. Диск Секкі опускають у воду, доки він стане невидимим. Записують глибину. Потім диск повільно підіймають, коли його стане видно, записують цю глибину. Середнє з трьох вимірів і буде прозорістю води за диском Секкі. Одночасно ця глибина приблизно означатиме ***глибину літоралі***, тобто прибережної смуги, де можуть рости прикріплені до дна рослини.

2. Визначення каламутності води

Каламутність води — це величина, обернена прозорості, яка характеризує вміст завислей за їх концентрації менш як 2 мг/л. Її визначають за допомогою каламутноміра. Визначення полягає в порівнянні каламутності аналізованої води з еталоном, приготовленим із каоліну (гідравлічний розмір часток <0,05 мм/с): синє світло пропускають знизу вгору крізь плоске дно скляних циліндрів (завдовжки 750 мм, діаметром 30 мм) з водою при одночасному боковому освітленні їх білим світлом від лампи 300 Вт.

Можна побудувати градуювальну криву: сила струму — каламутність, мг/л. Перевагою цього методу є відсутність впливу забарвлених речовин на каламутність; використовуючи світлофільтри, можна оцінити також дисперсність часточок завісі.

Зручно користуватися фотоелектроколориметром, використовуючи видиме світло і кювети з товщиною світлопоглинального шару 50 мм, попередньо побудувавши градуювальну криву за глинистою суспензією (1 мг в 1 мл), стабілізованою гексаметафосфатом натрію, контроль — вода.

Проби води не консервують. Визначають кількість суспензії не пізніше, ніж через добу після відбору проби. Об'єм проби при концентрації завислей понад 50 мг/л — 500 мл, при меншій — 1000 мл. Результати виражають у міліграмах на літр.

Обладнання і реактиви. Фотоелектроколориметр, агатова ступка, скляна посудина діаметром 20—25 см і заввишки 30—50 см, сифон, паперовий беззольний фільтр "синя стрічка",

мірна колба місткістю 1 л, глина (або мул з відстійника), гексаметафосфат натрію $(NaPO_3)_6$ — стабілізатор суспензії, 0,1%-й розчин.

Хід роботи

При дослідженні природних вод 100 г глини розтирають із дистильованою водою у фарфоровій ступці, змиваючи розтерту глину в скляну посудину, яку потім заповнюють доверху дистильованою водою і, перемішавши, залишають стояти 60 хв.

Сифоном відбирають із посудини верхній шар води заввишки 180 мм, який містить глинисту суспензію з часточками, що мають гідравлічний розмір менш як 0,05 мм/с. Суспензію води відфільтровують на щільному паперовому фільтрі, висушують при 105° С і розтирають в агатовій ступці. Наважку її в 1 г знову розтирають у ступці з дистильованою водою, змиваючи в мірну колбу місткістю 1 л, в яку налито 200 мл 0,1%-го розчину стабілізатора; об'єм доводять до риски водою (1 мл суспензії містить 1 мг глини).

З отриманої суспензії готують розбавлянням суспензії з концентрацією завислих часточок 1, 2, 5, 10, 20, 40, 60 мг/л, користуючись якими, будують градуювальну криву фотоколориметра, застосовуючи для малих концентрацій (до 10 мг/л) кювету з товщиною світлопоглинального шару 50 мм і тонші кювети для зразків із вищим вмістом суспензії.

Швидко і зручно вимірювати каламутність за допомогою турбідиметра (дослівно "вимірювача каламутності").

Фотометричні методи використовують лише при концентрації зависей менш як 100 мг/л, при більшому вмісті їх визначають гравіметрично, фільтруючи воду крізь беззольні паперові фільтри "синя стрічка" або мембранні фільтри.

3. Визначення грубодисперсних зависей

Груба дисперсна завись (на відміну від часточок, які зумовлюють опалесценцію або каламутність води) — це часточки органічної та неорганічної природи, помітні неозброєним оком, які більш чи менш повно виділяються з води при її відстоюванні впродовж 5—6 год.

Залежно від пористості фільтрів можна затримувати завісі з різним розміром часточок: скляна фільтрувальна пластина №1 не пропускає часточки >100—110 мкм, №4 — >5—10 мкм, щільний беззольний фільтрувальний папір "синя стрічка" >3—5 мкм, мембранні бактеріологічні фільтри >0,35—1,2 мкм.

Обладнання і матеріали: беззольні фільтри середньої щільності "біла стрічка", що затримують завісі розміром 10—20 мкм; бюкси з кришками, сушильна шафа, скляна лійка, муфельна піч, фарфорові тиглі, щипці, аналітичні терези, конічні колби, мірні циліндри, ексикатор, пінцет.

Хід роботи

Визначення суми органічних і неорганічних зависей. Беззольні фільтри "біла стрічка" кладуть у бюкси і висушують із відкритими кришками при 105° С упродовж 2 год, охолоджують закриті бюкси з фільтром в ексикаторі і зважують на аналітичних терезах.

Крізь підготовлений таким чином фільтр пропускають 100—1000 мл природної чи стічної води (залежно від вмісту грубодисперсних часточок), осад зі стінок колби змивають невеликою порцією фільтрату в лійку з фільтром.

Після фільтрування фільтр з осадом переносять у той самий бюкс (бюкси і фільтри пронумерувати!), висушують при 105° С, охолоджують в ексикаторі і зважують, закривши кришкою. Висушування, охолодження і зважування повторюють до досягнення сталої маси.

Масову концентрацію грубоперсних домішок X обчислюють за формулою:

$$X = \frac{(a - b) \cdot 1000}{V}, \quad \text{мг/л},$$

де a — маса бюкса з осадом на фільтрі, мг; b — маса бюкса з пустим фільтром, мг; V — об'єм води, мл.

Визначення залишку після прожарювання (вміст мінеральних речовин). Зважений після висушування фільтр з осадом обережно переносять пінцетом у заздалегідь прожарений і зважений фарфоровий тигель, ставлять у холодну муфельну піч, доводять температуру до 700° С і прожарюють осад протягом 1 год. Вимикають муфельну піч, обережно виймають щипцями тигель, охолоджують в ексикаторі і зважують.

Масову концентрацію прожарених грубоперсних часточок Y визначають за формулою:

$$Y = \frac{(c - d) \cdot 1000}{V}, \quad \text{мг/л},$$

де c і d — відповідно маса тигля з фільтром до і після прожарювання, мг; V — об'єм аналізованої води, мл.

За різницею $(X - Y)$ визначають вміст органічних завислей, що за температури 700° С згоріли з утворенням переважно оксиду карбону (IV) і води.

4. Визначення вмісту розчинених речовин (сухого залишку)

Концентрацію розчинених у воді речовин найзручніше визначати за допомогою приладу, який випускають зарубіжні фірми під назвою кондуктівіті-тестер, тобто дослівно "прилад для вимірювання провідності". Принцип його дії ґрунтується на залежності електропровідності води від вмісту в ній розчинених речовин-електролітів. Сучасний прилад важить близько 0,5 кг.

Під час визначення розчинених речовин датчик приладу занурюють у воду і на екрані дисплея з'являються значення концентрації речовин у міліграмах на літр.

Кондуктометричним визначенням розчинених солей користуються на станціях водопідготовки та бойлерних, де будують графічну залежність електропровідності від вмісту розчинених електролітів (оскільки склад вод приблизно однаковий) і, користуючись градуювальною кривою за виміряною електропровідністю, визначають вміст розчинених речовин.

У лабораторіях частіше застосовують гравіметричний метод.

Сухий залишок характеризує вміст мінеральних і частково органічних домішок (температура кипіння яких помітно вища за 105° С, які нелеткі з водяною парою і не руйнуються при 105° С).

Обладнання, матеріали, реактиви: піпетка на 100 мл, фарфорові чашки, беззольний фільтр "синя стрічка", піпетки Мора, хімічні стакани чи конічні колби для збирання профільтрованої води (фільтрату), сушильна шафа, ексикатор, муфельна піч, аналітичні терези, мірна колба на 1 л, водяна баня, карбонат натрію Na_2CO_3 безводний (10 г Na_2CO_3 хімічно чистого, висушеного при 200° С упродовж 3 год і зваженого на аналітичних терезах, розчиняють в дистильованій воді і доводять об'єм до 1 л; 1мл розчину містить 10 мг Na_2CO_3).

Хід роботи

У прожарену, охолоджену і зважену фарфорову чашку вміщують 50—250 мл аналізованої профільтрованої природної або стічної води. Воду випарюють на водяній бані з дистильованою водою досуха.

Переносять чашку із залишком у сушильну шафу і висушують при 105° С до сталої маси.

Вміст сухого залишку X розраховують за формулою:

$$X = \frac{(a - b) \cdot 1000}{V}, \quad \text{мг/л},$$

де a і b — відповідно маса фарфорової чашки із залишком і пустої, г; V — об'єм проби води, л.

Описаний вище метод дає трохи завищені результати внаслідок гідролізу і гігроскопічності хлоридів кальцію і магнію, а також важкого відщеплення води сульфатами цих катіонів.

Ці недоліки усуваються додаванням карбонату натрію Na_2CO_3. При цьому хлориди та сульфати кальцію і магнію переходять у безводні карбонати.

Розчин Na_2CO_3 вносять піпеткою після доливання у фарфорову чашку останньої порції води з таким розрахунком, щоб маса доданого карбонату натрію приблизно вдвічі перевищувала масу очікуваного сухого залишку (для прісних вод об'єм розчину становить 25 мл), розчин перемішують скляною паличкою, споліскують її над чашкою дистильованою водою.

Далі все роблять, як описано вище.

Масову концентрацію сухого залишку X розраховують за формулою:

$$X = \frac{(M_1 - M_2 - M_3) \cdot 1000}{V}, \quad \text{мг/л},$$

де M_1 і M_2 — відповідно маса чашки з сухим залишком і пустої, мг; M_3 — маса доданого Na_2CO_3 (25 мл 1%-го розчину містить 250 мг Na_2CO_3), мг; V — об'єм води, взятої для аналізу, л.

Визначення залишку після прожарювання. Доведені до сталої маси при 100° С фарфорові чашки після висушування переносять у муфельну піч і прожарюють до сталої маси при 600° С.

Обчислюють масову концентрацію сухого залишку після прожарювання, який практично дорівнює вмісту неорганічних речовин:

$$X = \frac{(a - b) \cdot 1000}{V}, \quad \text{мг/л},$$

де a і b — відповідно маса чашки до і після прожарювання, г; V — об'єм проби води, л.

Різниця значень масової концентрації залишку до і після прожарювання характеризує вміст летких речовин (переважно органічних).

Контрольні запитання і завдання

1. Від яких чинників залежить каламутність води?

2. Яким чином тварини-фільтратори змінюють каламутність вод?

3. Чи впливає прозорість води на процеси фотосинтезу у водних рослин і як саме?

3.7. Перманганатна і дихроматна окиснюваність. (Хімічне споживання кисню (ХСК))

1. Визначення перманганатної окиснюваності води

Окиснюваність води характеризується кількістю міліграмів кисню, потрібного для окиснення органічних речовин, що містяться в 1 л води. Окиснення здійснюють у м'яких умовах перманганатом калію в кислому середовищі (окиснюються лише легкоокиснювані органічні і деякі неорганічні сполуки) або дихроматом калію в концентрованій сульфатній кислоті під час кип'ятіння (окиснюються практично всі органічні сполуки, навіть важкоокиснювані).

Обладнання і реактиви: конічна колба місткістю 300 мл, електрична плитка, піпетки Мора, штатив, бюретка; сульфатна кислота, розбавлена (1:3); розчин перманганату калію $KMnO_4$, $C\left(\frac{1}{z}\right) = 0{,}01$ моль/л; розчин оксалатної (щавлевої) кислоти $H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O$, $C\left(\frac{1}{z}\right) = 0{,}01$ моль/л [$C\left(\frac{1}{z}\right)$ — молярна концентрація еквівалентів, раніше — нормальність розчину, н].

Хід роботи

В конічну колбу місткістю 300 мл наливать 100 мл досліджуваної води, 5 мл сульфатної кислоти і 10 мл розчину перманганату калію. Суміш нагрівають до кипіння і кип'ятять 10 хв. Знебарвлення розчину свідчить про недостатню кількість введеного окисника; у цьому випадку відбирають ще пробу води і визначення проводять з більшою кількістю $KMnO_4$.

Після кип'ятіння до розчину додають 10 мл розчину щавлевої кислоти з $C\left(\frac{1}{z}\right) =$ = 0,01 моль/л і надлишок її відтитровують розчином $KMnO_4$, $C\left(\frac{1}{z}\right) = 0{,}01$ моль/л.

Результати обчислюють за формулою:

$$X = \frac{\left[(V_1 + V_2)\ C\left(\frac{1}{z}\ KMnO_4\right) - V_3 C\left(\frac{1}{z}\ H_2C_2O_4\right)\right] \cdot 8 \cdot 1000}{V},$$

де X — окиснюваність води, мг O_2/л; V_1 — об'єм $KMnO_4$, доданий до води перед кип'ятінням, мл; V_2 — об'єм $KMnO_4$, витрачений на титрування надлишку оксалатної кислоти, мл; $C\left(\frac{1}{z}\ KMnO_4\right)$ — молярна концентрація еквівалентів розчину $KMnO_4$; V_3 — об'єм доданої щавлевої кислоти, мл; $C\left(\frac{1}{z}\ H_2C_2O_4\right)$ — молярна концентрація еквівалентів розчину оксалатної кислоти; 8 — еквівалент кисню; V — об'єм аналізованої води, мл.

2. Визначення хімічного споживання кисню (ХСК)

Дихроматна окиснюваність (або ХСК) — це величина, що характеризує загальний вміст у воді відновників (неорганічних і органічних), які реагують із дихроматом калію в сульфатній кислоті (1:1) в перерахунку на кисень (мг O_2/л).

Окиснення органічних сполук відбувається майже цілком до CO_2, H_2O, N_2 при використанні каталізатора — сульфату аргентуму Ag_2SO_4, хоча бензол, піридин, толуол та інші ароматичні вуглеводні повністю не окиснюються навіть за цих умов.

Перед визначенням ХСК аналізовану воду фільтрують. Щоб фільтр не поглинав органічних речовин або з нього органічні речовини не потрапляли у воду, фільтр промивають гарячою водою і під час фільтрування викидають перші 200—250 мл фільтрату.

Якщо стічна вода містить органічні речовини, які легко окиснюються на повітрі або леткі, замість фільтрування воду відстоюють і для аналізу відбирають верхній прозорий шар.

За відсутності у воді хлоридів як каталізатор використовують Ag_2SO_4. Якщо аналізована стічна вода містить хлориди і лише легкоокиснювані органічні речовини, то визначення можна провести без Ag_2SO_4; хлорид-іони окиснюються до вільного хлору і в отримані результати вносять поправку: на 1 мг Cl^- витрачається 0,23 мг O_2.

Якщо стічна вода містить органічні речовини, що окиснюються лише за наявності Ag_2SO_4, то для зв'язування хлоридів додають сульфат меркурію (II) $HgSO_4$ в такій кількості, щоб на кожен мг Cl^- припадало 15 мг Hg (22,5 мг $HgSO_4$); при цьому утворюється розчинний, але малодисоційований $HgCl_2$, який при надлишку Hg^{2+} стійкий навіть за наявності концентрованої сульфатної кислоти і дихромату калію.

Хлорид-іони при концентрації менш як 1 г/л усуваються додаванням 0,4 г $HgSO_4$. Якщо концентрація Cl^- вища за 1 г/л, то $HgSO_4$ додають у 15-кратній до Cl^- кількості. Одночасно потрібно додати 5 мл концентрованої сульфатної кислоти для кращого розчинення $HgSO_4$.

Заважаючий вплив сульфід-іонів усувають додаванням до проби дихромату калію і невеликої кількості концентрованої сульфатної кислоти та стоянням суміші впродовж кількох хвилин за кімнатної температури.

Обладнання і реактиви: круглодонна колба на шліфах; зворотний холодильник на шліфах; колба конічна для титрування: електроплитка або піщана баня; піпетки Мора; бюретка і штатив, мірні колби на 1 і 2 л; паперовий фільтр, скляна лійка; розчин $K_2Cr_2O_7$, $C\left(\frac{1}{z}K_2Cr_2O_7\right) = 0{,}25$ моль/л (розчиняють 12,258 г $K_2Cr_2O_7$ (ч.д.а.), висушеного впродовж 2 год за температури 105° С, в дистильованій воді і доводять об'єм до 1 л (або 5 ампул із фіксаналом розчиняють у мірній колбі місткістю 2 л); сульфатна кислота, концентрована, ч.д.а.; сульфат меркурію (II) $HgSO_4$, ч.д.а.; сульфат аргентуму Ag_2SO_4, ч.д.а.; розчин солі Мора, $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$, $C\left(\frac{1}{z}\right) \approx 0{,}25$ моль/л (розчиняють 98 г солі в дистильованій воді, додають 20 мл концентрованої сульфатної кислоти і після охолодження доводять об'єм до 1 л дистильованою водою; точну концентрацію розчину встановлюють не рідше 1 разу на добу таким способом: до 25 мл розчину $K_2Cr_2O_7$ додають дистильовану воду приблизно до 100 мл, доливають 20 мл концентрованої сульфатної кислоти, перемішують і після охолодження титрують розчином солі Мора, додавши три краплі розчину фероїну або 5 крапель фенілантранілової кислоти); фероїн (розчиняють 1,485 г моногідрату 1,10-фенантроліну і 0,695 г $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ в дистильованій воді та розбавляють до 100 мл); фенілантранілова кислота (розчиняють 0,25 г реактиву в 12 мл розчину NaOH, С = 0,1 моль/л, і розбавляють дистильованою водою до 250 мл).

Стічну воду перед аналізом відстоюють протягом 2 год. Якщо вона не прозора, фільтрують крізь паперовий фільтр. Мінімальний об'єм проби — 5 мл. Якщо перед аналізом пробу потрібно розбавити, на розбавляння слід брати не менш як 10 мл початкової води.

Правильно підібраний об'єм проби такий, на окиснення якого витрачається 50 мл дихромату калію.

Хід роботи

До 20 мл (або 5, 10, 15 і відповідно 15, 10, 5 мл дистильованої води) стічної води додають 10 мл розчину $K_2Cr_2O_7$, 0,4 г $HgSO_4$, кип'ятильники; перемішують і обережно приливають 30 мл концентрованої сульфатної кислоти. В колбу вставляють зворотний холодильник і закріплюють у штативі над електроплиткою чи піщаною банею, доводять розчин до кипіння і кип'ятять упродовж 2 год.

Відключають холодильник і охолоджують пробу. Розчин переносять у конічну колбу, споліскують круглодонну колбу 100 мл дистильованої води, додають 2—3 краплі фероїну і титрують до переходу забарвлення з блакитнувато-зеленого в червоно-коричневе (якщо 5 крапель фенілантранілової кислоти — з червоно-фіолетового в зелений) при титруванні розчином солі Мора.

Паралельно виконують контрольний дослід з 20 мл дистильованої води.

Розрахунок хімічного споживання кисню проводять за формулою:

$$X = \frac{(a-b)K \cdot 0{,}25 \cdot 8 \cdot 1000}{V} = \frac{(a-b)K \cdot 2000}{V},\ \text{мг } O_2/\text{л},$$

де a і b — об'єм солі Мора, витрачений на титрування контрольної проби та проби води, мл; K — поправковий коефіцієнт для переведення концентрації солі Мора точно до $C\left(\frac{1}{z}\right) = 0{,}25$ моль/л; V — об'єм проби, мл; 8 — еквівалент кисню.

3. Визначення дихроматної окиснюваності води (прискорений метод)

Метод використовується для аналізу слабозабруднених стічних вод. Якщо у воді містяться хлорид-іони, їх потрібно або відділити, або визначити їх вміст і результат відняти від загальної окиснюваності води.

Обладнання і реактиви: конічна колба для титрування на 250 мл; мірна колба ємністю 1 л; піпетки Мора; сульфатна кислота (ρ = 1,84 г/см³); сульфат аргентуму Ag_2SO_4 (кристалічний); N-фенілантранілова кислота (0,25 г кислоти розчиняють у 12 мл розчину

NaOH, С = 0,1 моль/л, і розбавляють водою до 250 мл); розчин $K_2Cr_2O_7$, $C\left(\frac{1}{z}K_2Cr_2O_7\right)$ = 0,025 моль/л (1,226 перекристалізованого $K_2Cr_2O_7$, висушеного за температури 130° С протягом 2 год, розчиняють у дистильованій воді і доводять об'єм розчину до 1 л); сіль Мора, $C\left(\frac{1}{z}\right)$ = 0,025 моль/л (9,8 г солі Мора розчиняють у воді, що містить 20 мл сульфатної кислоти (ρ = 1,84 г/см³) і доводять об'єм розчину до 1 л).

Хід роботи

50 мл стічної води вносять у конічну колбу з притертою пробкою місткістю 250 мл. Доливають 25 мл розчину дихромату калію, додають 0,3—0,5 г сульфату аргентуму і 20 мл концентрованої сульфатної кислоти. Колбу закривають пробкою і залишають на 10 хв. Періодично перемішують, не відкриваючи пробки.

Не охолоджуючи розчину, приливають 5—7 крапель індикатора і титрують розчином солі Мора до переходу забарвлення розчину з бурувато-зеленого до чисто-зеленого.

Окиснюваність води визначають за формулою:

$$ХСК = \frac{(a - b)\, C\left(\frac{1}{z}\right) \cdot 8 \cdot 1000}{V}, \text{ мг } O_2/\text{л},$$

де a і b — об'єм солі Мора, витрачений на титрування контрольної проби і аналізованого розчину відповідно, мл; $C\left(\frac{1}{z}\right)$ — молярна концентрація еквівалентів розчину солі Мора; V — об'єм проби, взятий для аналізу, мл; 8 — еквівалент кисню.

Контрольні запитання і завдання

1. *Про що свідчить висока окиснюваність води?*
2. *Чому для визначення окиснюваності води використовують або перманганат калію, або дихромат калію?*
3. *Як впливає висока окиснюваність води (значна концентрація органічних речовин) на вміст кисню у водоймі?*

3.8. Біохімічне споживання кисню ($БСК_5$)

$БСК_5$ — це кількість кисню в міліграмах, потрібна для окиснення органічних речовин, що містяться в 1 л води, аеробними бактеріями до CO_2 і H_2O впродовж 5 діб без доступу повітря і світла.

$БСК_5$ — важливий екологічний показник стану природних водойм. За високого вмісту органічних речовин у воді швидко розмножуються аеробні бактерії, для життєдіяльності яких необхідний кисень. Це може зумовити зниження вмісту розчиненого кисню, призвести до гіпоксичних умов і загибелі окремих видів гідробіонтів. $БСК_5$ не включає витрат на нітрифікацію.

Перед проведенням аналізу на біохімічне споживання кисню заздалегідь визначають окиснюваність води: перманганатну (якщо вода містить незначну кількість органічних речовин), дихроматну (за умови високого вмісту органічних речовин, включно з важкоокиснюваними).

Стічну воду відстоюють 2 год, розбавляють призначеною для цього водою. Розбавляння розраховують діленням значення ХСК (мг O_2/л) на 4. Цей результат показує, у скільки разів треба розбавити воду, що аналізується. Без розбавляння визначають $БСК_5$ від 0 до 6 мг O_2/л. Вміст кисню у пробі після інкубації не має бути нижчим за 2—3 і вищим за 5—6 мг O_2/л.

Мінімальний об'єм відібраної проби — 10 мл; якщо потрібна менша кількість води, виконують ступінчасте розбавляння. Пробу відміряють і наливають у мірну колбу місткістю 500 мл, доливають до риски водою для розбавляння. Якщо проба розбавлена менше, ніж 1:20, її слід термостатувати. Пробу в колбі перемішують.

Приготування води для розбавляння. Воду для розбавляння готують із дистильованої води, яку відстоювали впродовж 4—5 діб, додаючи туди поживні для мікроорганізмів солі. До них належать:

- фосфатний буферний розчин — pH ≈ 7,2: 8,5 г KH_2PO_4, 21,75 г NH_4Cl розчиняють у дистильованій воді і доводять об'єм до 1 л;
- сульфат магнію: 22,5 г $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ розчиняють у дистильованій воді і додають води до 1 л,
- хлорид феруму (III): 0,25 г $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ розчиняють у дистильованій воді і доводять об'єм до 1 л.
- хлорид кальцію: 27,5 г $CaCl_2$ (б/в) розчиняють у дистильованій воді і доводять об'єм до 1 л.

У дистильовану воду вносять по 1 мл поживних солей на 1 л води. Перемішують струшуванням для аерації. Безпосередньо перед визначенням БСК у воду для розбавляння додають культуру мікроорганізмів (1 мл на 1 л води) і 200 мг гідрокарбонату натрію $NaHCO_3$ на 1 л води для створення pH у межах 6,8—7,5.

Як культуру мікроорганізмів використовують "ґрунтову бовтанку": 25 г ґрунту з горщиків для квітів вносять у 0,5 л дистильованої води, перемішують, відстоюють протягом 1 год, два рази фільтрують; фільтрат додають до води для розбавляння в кількості 1 мл на 1 л води.

Вода для розбавляння за кімнатної температури (18—20° С) має містити 8—9 мг/л розчиненого кисню. БСК води для розбавляння визначають одночасно з визначенням БСК проби. $БСК_5$ води для розбавляння не має перевищувати 0,5 мг/л.

Обладнання і реактиви: склянки для визначення $БСК_5$, піпетки, бюретка, штатив, лійка з гумовим наконечником, вода для розбавляння, розчин тіосульфату натрію $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$, $C\left(\frac{1}{z}\right) = 0{,}1$ моль/л (титр перевіряють один раз на тиждень за стандартним розчином дихромату калію); крохмаль, 0,5%-й розчин; концентрована сульфатна кислота; сульфат чи хлорид мангану (розчиняють 400 г $MnSO_4 \cdot 2H_2O$, 480 г $MnSO_4 \cdot 4H_2O$, 364 г $MnSO_4 \cdot H_2O$ або 425 г $MnCl_2 \cdot 4H_2O$) у дистильованій воді і доводять об'єм до 1 л, фільтрують); лужний розчин йодиду калію чи натрію (700 г KOH або 500 г NaOH розчиняють у дистильованій воді так, щоб об'єм становив приблизно 800 мл). Коли осад карбонатів збереться на дні колби, прозору рідину зливають в іншу колбу. Окремо в невеликій кількості води розчиняють 150 г KI чи 135 г NaI. Розчини змішують і доводять об'єм до 1 л. Під час підкислення і розбавляння розчин не повинен давати з крохмалем синього забарвлення (відсутність NO_2^-, IO_3^-, Fe^{3+}), однак має синіти від однієї краплі розчину йоду, $C\left(\frac{1}{z}\ I_2\right) = 0{,}1$ моль/л (відсутність речовин, що поглинають йод).
Якщо у лужному розчині містяться речовини, що виділяють при підкисленні йод, розчин обробляють сплавом Деварда. Для цього до розчину додають 1 г сплаву, залишають на ніч, потім нагрівають до кипіння. Після охолодження, відібравши невелику порцію розчину і підкисливши її, перевіряють за допомогою реактиву Грісса, чи остаточно видалені нітрити*. Розчин зберігають у склянці з темного скла.

Хід роботи

Склянки для визначення БСК споліскують і заповнюють доверху водою через лійку з гумовим наконечником для запобігання потраплянню бульбашок повітря (2 склянки з досліджуваною водою і 4 склянки з водою для розбавляння).

* Він має бути безбарвним; за наявності нітритів — рожевіє.

В одній склянці з аналізованою водою і в двох з водою для розбавляння відразу ж визначають концентрацію розчиненого кисню, в решті — через 5 діб.

У склянку, заповнену пробою, вносять на дно 2 мл розчину $MnSO_4$, потім під рівень проби вводять 2 мл лужного розчину KI. Склянку закривають пробкою. Перемішують до утворення пластівців осаду MnO_2.

Дають осаду відстоятися, потім додають 1 мл концентрованої H_2SO_4 і перемішують до повного його розчинення.

Відбирають дві проби по 50 мл і титрують розчином $Na_2S_2O_3$ з $C\left(\frac{1}{z}\right) = 0{,}01$ моль/л.

Воду для розбавляння відбирають по 100 мл із кожної колби.

Біохімічне споживання кисню обчислюють за формулою:

$$БСК_5 = \frac{[(A_1 - B_1)K \cdot 0{,}01 \cdot 8 \cdot 1000] \cdot N - БСК_{\text{розб. води}} N}{V}, \text{ мг } O_2/\text{л},$$

де A_1 і B_1 об'єм розчину $Na_2S_2O_3$, $C\left(\frac{1}{z}\right) = 0{,}01$ моль/л, витраченого на титрування досліджуваної проби відповідно до та після інкубації упродовж 5 діб, мл; V — об'єм проби води, взятої на титрування, мл; K — поправковий коефіцієнт для приведення молярної концентрації розчину $Na_2S_2O_3$ точно до 0,01; 0,01 — молярна концентрація розчину $Na_2S_2O_3$; 8 — еквівалент кисню; $БСК$ води для розбавляння ($БСК_{\text{розб. води}}$) обчислюють за різницею вмісту розчиненого кисню до і після інкубації; N — розбавляння проби.

Контрольні запитання і завдання

1. *Чому під час приготування води для розбавляння в неї додають фосфати, солі магнію, кальцію та феруму?*
2. *Які організми — аеробні чи анаеробні — в умовах визначення $БСК_5$ беруть участь в окисненні органічних сполук? Які кінцеві продукти окиснення органічних речовин аеробними бактеріями?*
3. *Чому $БСК_5$ є важливим екологічним показником стану природних водойм?*

3.9. Оксид карбону (IV)

Основними джерелами оксиду карбону (IV) в природних водах є атмосферне повітря, дихання рослин і тварин, розкладання органічних решток тощо. При підвищенні температури води CO_2 виділяється в атмосферу, при зниженні — поглинається і зв'язується водою, катіонами кальцію в малодисоційовану карбонатну кислоту та малорозчинний карбонат кальцію:

$$CO_2 + H_2O \rightleftarrows H_2CO_3;$$

$$CO_2 + H_2O + Ca^{2+} \rightleftarrows CaCO_3\downarrow + 2H^+;$$

використовується рослинами в процесі фотосинтезу.

Обладнання і реактиви: кілька коротких широких пробірок на 100 мл; крапельниця; бюретка; 0,1%-й розчин фенолфталеїну в 60%-му спирті, розчин карбонату натрію, C = 0,0277 моль/л.

Хід роботи

Відбирають у пробірку 100 мл досліджуваної води, не збовтуючи, для запобігання насичення її повітрям. Додають у пробірку 10 крапель розчину індикатора. Поява рожевого забарвлення свідчить про відсутність у воді вільного вуглекислого газу.

Якщо вода залишилася безбарвною, її титрують розчином карбонату натрію до появи ледь помітного рожевого забарвлення (під час титрування пробірку не збовтують, а обережно обертають, щоб уникнути розчинення у воді вуглекислого газу повітря).

Кількість CO_2 у воді (в мг/л) дорівнює об'єму розчину карбонату натрію, витраченого на титрування, помноженому на 10.

Контрольні запитання і завдання

1. *Назвіть основні джерела надходження вуглекислого газу в природні водойми.*
2. *Як рослинний і тваринний світ водойм впливає на вміст у воді CO_2?*
3. *Чи можуть окремі види тварин накопичувати CO_2 у вигляді карбонатів у своєму тілі? Які корисні копалини є наслідком цього процесу?*

3.10. Твердість води

Твердість води зумовлена наявністю солей кальцію і магнію. Розрізняють *карбонатну* і *некарбонатну твердість*, перша зумовлена гідрокарбонатами, друга — переважно хлоридами і сульфатами кальцію і магнію. Карбонатну твердість іще називають тимчасовою, або усувною, оскільки під час кип'ятіння гідрокарбонати руйнуються і випадають в осад карбонати і гідроксокарбонати:

$$Ca(HCO_3)_2 \xrightarrow{t^0} CaCO_3\downarrow + H_2O + CO_2\uparrow;$$

$$Mg(HCO_3)_2 \xrightarrow{t^0} MgCO_3\downarrow + H_2O + CO_2\uparrow;$$

$$2Mg(HCO_3)_2 \xrightarrow{t^0} (MgOH)_2CO_3\downarrow + H_2O + 3CO_2\uparrow,$$

хоча цілком позбутися карбонатної твердості неможливо через значну розчинність гідроксокарбонату магнію $(MgOH)_2CO_3$. Саме утворення малорозчинних карбонатів (значно меншою мірою сульфатів та інших солей кальцію і магнію) призводить до утворення накипу в чайниках, бойлерах, трубах і котлах парового опалення, теплообмінному обладнанні, що завдає значних економічних збитків внаслідок забивання труб і необхідності їх заміни або промивання розчинами кислот, зниження їх ефективності.

У твердій воді ускладнюються процеси миття й прання, збільшується витрата мила через утворення пластівців нерозчинних солей кальцію і магнію.

У водоймах із м'якою водою (до 20 мг/л $CaCO_3$) дія отруйних неорганічних сполук проявляється при нижчих концентраціях, ніж у водоймах із твердою водою (хлориду кадмію — при 0,6 мг/л і 73,5 мг/л; сульфату купруму — 0,02 і 1,8; сульфату берилію — 0,14 і 20,3 мг/л відповідно).

Некарбонатну (сталу) твердість усувають додаванням карбонату чи фосфату натрію, які осаджують катіони кальцію і магнію у вигляді нерозчинних солей, наприклад:

$$MgSO_4 + Na_2CO_3 = MgCO_3\downarrow + Na_2SO_4;$$

$$3CaCl_2 + 2Na_3PO_4 = Ca_3(PO_4)_2\downarrow + 6NaCl.$$

У природні води сульфати й хлориди потрапляють під час дренування площ із гірськими породами, що містять гіпс, зі скидами неочищених стічних вод, змивами хлоридів кальцію і натрію, якими взимку посипають тротуари для запобігання утворенню крижаних корок.

Кількісно твердість води виражають у ммоль екв йонів Ca^{2+} і Mg^{2+} в 1 л води. 1 ммоль екв твердості відповідає 20,04 мг Ca^{2+}, 12,16 мг Mg^{2+} або 50 мг $CaCO_3$ (***табл. 3.3***).

Таблиця 3.3. **Типи природних вод за твердістю**

Тип води	ммоль екв/л	Твердість		
		Ca^{2+}, мг/л	Mg^{2+}, мг/л	$CaCO_3$, мг/л
Дуже м'яка	0—1,5	0—30,06	0—18,24	0—75,00
М'яка	1,5—3,0	30,06—60,12	18,24—36,48	75,00—150,00
Середньо-тверда	3,0—4,5	60,12—90,18	36,48—52,72	150,00—225,00
Досить тверда	4,5—6,5	90,18—130,26	52,72—79,04	225,00—325,00
Тверда	6,5—11,0	130,26—220,44	79,04—131,76	325,00—550,00
Дуже тверда	>11,0	>220,44	>131,76	>550,00

Чинними санітарними нормами передбачено, що твердість питної води не має перевищувати 250 мг/л $CaCO_3$, а твердість понад 500 мг/л $CaCO_3$ вважається небезпечною для здоров'я.

Твердість води визначають хімічними методами:

- комплексометричним;
- спиртово-мильним;
- гліцерино-пальмітатним (якщо твердість перевищує 0,7 ммоль екв/л);
- олеатним (Т ≤ 0,7 ммоль екв/л)

та фізико-хімічним—йонообмінним методом.

Пробу води не консервують, твердість визначають упродовж 2 діб з часу відбору проби на аналіз.

1. Визначення твердості води спиртово-мильним методом

Метод ґрунтується на утворенні малорозчинних солей кальцію і магнію з калієвими чи натрієвими солями вищих карбонових кислот, які входять до складу мила, наприклад:

$$2C_{17}H_{35}COOK + CaCl_2 = (C_{17}H_{35}COO)_2Ca\downarrow + 2KCl.$$

Обладнання і реактиви: колба конічна ємністю 250 мл з притертою скляною пробкою, мірні колби на 500 і 1000 мл; етанол, 80%-й розчин; *мильний розчин* (100 г господарського мила розчиняють в 1 л 80%-го етанолу, дають відстоятися в закритій посудині впродовж 1—3 діб, потім чистий розчин зливають в іншу посудину); *стандартний розчин хлориду кальцію* (0,5 г безводного $CaCl_2$ розчиняють у кількох мілілітрах розбавленої хлоридної кислоти, додають 200 мл дистильованої води і нейтралізують аміаком (за універсальним індикаторним папером), кількісно переносять одержаний розчин у мірну колбу на 500 мл і доводять об'єм дистильованою водою до риски; 1 мл розчину еквівалентний за твердістю 1 мг $CaCO_3$ і 1 мл мильного розчину).

Стандартизація мильного розчину. Розбавляють невелику порцію мильного розчину 80%-м етанолом, допоки твердість 1 мл його не зрівняється з твердістю 1 мл стандартного розчину $CaCl_2$. Для цього 1 мл мильного розчину кожного разу змішують з 1 мл стандартного розчину $CaCl_2$ і збовтують. Твердість мильного розчину стає стандартною, коли під час збовтування на поверхні суміші утвориться шар піни, що довго не зникає.

Хід роботи

Наливають у колбу 50 мл аналізованої води і порціями по 0,2 мл додають стандартний мильний розчин, щоразу збовтуючи вміст колби.

Після появи піни залишають колбу на 5 хв. Якщо піна не зникне, аналіз закінчено. Кількість витраченого мильного розчину (в мл), помножена на 20, означає твердість води (в мг/л) у перерахунку на $CaCO_3$.

2. Визначення загальної твердості комплексометричним методом

Метод ґрунтується на взаємодії катіонів кальцію і магнію з трилоном Б в аміачному буферному розчині (pH~9,5) з утворенням внутрішньокомплексних сполук (за наявності металохромних індикаторів). Чутливість методу 0,001 ммоль екв/л.

Катіони важких металів перешкоджають визначенню, тому їх попередньо осаджують у вигляді малорозчинних сполук чи зв'язують у стійкі комплекси (маскують).

Аналізована вода має бути прозорою (каламутну воду заздалегідь фільтрують). Мастило, яке знебарвлює індикатор, також видаляють фільтруванням. Титрування виконують за кімнатної температури. Початкове значення pH аналізованої проби води має становити 4,3, оскільки лише при цьому аміачний буферний розчин забезпечує необхідний pH = 9,5.

Обладнання і реактиви: піпетки Мора, конічні колби місткістю 250 мл, мірна колба на 1 л, штатив, бюретка, скляна лійка, беззольні фільтри; *титрований розчин трилону Б* (для води з твердістю 0,5—20,0 ммоль екв/л готують розчин з $C\left(\frac{1}{z}\right) = 0{,}05$ моль/л (за фіксаналом); якщо немає фіксаналу, то зважують 9,3 г трилону Б і розчиняють у мірній колбі місткістю 1 л, доводять об'єм до риски дистильованою водою; концентрацію розчину трилону Б встановлюють за стандартним розчином $MgSO_4$, приготовленим із фіксаналу; метод встановлення титру той самий, що й при визначенні твердості води; розчин трилону Б стійкий упродовж 3—4 місяців); аміачний буферний розчин (готують змішуванням однакових об'ємів 20%-го розчину аміаку NH_4OH і 20%-го розчину хлориду амонію NH_4Cl, pH ~ 9,5); розчин індикаторів (0,125 г індикатора розчиняють у 2,5 мл аміачного буферного розчину і доводять об'єм розчину етанолом до 25 мл; розчин кислотного хрому темно-синього зберігається довго, хромогену чорного — впродовж 10 днів).

Хід роботи

Беруть 10—100 мл аналізованої води (у відібраній пробі твердість не має перевищувати 0,5 ммоль екв/л) і доводять об'єм дистильованою водою до 100 мл, додають 5 мл аміачного буферного розчину і 5—7 крапель індикатора. В іншій колбі готують розчин "свідка": до 100 мл дистильованої води додають 5 мл буферного розчину і 5—7 крапель індикатора. Потім пробу повільно титрують трилоном Б, інтенсивно струшуючи, до переходу забарвлення розчину з винно-червоного в ясно-синій.

Розрахунок твердості води проводять за формулою:

$$T_{заг.} = \frac{C\left(\frac{1}{z}тр.\right)V_1 \cdot 1000}{V_2}, \text{ ммоль екв/л,}$$

де V_1 — об'єм розчину трилону Б, мл; V_2 — об'єм аналізованої води, мл; $C\left(\frac{1}{z}тр.\right)$ — молярна концентрація еквівалентів розчину трилону, моль/л.

За цією методикою визначають твердість води від 0,5 до 20,0 ммоль екв/л за відсутності у воді катіонів купруму, цинку, мангану.

Оскільки карбонатна твердість води зумовлена йонами HCO_3^-, її визначають титруванням проби води розчином хлоридної кислоти. Усувну твердість визначають за різницею між вмістом HCO_3^- до і після кип'ятіння проби води.

3. Визначення загальної карбонатної твердості

100 мл аналізованої води титрують розчином HCl, C = 0,1 моль/л з метиловим оранжевим до оранжевого кольору, який не зникає під час кип'ятіння.

Загальну карбонатну твердість обчислюють за формулою:

$$T_{\text{карб.}} = \frac{CV_1 \cdot 1000}{V_2}, \text{ ммоль екв/л,}$$

де C — молярна концентрація розчину хлоридної кислоти, моль/л; V_1 — об'єм розчину хлоридної кислоти, мл; V_2 — об'єм води, взятої на аналіз, мл.

4. Визначення залишкової карбонатної твердості

Другу порцію води об'ємом 200 мл кип'ятять у конічній колбі 1 год. Після охолодження переносять у мірну колбу місткістю 200 мл, доводять об'єм до риски дистильованою водою і фільтрують. Титрують 100 мл фільтрату розчином хлоридної кислоти з метилоранжем до оранжевого кольору.

За різницею між загальною карбонатною і залишковою карбонатною твердістю обчислюють твердість, що усувається під час кип'ятіння.

Некарбонатну твердість визначають за різницею між загальною і карбонатною.

Контрольні запитання і завдання

1. *Чи впливає тривале споживання води з високим вмістом йонів Ca^{2+} і Mg^{2+} на здоров'я людини і як саме?*
2. *Чому в м'яких водах ГДК алюмінію значно нижча, ніж у твердих?*
3. *Чи є у водних системах організми, що знижують вміст кальцію у воді?*

3.11. Розчинений кисень (метод Вінклера)

У природні водойми кисень надходить з атмосферним повітрям і виділяється в процесі фотосинтезу водяними рослинами, водоростями та фітопланктоном. Від вмісту O_2 залежить життя водяних організмів, що використовують кисень для дихання, інтенсивність процесів окиснення та розкладання органічних решток, самоочищення водойм.

Різні види гідробіонтів потребують для життя різні кількості кисню: вибагливій форелі потрібно не менш як 10 мг/л, карасю достатньо й 2 мг/л кисню у воді.

Забруднення водойм органічними речовинами та сполуками, здатними окиснюватися, значно погіршує їх стан щодо забезпеченості киснем, тому визначення його вмісту у воді є дуже важливим. У разі нестачі кисню органічні рештки гниють, виділяючи у воду гідрогенсульфур, аміак та інші отруйні для гідробіонтів речовини. Виникають гіпоксичні умови.

Проби води для визначення розчиненого кисню не консервують. На місці відбору розчинений кисень фіксують, зв'язуючи його в малорозчинний $MnO(OH)_2$:

$$2\ Mn\ (OH)_2\downarrow + O_2 = 2Mn\ O(OH)_2\downarrow.$$

У лабораторії осад розчиняють у кислоті в присутності йодиду калію; йод, що утворився внаслідок реакції, титрують стандартним розчином тіосульфату натрію за наявності індикатора крохмалю:

$$MnO(OH)_2\downarrow + 2KI + 2H_2SO_4 = MnSO_4 + I_2 + K_2SO_4 + 3H_2O;$$
$$I_2 + 2Na_2S_2O_3 = 2NaI + Na_2S_4O_6.$$

Цим методом можна визначити ≥ 0,05 мг O_2/л.

Визначенню кисню перешкоджають зависи, які видаляють адсорбцією на $Al(OH)_3$; окисники, що реагують з KI (хлор, нітрити, ферум (III) тощо); відновники, котрі взаємодіють з виділеним йодом (сульфіти, тіосульфати, деякі органічні сполуки). Азид натрію усуває вплив нітритів; ферум (III) зв'язують у флуоридний комплекс.

Обладнання та реактиви: мірна колба місткістю 1000 мл, бюретка на 25 мл, батометр — прилад для відбору проби, градуйована склянка місткістю 250—300 мл із пришліфованою пробкою, піпетки, конічні колби для титрування; розчин сульфату або хлориду мангану (II), С = 0,1 моль/л (розчиняють 241 г $MnSO_4 \cdot 5H_2O$ чи 200 г $MnCl_2 \cdot 4\ H_2O$ в дистильованій воді і доводять об'єм до 1 л); йодид калію, 15%-й розчин (розчиняють 15 г KI в дистильованій воді, додають 60 мл розчину NaOH або KOH з концентрацією 1 моль/л і доводять об'єм до 100 мл); сульфатна кислота розбавлена (1:4); розчин тіосульфату натрію, С = 0,025 моль/л (розчиняють 12,4 г $Na_2S_2O_3 \cdot 5\ H_2O$ і 0,2 г Na_2CO_3 в дистильованій воді і доводять об'єм до 1 л; точну концентрацію розчину встановлюють за дихроматом калію і перевіряють щотижня; стандартний розчин тіосульфату натрію можна приготувати з фіксаналу); крохмаль, 0,5%-й розчин (0,5 г крохмалю розтирають у ступці з 5 мл дистильованої води, вливають 95 мл кип'ятку, 2 краплі хлоридної кислоти і кип'ятять 3—5 хв).

Хід роботи

Пробу води відбирають батометром у градуйовану склянку місткістю 250—300 мл доверху, вводять, опускаючи піпетку до дна, 1—2 мл розчину солі мангану (II), потім 1—2 мл лужного розчину йодиду калію на незначну глибину, закривають пробкою, щоб не було бульбашок повітря, і повертають кілька разів колбу для перемішування розчину. Малорозчинний $MnO(OH)_2$ осаджується. Через 10—15 хв у склянку обережно додають 10 мл H_2SO_4 (і маскувальний реагент, якщо потрібно). Закривають пробкою і перемішують (на рідину, що виливається, не звертають уваги).

Вміст склянки переносять у конічну колбу місткістю 500 мл (або відбирають лише певний об'єм піпеткою), споліскують склянку дистильованою водою і титрують йод, що виділився, тіосульфатом натрію до солом'яно-жовтого кольору, додають 1 мл крохмалю і титрують до зникнення синього забарвлення.

Масову концентрацію розчиненого кисню *С* обчислюють за формулою:

$$C = \frac{V \cdot C \cdot M \cdot 1000}{V_2 - V_1},\ \text{мг}\ O_2/\text{л},$$

де *V* — об'єм розчину тіосульфату натрію, витраченного на титрування, мл; *С* — молярна концентрація розчину тіосульфату натрію, моль/л; *М* — молярна маса еквівалента кисню (8); V_1 — місткість кисневої склянки, мл; V_2 — об'єм реагентів (2—4 мл), доданих у кисневу склянку для фіксації кисню, мл.

Ступінь насиченості води киснем визначають за формулою:

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

де C_0 — рівноважна концентрація кисню, мг O_2/л (***табл. 3.4***), для температури, виміряної під час відбору проби, з поправкою на атмосферний тиск і вміст у пробі розчинених солей.

Поправку на атмосферний тиск C_1 обчислюють за формулою:

$$C_1 = \frac{C_0 \cdot P}{760},$$

де C_1 — шукана рівноважна концентрація при тиску *Р*, мг/л; *Р*— атмосферний тиск, мм рт. ст.

Поправка на вміст солей в аналізованій воді: з рівноважної концентрації кисню в дистильованій воді, знайденій за ***табл. 3.4***, віднімають на кожні 1000 мг/л солей: 0,08405 мг/л за температури проби 0° С; 0,06217 — при 10° С; 0,047777 — при 20° С і 0,04085 — при 30° С.

Таблиця 3.4. **Розчинність кисню у воді за різних значень температури й тиску 760 мм рт. ст.**

t, °C	C_o, мг/л	t, °C	C_o, мг/л	t, °C	C_o, мг/л
0	14,7	10,5	11,35	20,5	9,31
0,5	14,5	11	11,23	21	9,23
1	14,3	11,5	11,11	21,5	9,14
1,5	14,11	12	10,99	22	9,06
2	13,92	12,5	10,87	22,5	8,98
2,5	13,74	13	10,76	23	8,91
3	13,56	13,5	10,65	23,5	8,83
3,5	13,39	14	10,54	24	8,76
4	13,22	14,5	10,43	24,5	8,69
4,5	13,05	15	10,33	25	8,62
5	12,89	15,5	10,23	25,5	8,55
5,5	12,73	16	10,13	26	8,48
6	12,58	16,5	10,03	26,5	8,41
6,5	12,43	17	9,93	27	8,35
7	12,29	17,5	9,83	27,5	8,28
7,5	12,14	18	9,74	28	8,22
8	12	18,5	9,65	28,5	8,16
8,5	11,86	19	9,56	29	8,1
9	11,73	19,5	9,47	29,5	8,04
9,5	11,6	20	9,39	30	7,98
10	11,47	—	—	—	—

Контрольні запитання і завдання

1. Як впливає температура на вміст кисню в природних водоймах?
2. Назвіть хімічні та біологічні процеси, інтенсивність яких залежить від вмісту кисню у воді.
3. Які чинники сприяють насиченню річкової води киснем?

3.12. Кислотність і лужність вод

pH середовища має велике значення для формування хімічного складу вод, процесів їх очищення, забезпечення умов існування для рослинного й тваринного світу водойми. Зокрема, зниження pH сприяє підвищенню розчинності карбонатів, сульфідів, фосфатів важких металів, збільшенню їх міграції і доступності для засвоєння живими організмами, отруєнню.

Для більшості риб оптимальним є pH = 6,7—8,6. Цей показник залежить від багатьох чинників: температури води, вмісту органічних речовин, діяльності живих організмів тощо.

1. Визначення pH вод

Найзручніше і найточніше визначають pH вод за допомогою pH-метра. Можна скористатися універсальним індикаторним папером і за кольоровою шкалою визначити pH. Ще один спосіб — використання різних кислотно-основних індикаторів, які змінюють своє забарвлення при різних значеннях pH. Знаючи інтервал pH зміни кольору кількох індикаторів, можна з достатньою точністю визначити pH води, наливши 5—10 мл

аналізованої води в пробірки і додавши по 1—2 краплі індикатора. У ***табл. 3.5*** наведені основні pH-індикатори, інтервали їх переходу та забарвлення.

Таблиця 3.5. **pH-індикатори**

Індикатор	Інтервал pH	Зміна кольору
Пікринова кислота	0,1—1,3	Безбарвний — жовтий
Кристалічний фіолетовий I	0,13—0,5	Жовтий — зелений
II	1,0—1,5	Зелений — синій
III	2,0—3,0	Синій — фіолетовий
Крезоловий червоний I	0,2—1,8	Червоний — жовтий
II	7,0—8,8	Жовтий — пурпуровий
Метиловий жовтий	2,9—4,0	Червоний — оранжево-жовтий
Бромфеноловий синій	3,0—4,6	Жовтий — фіолетово-синій
Метиловий оранжевий	3,0—4,4	Червоний — оранжево-жовтий
2,5-Динітрофенол	4,0—5,8	Безбарвний — жовтий
Метиловий червоний	4,4—6,2	Червоний — жовтий
Алізариновий червоний	5,0—6,6	Жовтий — фіолетово-червоний
Бромтимоловий синій	6,0—7,5	Жовтий — синій
Фенолфталеїн	8,2—10,0	Безбарвний — рожевий
Тимолфталеїн	9,3—10,5	Безбарвний — синій
Алізариновий жовтий R	10,0—12,0	Жовтий — оранжево-червоний
Алізарин	11,0—13,0	Рожевий — фіолетовий
Фуксинова кислота	12,0—14,0	Яскраво-червоний — безбарвний

2. Визначення кислотності води

Кислотність — це концентрація у воді речовин, що взаємодіють із сильними основами. До них належать сильні кислоти, які у водному розчині повністю дисоціюють на йони (сульфатна, хлоридна, нітратна, хлорна), слабкі кислоти (ацетатна, сульфідна, сульфітна, карбонатна) та катіони слабких основ, які у воді гідролізують із виділенням протонів (NH_4^+, Fe^{3+}, Al^{3+}, катіони органічних основ).

Обладнання і реактиви: конічні колби, бюретка, штатив, піпетки Мора, тимолфталеїн або фенолфталеїн (0,1%-й спиртовий розчин), метиловий жовтий (0,1%-й розчин у 90%-му спирті), бромфеноловий синій (0,1%-й розчин у 20%-му спирті) або змішаний індикатор (0,1 г метилового оранжевого і 0,25 г індигокарміну розчиняють у 100 мл води); розчин NaOH, 0,1 моль/л.

Під час аналізу стічних вод із високим вмістом катіонів алюмінію і феруму (III) потрібні додатково: сульфат амонію, тіосечовина $CS(NH_2)_2$ або флуорид калію (розчиняють 30 г $KF \cdot 2H_2O$ в 100 мл води; розчин нейтралізують за тим індикатором, який використовують при титруванні проби); сульфат купруму $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ кристалічний; розчин сульфатної кислоти, $C\left(\frac{1}{z}H_2SO_4\right) = 0{,}1$ моль/л.

Під час визначення кислотності води, в якій містяться значні кількості феруму (II), додатково потрібен гексаметафосфат натрію $(NaPO_3)_6$, 2%-й розчин, нейтралізований за індикатором, який використовують при титруванні. Якщо в розчині міститься активний хлор, його відновлюють пероксидом гідрогену.

Хід роботи

Під час визначення кислотності титрування з різними індикаторами краще виконувати в окремих порціях аналізованої води.

Визначення загальної кислотності. До 50—100 мл аналізованої води додають 10 крапель розчину тимолфталеїну чи фенолфталеїну і титрують розчином NaOH на білому тлі до появи відповідно синього або рожевого забарвлення розчину, яке не зникає. Якщо у ролі індикатора застосовують фенолфталеїн (перехід забарвлення при pH = 8,2—10,0) чи тимолфталеїн (pH = 9,4—10,6), відбувається нейтралізація всіх кислот, зокрема й слабких.

Визначення вмісту сильних кислот. До іншої проби аналізованої води (100—50 мл) додають 5—6 крапель метилового жовтого (або індикатора, що його замінює). Пробу титрують розчином NaOH до зміни забарвлення розчину (у разі метилового жовтого інтервал pH переходу забарвлення 2,9—4,0) — від червоного до жовтого.

Визначення вільних кислот у водах із високим вмістом алюмінію і заліза (III). Переведення катіонів Fe (III) і Al (III) у флуоридні комплекси. В мірну колбу місткістю 200 мл вносять 100 мл аналізованої води, додають 1—10 мл розчину флуориду калію і об'єм розчину доводять до риски дистильованою водою. Добре перемішавши рідину, залишають її на деякий час для осадження флуоридів. Відбирають піпеткою 100 мл прозорої рідини, переносять у конічну колбу, додають індикатор і титрують суміш розчином гідроксиду натрію.

Зв'язування феруму (і купруму) тіосечовиною (застосовують у тому разі, коли вода збагачена цими катіонами і в якій дуже мало алюмінію). В 50—100 мл аналізованої води додають кристалик $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ (якщо у воді немає Cu(II)), що необхідно для прискорення реакції утворення комплексу феруму (III) з тіосечовиною, і 3—5 г сульфату амонію. Потім додають таку кількість тіосечовини, щоб після інтенсивного перемішування розчин знебарвився; додають індикатор і суміш титрують розчином NaOH, як описано вище.

Визначення вільної кислоти у водах із високою концентрацією Fe (II). Зв'язування феруму (II) і феруму (III) гексаметафосфатом натрію. До відміряного об'єму аналізованої води, що містить у 100 мл не більш як 120 мг йонів Fe (II) і не більш як 10 мг Fe (III), додають у дво- чи трикратному надлишку 2%-й розчин гексаметафосфату натрію, 5—6 крапель індикатора бромфенолового синього і титрують вільну кислоту розчином NaOH до появи жовто-зеленого забарвлення.

Залишають на 25—30 хв до зникнення жовтого відтінку; утворений зелений розчин знову титрують розчином H_2SO_4 до переходу зеленого кольору в сірий. При правильному проведенні процесу на зворотне титрування витрачають не більш як 0,5 мл розчину сульфатної кислоти з $C(\frac{1}{Z}H_2SO_4)$ = 0,1 моль/л.

Кислотність води X визначають за формулою:

$$X = \frac{A \cdot K \cdot 0{,}1 \cdot 1000}{V}, \text{ ммоль екв/л},$$

де A — об'єм розчину HCl, витраченого на титрування, мл; V — об'єм води, взятої для аналізу, мл; K — поправковий коефіцієнт для розчину HCl з C = 0,1 моль/л.

3. Визначення лужності

Лужність — це вміст у воді речовин, що здатні взаємодіяти з сильними кислотами. Умовно їх можна поділити на три групи: сильні основи (гідроксиди лужних і лужноземельних металів), слабкі основи (решта гідроксидів) та аніони слабких кислот (HCO_3^-, CO_3^{2-}, $H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-}, SO_3^{2-}, аніони гумінових кислот, HS^-, S^{2-} тощо).

Визначенню перешкоджають інтенсивне забарвлення води (усувають додаванням активованого вугілля з подальшим фільтруванням проби), вільний хлор, який знебарвлює індикатор (його видаляють, вводячи у воду еквівалентну кількість тіосульфату натрію з C = 0,1 моль/л), високий вміст вуглекислого газу (перешкоджає правильному визначенню переходу забарвлення індикатора при титруванні; його витісняють, пропускаючи крізь воду повітря).

Обладнання і реактиви: конічні колби місткістю 250 мл, піпетки Мора, штатив, бюретка, розчин хлоридної або сульфатної кислоти C $(\frac{1}{Z})$ = 0,1 моль/л; розчин NaOH,

С = 0,1 моль/л; індикатори: метиловий жовтий (0,1%-й розчин в 90%-му спирті) або бромфеноловий синій (0,1%-й розчин в 20%-му спирті), чи змішаний індикатор (0,1 г метилового оранжевого і 0,25 г індигокарміну розчиняють у 100 мл води).

Хід роботи

Якщо стічна вода каламутна, її фільтрують, якщо інтенсивно забарвлена — розбавляють дистильованою водою у мірних колбах місткістю 100 чи 200 мл. Взятий об'єм води враховують під час розрахунку результатів аналізу.

У конічну колбу наливають 100 мл аналізованої води, додають 5 крапель фенолфталеїну і отриманий розчин титрують на білому тлі хлоридною чи сульфатною кислотою до зникнення рожевого забарвлення. Кількість витраченої кислоти відповідає лужності води за фенолфталеїном, тобто вмісту в ній речовин — сильних основ і деяких аніонів (CO_3^{2-}, PO_4^{3-}).

Потім у колбу додають 5—6 крапель метилового жовтого або бромфенолового синього чи змішаного індикатора. В другу конічну колбу наливають такий самий об'єм аналізованої води і стільки ж індикатора, скільки його було додано в перший розчин. Ставлять обидві колби на білий папір і титрують рідину в першій колбі доти, доки її колір не почне відрізнятися від кольору рідини в другій колбі. Витрата титрованого розчину кислоти на друге титрування свідчить про вміст у воді аніонів слабких кислот (HCO_3^-, $H_2PO_4^{2-}$, HS^-) та слабких основ.

Загальний об'єм витраченої кислоти відповідає загальній лужності води. Розрахунки виконують за формулою:

$$X = \frac{A \cdot K \cdot 0{,}1 \cdot 1000}{V} = \frac{A \cdot K \cdot 100}{V}, \text{ ммоль екв/л,}$$

де A — об'єм розчину кислоти, витрачений на титрування, мл; V — об'єм аналізованої води, мл; K — поправковий коефіцієнт для розчину кислоти С $(\frac{1}{z})$ = 0,1 моль/л.

Контрольні запитання і завдання

1. Наведіть приклади впливу зниження pH на процеси у водних об'єктах.

2. Чи впливає pH води на гідробіонтів?

3. Чому при підкисленні води спостерігається отруєння водяних організмів важкими металами?

3.13. Сполуки нітрогену (аміак, нітрити, нітрати)

Нітроген є основним компонентом живих організмів. У природі, зокрема й у водоймах, постійно відбувається колообіг сполук нітрогену за участю численних процесів, як у живій природі, так і в неживій. Внаслідок розкладання білків у водоймах утворюється аміак, який із часом окиснюється до нітритів і нітратів.

Найбільшими забрудниками природних вод аміаком є тваринницькі ферми, нітратами — поверхневі води з полів та стічні води хімічних виробництв. Вони спричинюють бурхливий розвиток синьозелених водоростей і порушення функціонування водних екосистем.

Наявність тих чи інших сполук нітрогену дає змогу встановити час надходження забруднених аміачними сполуками стічних вод (***рис. 3.2***):

- наявність аміаку і відсутність нітритів і нітратів — забруднення відбулося недавно;
- одночасна наявність і відновлених, і окиснених сполук нітрогену — з часу скидання стічних вод пройшов певний час;
- високий вміст нітритів і особливо нітратів за відсутності сполук амонію — забруднення давнє — аміак встиг окиснитися:

$$2NH_3 + 3O_2 = 2HNO_2 + 2H_2O;$$

$$2HNO_2 + O_2 = 2HNO_3.$$

Вміст нітратів у питній воді не має перевищувати 45 мг/л; нітритів — 3,3 мг/л.

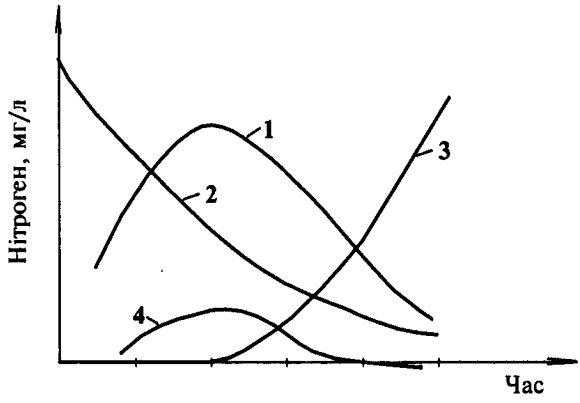


Рис. 3.2. Форми сполук нітрогену у стічних водах в анаеробних умовах: 1 — аміак; 2 — органічний нітроген; 3 — нітрат; 4 — нітрит.

Визначення аміаку

Метод базується на утворенні комплексної сполуки йодиду оксимеркуратамонію червоно-коричневого кольору під час взаємодії йона амонію чи аміаку з реактивом Несслера:

$$NH_3 + 2K_2[HgI_4] + 3KOH = \left[O\begin{matrix}<Hg\\<Hg\end{matrix}>NH_2\right]I + 7KI + 2H_2O.$$

1. Напівкількісний метод

Матеріали і реактиви: пробірки, піпетки, мірна колба на 100 мл, фарфорова ступка, сегнетова сіль $KNaC_4H_4O_6 \cdot 4H_2O$, реактив Несслера (10 г йодиду меркурію розтирають у ступці з невеликою кількістю дистильованої води, додають 5 г йодиду калію і розчин лугу —20 г КОН в 50 мл дистильованої води; суміш кількісно переносять у мірну колбу на 100 мл, додають воду до риски і перемішують).

Хід роботи

Наливають у пробірку 10 мл води, яку аналізують. Додають 0,3 мл 50%-го розчину сегнетової солі, що запобігає появі білого осаду гідроксиду магнію, який перешкоджає аналізу (йони магнію завжди містяться у воді в невеликих кількостях). Додають 0,5 мл реактиву Несслера. Ставлять пробірку в штатив на 10 хв. За даними *табл. 3.6* визначають вміст аміаку у воді.

Таблиця 3.6. **Шкала для визначення вмісту аміаку у воді**

Забарвлення при розгляданні		Масова концентрація аміаку, мг/л	Забарвлення при розгляданні		Масова концентрація аміаку, мг/л
збоку	зверху		збоку	зверху	
Немає	Немає	0,04	Світло-жовте	Світло-жовте	0,8
Немає	Ледь помітне	0,08	Світло-жовте	Жовте	2,0
Ледь помітне	Світло-жовте	0,2	Жовте	Інтенсивне	
Світло-жовте	Жовтувате	0,4		жовто-буре	4,0

2. Кількісний фотоколориметричний метод

Чутливість методу визначення аміаку дорівнює 0,05 мг/л, що значно нижче від ГДК. Без розбавляння можна визначити не більш як 4 мг/л NH_4^+ в 1 л води.

Безпосередньому визначенню аміаку у воді без його відгонки перешкоджає велика кількість речовин. За наявності амінів, хлорамінів, ацетону, альдегідів, спиртів та деяких

інших органічних речовин, які взаємодіють із реактивом Несслера, визначення аміаку без відгонки неможливе. Тому потрібна попередня підготовка проби води до аналізу.

Твердість усувають додаванням сегнетової солі або комплексону III; ферум, сульфіди та каламутність води — за допомогою солі цинку (до 100 мл проби додають 1 мл розчину сульфату цинку (100 г $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ в 1 л бідистильованої води), суміш перемішують і 25%-м розчином гідроксиду натрію чи калію доводять pH до 10,5 (контроль pH-метром); після утворення осаду його відділяють фільтруванням крізь скляний фільтр або центрифугуванням; при цьому збільшується об'єм розчину, який необхідно врахувати під час розрахунків).

Вплив хлору усувають додаванням розчину тіосульфату або арсеніту натрію (розчиняють 3,5 г $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ або 1,0 г Na_3AsO_3 в 1 л бідистильованої води). Для відновлення 0,5 мг хлору достатньо 1 мл одного з названих розчинів.

Аміак відганяють із слабколужного середовища, яке створюють додаванням фосфатного буферного розчину до pH = 7,4 або розчином гідроксиду натрію. Під час аналізу вод, що містять білкові або інші речовини, які виділяють аміак, використовувати NaOH не можна. Залежно від вмісту аміаку в пробі для його поглинання використовують сульфатну чи борну кислоту. Кількість сульфатної кислоти, витраченої на нейтралізацію перегнаного аміаку, визначають зворотним титруванням розчином гідроксиду натрію. Якщо для поглинання аміаку використовували борну кислоту, відігнаний аміак визначають прямим титруванням сульфатною кислотою.

Фотометричне визначення аміаку в дистиляті з реактивом Несслера проводять при концентрації менш за 0,01 мг/л; при більш високих концентраціях використовують титриметричний метод. Перед відгонкою аміаку вільний хлор відновлюють тіосульфатом або арсенітом натрію. Леткі органічні сполуки видаляють кип'ятінням підкисленої проби води.

Ч.II

Обладнання і реактиви: фотоелектроколориметр; мірні колби місткістю 50, 100 і 1000 мл; піпетки Мора місткістю 5 і 10 мл; мензурка місткістю 50 мл; розчин реактива Несслера, C = 0,1 моль/л (до 45,5 г йодиду меркурію HgI_2 додають 34,3 г йодиду калію в невеликому об'ємі води, 146 мл 50%-го розчину гідроксиду калію KOH, розбавляють розчин до 1 л; зберігають у склянці з темного скла); *основний стандартний розчин*, 1 мл містить 1 мг NH_4^+ (2,9717 г хлориду амонію NH_4Cl переносять у мірну колбу місткістю 1 л, розчиняють у воді і доводять об'єм розчину до риски); *робочий стандартний розчин*, 1 мл містить 10 мкг амонійного нітрогену (готують розбавлянням основного робочого розчину: 10 мл основного робочого розчину переносять у мірну колбу на 1 л і доводять об'єм до риски дистильованою водою, перемішують).

Хід роботи

У мірну колбу місткістю 50 мл вносять об'єм досліджуваного розчину (чи стічної води), який містить 5—40 мкг амонійного нітрогену, додають 1 мл реактиву Несслера, доводять об'єм дистильованою водою до риски і перемішують. Через 3 хв вимірюють оптичну густину розчину на ФЕК з синім світлофільтром (λ = 400—430 нм) в кюветі з товщиною поглинального шару 50 мм. Масу амонійного нітрогену в пробі визначають за градуювальним графіком.

Побудова градуювальної кривої. У мірні колби місткістю 50 мл вміщують 0,5; 1,0; 2,0; 3,0 і 4,0 мл робочого стандартного розчину, що відповідає 5, 10, 20, 30 і 40 мкг амонійного нітрогену, додають по 30—40 мл дистильованої води, по 1 мл реактиву Несслера і потім виконують аналіз так, як описано вище.

Масову концентрацію амонійного азоту X обчислюють за формулою:

$$X = \frac{m \cdot 1000}{V}, \text{ мкг/л},$$

де m — маса амонійного нітрогену в пробі, визначена за графіком, мкг; V — об'єм аналізованого розчину, використаного для аналізу, мл.

Контрольні запитання і завдання

1. Чому сільське господарство є забрудником природних вод солями амонію?

2. Чи можуть живі організми безпосередньо засвоювати атмосферний азот? Як це відбувається?

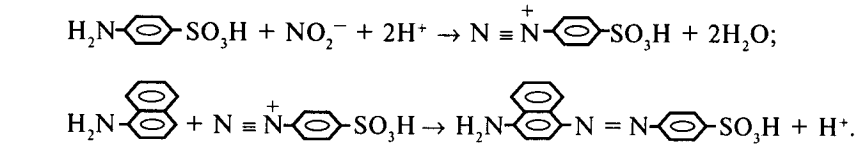
3. Які сполуки нітрогену існують у природі і як здійснюється їх колообіг?

Визначення нітритів

Нітрити визначають фотометричним методом із реактивом Грісса (суміш сульфанілової кислоти і α-нафтиламіну). Нітрити є нестійкими сполуками, тому їх або визначають одразу після відбору проб води, або консервують додаванням 1 мл концентрованої H_2SO_4 чи 2—4 мл хлороформу на 1 л проби, можна також охолоджувати пробу води до 3—4° С.

У кислому розчині нітрити взаємодіють з первинними амінами з утворенням солей діазонію. При подальшому їх сполученні з ароматичними сполуками, що містять амінні та гідроксогрупи, утворюється азобарвник, концентрацію якого визначають фотометричним методом.

Для визначення нітрит-іонів у водах запропоновано метод, який ґрунтується на діазотуванні сульфанілової кислоти наявними в пробах води нітритами і взаємодії утвореної солі діазонію з α-нафтиламіном, що приводить до утворення червоно-фіолетового барвника:



Чутливість визначення становить 0,002 мг/л NO_2^-.

Визначенню нітритів перешкоджають завислі речовини та каламутність води, тому пробу перед аналізом фільтрують. За потреби проби прояснюють, додаючи гідроксид алюмінію. Для цього до 100 мл проби води додають 0,5 г активованого вугілля, 1 мл 12,5%-го розчину алюмокалієвих галунів $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ і аміак до pH-5,8. Після збовтування тверда фаза випадає в осад і після повного прояснення розчину його фільтрують крізь фільтр "синя стрічка".

Для визначення відбирають частину фільтрату. Перешкоджають сильні окисники та відновники. Ферум (III), меркурій (II), срібло, бісмут, плюмбум, золото та метаванадати в умовах визначення випадають в осад: йони купруму (II) знижують результати аналізу внаслідок каталітичної дії на розкладання діазотованої сульфанілової кислоти. Для забарвлених вод слід провести контрольний дослід, у якому до окремої проби води доливають тільки розчин сульфанілової кислоти. Отримане значення оптичної густини віднімають від оптичної густини досліджуваної проби.

1. Якісний метод з наближеною кількісною оцінкою

Обладнання і матеріали: пробірки; волюметричні піпетки; колби на 200 мл; водяна баня; реактив Грісса (0,5 г сульфанілової кислоти розчиняють при нагріванні в 150 мл 12%-го розчину ацетатної кислоти; окремо розчиняють при нагріванні 0,25 г α-нафтиламіну в 150 мл 12 %-го розчину ацетатної кислоти; змішують однакові об'єми).

Хід роботи

Наливають у пробірку 10 мл води, яку аналізують. Додають 0,5 мл реактиву Грісса. Нагрівають суміш на водяній бані за температури 70° С упродовж 5 хв. За даними ***табл. 3.7*** визначають вміст у воді нітритів.

Таблиця 3.7. **Визначення вмісту нітритів за кольором розчину**

Забарвлення при розгляданні		Масова концентрація нітритів, мг/л
збоку	зверху	
Немає	Немає	0,001
Ледь помітне рожеве	Помітне рожеве	0,002
Дуже світле рожеве	Блідо-рожеве	0,004
Блідо-рожеве	Світло-рожеве	0,02
Світло-рожеве	Рожеве	0,03
Рожеве	Світло-червоне	0,04
Яскраво-рожеве	Червоне	0,07
Червоне	Яскраво-червоне	0,4

2. Кількісний фотометричний метод

Обладнання і реактиви: мірні колби місткістю 100 мл; піпетки Мора; фотоелектроколориметр; сульфанілова кислота, 0,6%-й розчин в розчині ацетатної кислоти з концентрацією 4,4 моль/л; α-нафтиламін, 0,6%-й розчин в розчині ацетатної кислоти з концентрацією 4,4 моль/л.

Хід роботи

У мірну колбу на 100 мл відбирають 50 мл або інший об'єм профільтрованої проби, яка містить до 6 мг NO_2^-, додають 1 мл сульфанілової кислоти і ретельно перемішують. Через 5 хв додають 1 мл розчину α-нафтиламіну. Розчин перемішують, доводять водою до позначки, знову перемішують і вимірюють його оптичну густину при довжині хвилі 520 нм (синьо-зелений світлофільтр).

За допомогою градуювального графіка визначають вміст нітрит-іонів. Для побудови цього графіка готують серію з 6—8 стандартних розчинів із вмістом нітрит-іонів у межах 0—6,0 мг і діють, як зазначено вище.

Масову концентрацію нітритів C_x або молярну концентрацію C_y обчислюють за формулами:

$$C_x = \frac{a \cdot 1000}{V}, \text{ мг/л}; \qquad C_y = \frac{a \cdot 1000}{V\,M}, \text{ ммоль/л},$$

де a — кількість NO_2^-, визначена за графіком, мг; V — об'єм проби, мл; M — молярна маса еквівалента нітрит-іонів, $M(NO_2^-) = 46{,}00$.

Контрольні запитання і завдання

1. Які процеси в ґрунті чи воді є джерелом нітритів?

2. Чому внесення добрив слід проводити в певні терміни і в певних дозах?

3. Що таке евтрофікація водойм?

Визначення нітратів

У сульфатному середовищі нітрат-іони утворюють з саліцилатом натрію суміш 3- та 5-нітросаліцилових кислот, солі яких у лужному середовищі мають жовте забарвлення. Чутливість фотометричного визначення за цією реакцією становить 0,1 мг/л NO_3^-.

Визначенню нітратів перешкоджають забарвлені органічні сполуки, які відділяють обробкою води суспензією $Al(OH)_3$; хлориди в кількості понад 200 мг/л (їх можна видалити обробкою проби води сульфатом аргентуму); йони феруму при концентрації понад 5 мг/л (вплив феруму та інших катіонів усувають пропусканням проби крізь катіоніт;

нітрити при концентрації понад 2 мг/л видаляють випарюванням проби досуха на водяній бані за наявності 0,05 г сульфату амонію).

Обладнання і реактиви: фарфорова чашка; водяна баня; мірні колби на 50 мл; саліцилат натрію, 0,5%-й свіжоприготований розчин; розчин гідроксиду натрію, С = 10 моль/л; стандартний розчин KNO_3, що містить 0,01 мг/л NO_3^-; для усунення впливу домішок: суспензія $Al(OH)_3$, сульфат аргентуму, катіоніт, сульфат амонію.

Хід роботи

До 10 мл або іншого об'єму проби води, яка містить не більш як 0,2 мг NO_3^-, додають 1 мл свіжоприготованого 0,5%-го розчину саліцилату натрію і випарюють досуха у фарфоровій чашці на водяній бані. Після охолодження до сухого залишку додають 1 мл концентрованої сульфатної кислоти і залишають стояти 10 хв (якщо утворюється забарвлений розчин, цей метод непридатний). Вміст чашки розбавляють дистильованою водою, кількісно переносять у мірну колбу на 50 мл і додають 7 мл розчину NaOH. Після охолодження доводять об'єм розчину дистильованою водою до позначки, перемішують і вимірюють його оптичну густину при довжині хвилі 410 нм у кюветі з такою товщиною шару, щоб оптична густина не перевищувала 1,50. Розчин порівняння — дистильована вода. Від визначених значень оптичної густини віднімають оптичну густину контрольної проби, приготовленої таким самим способом з дистильованою водою. За градуювальним графіком визначають вміст нітрат-іонів.

Для побудови градуювального графіка готують стандартні розчини, які містять 0; 0,005; 0,01; 0,02; 0,05; 0,10 та 0,20 мг NO_3^-. Для цього відбирають 0; 0,5; 1,0...20,0 мл стандартного розчину нітрату калію з концентрацією 0,01 мг/л NO_3^- і доводять дистильованою водою або випарюють приблизно до 10 мл. Далі діють, як зазначено вище, і будують градуювальний графік у координатах "оптична густина — кількість NO_3^-, мг".

Масову концентрацію нітрат-іонів C_x або молярну концентрацію C_y визначають за формулами:

$$C_x = \frac{a \cdot 1000}{V}, \text{ мг/л}; \qquad C_y = \frac{a \cdot 1000}{V \cdot M}, \text{ ммоль/л},$$

де a — кількість нітрат-іонів, визначена за градуювальним графіком, мг; V — об'єм проби води, мл; M — молярна маса еквівалента NO_3^-, $M(NO_3^-) = 62{,}00$.

Контрольні запитання і завдання

1. *Назвіть джерела надходження нітратів у природні водойми.*
2. *Про що свідчить одночасна наявність у водоймах сполук амонію, нітритів та нітратів?*
3. *Яких змін зазнають нітрати в травному каналі людини? Джерелом якої канцерогенної сполуки є нітрати?*

3.14. Фосфати

Фосфор належить до найважливіших біогенних елементів. Рослини і тварини споживають його сполуки, а при загибелі фосфоровмісні речовини знову надходять у довкілля. Підвищений вміст у водоймах нітрогену і фосфору спричинює їх евтрофікацію.

Сполуки фосфору потрапляють у водойми з поверхневими водами, які змивають їх з полів, де вони вносяться як добриво; зі стічними водами виробництв фосфатної кислоти, фосфатів, суперфосфату; з побутовими водами та відходами в складі мийних засобів.

Фотометричний метод визначення фосфатів

При взаємодії фосфат-іона з молібдатом у кислому середовищі утворюється гетерополікислота жовтого кольору, яка при дії відновника перетворюється на молібденову синь. Однак відновлення слабким відновником (аскорбіновою кислотою) відбувається лише за підвищених температур, тобто за умов, коли поліфосфати і органічні ефіри фосфатної кислоти гідролізують з утворенням фосфатної кислоти, тому результати завищені.

Введення в розчин солей стибію зумовлює утворення більш складної сполуки, до складу якої входить стибій у співвідношенні Sb : P = 1 : 1. Реакція відбувається за кімнатної температури і швидко зростає інтенсивність забарвлення, а поліфосфати і складні ефіри фосфатної кислоти за цих умов у реакції участі не беруть, тому результати свідчать лише про наявність ортофосфат-іона в пробі природної чи стічної води.

Усі види фосфору визначають безпосередньо після відбору проб. Частину проби фільтрують крізь щільний паперовий фільтр і у фільтраті визначають розчинні форми фосфору. Другу частину гомогенізують і визначають у ній концентрацію всіх форм фосфору — "загальний фосфор". В окремих випадках, особливо при великому вмісті органічних сполук, визначають "загальний фосфор" у профільтрованій частині проби (в її рідкій фазі).

Біохімічні процеси в пробі можна зупинити додаванням 2—4 мл хлороформу на 1 л води; консервування проби підкисленням неприпустиме.

Усунення впливу домішок. Сильнокислі й сильнолужні проби заздалегідь нейтралізують; сульфіди і гідрогенсульфур усувають додаванням кількох міліграмів перманганату калію на 100 мл проби, струшують 1—2 хв (розчин має залишатися рожевим); потім додають реактиви у зворотному порядку: аскорбінову кислоту, фосфат, а потім молібдат амонію; вплив нітратів усувають додаванням сульфанілової кислоти, сполуки феруму зв'язують у комплекси додаванням еквівалентної кількості трилону Б.

Обладнання і реактиви: піпетки, мірні колби на 50 мл, поліетиленові банки, фотоелектроколориметр, сульфатна кислота, 10%-й розчин (900 мл води і 140 мл концентрованої кислоти, $\rho = 1{,}84$ г/см^3); молібдат амонію (3 г молібдату амонію $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$ розчиняють в 100 мл води; зберігають у поліетиленовому посуді); аскорбінова кислота (2,16 г кислоти розчиняють у 100 мл води; зберігають у холодильнику не більше трьох тижнів); антимонілтартрат калію (0,345 г $KSbH_4O_6 \cdot 0{,}5H_2O$ розчиняють в 500 мл води); сульфанілова кислота $NH_2C_6H_5SO_3H$, 10%-й розчин; змішаний розчин (125 мл сульфатної кислоти + 50 мл розчину молібдату амонію + 50 мл розчину аскорбінової кислоти + 25 мл розчину антимонілтартрату калію + 10 мл сульфанілової кислоти); готують перед використанням; *фосфат калію: основний розчин:* 0,7165 г KH_2PO_4 (ч. д. а.) розчиняють у дистильованій воді, додають 2 мл хлороформу і доводять об'єм дистильованою водою до 1 л (1 мл розчину містить 0,50 мг PO_4^{3-}); *робочий розчин 1:* 10 мл основного розчину розбавляють дистильованою водою до 1 л (1 мл містить 0,005 мг PO_4^{3-}; розчин використовують свіжоприготовленим!); *робочий розчин 2:* 50 мл розчину 1 розбавляють дистильованою водою до 250 мл (в 1 мл розчину міститься 0,001 мг PO_4^{3-}; використовують свіжоприготовленим!)

Хід роботи

До 50 мл проби, профільтрованої в день відбору, додають 2 мл змішаного розчину, через кілька хвилин — 0,5 мл аскорбінової кислоти, перемішують.

Якщо в аналізованому розчині є поліфосфати чи органічні сполуки фосфору, то вимірюють оптичну густину розчину протягом 5—15 хв. Якщо сполук, що легко гідролізуються, немає, проміжок часу може бути збільшений до 60 хв.

Розчин порівняння — усі реактиви без фосфату калію.

Якщо проба забарвлена або каламутна, потрібно відняти значення оптичної густини розчину, добутого після додавання молібдату амонію, однак перед внесенням аскорбінової кислоти.

Вміст фосфат-іонів визначають за градуювальним графіком, який будують на основі таких розчинів: 0; 1,0; 2,5; 5,0 ... 50 мл робочого стандартного розчину KH_2PO_4, розводять до 50 мл дистильованою водою і далі продовжують, як зазначено в ході аналізу.

Контрольні запитання і завдання

1. Назвіть природні й антропогенні джерела надходження сполук фосфору у поверхневі водойми.
2. Як кислотні дощі впливають на доступність фосфатів для живлення рослин?
3. Які фосфорні добрива ви знаєте?
4. Як впливає нестача фосфору на ріст рослин?

3.15. Хлориди (метод Мора)

Хлорид-іони зумовлюють солоність морської та океанічної води, а також солоних озер; у прісних водоймах хлориди за концентрацією посідають третє місце після гідрокарбонат- і сульфат-іонів. Вміст йонів Cl^- в питній воді регламентується і не має перевищувати 350 мг/л. Мінеральні води часто збагачені хлоридами, зокрема, концентрація їх у цілющій Миргородській досягає 1000—2500 мг/л.

Вміст хлоридів у водах — важлива екологічна характеристика, оскільки різні види гідробіонтів пристосовані до життя у воді з певною солоністю. Більшість рослин (крім галофітів — рослин переважно прибережних зон морів і океанів) зазнає стресу і гине в разі підвищення солоності ґрунтових вод (хоча картоплю, коли висота стебла досягає 20 см, рекомендують для підвищення врожайності один раз полити розчином кухонної солі — 800 г на відро води).

Титриметричний метод Мора базується на осадженні хлорид-іонів розчином нітрату аргентуму $AgNO_3$ за наявності хромату калію K_2CrO_4 як індикатора. Під час титрування $AgNO_3$ спочатку утворюється осад AgCl білого кольору. Коли всі хлорид-іони будуть осаджені, при подальшому додаванні утворюється цегляно-червоний осад хромату аргентуму Ag_2CrO_4:

$$NaCl + AgNO_3 = NaNO_3 + AgCl\downarrow;$$

$$K_2CrO_4 + 2AgNO_3 = 2KNO_3 + Ag_2CrO_4\downarrow.$$

Якщо вміст хлорид-іонів не перевищує 100 мг/л, для титрування використовують розчин нітрату аргентуму з концентрацією 0,01 моль/л. Чутливість методу — 2 мг/л Cl^-.

Визначенню хлоридів перешкоджають: колір і каламутність води, ціаніди, сульфіти, тіосульфати, катіони феруму, а також фосфати в концентраціях понад 25 мг/л, оскільки вони осаджуються у вигляді фосфату аргентуму. Одночасно з хлоридами визначаються і броміди та йодиди, однак їх вміст у воді дуже незначний.

Обладнання і реактиви: муфельна піч, фарфорова чашка, мірна колба на 1 л, штатив, бюретка, беззольний фільтр "біла стрічка", активоване вугілля, водяна баня, розчин NaCl, C = 0,1 моль/л (з фіксаналу); за відсутності фіксаналу розчиняють 5,8443 г "х.ч." NaCl у бідистиляті і доводять об'єм до 1 л (перед тим, як узяти наважку хлорид натрію прожарюють у фарфоровій чашці при 500—600° С в муфельній печі до сталої маси); нітрат аргентуму $AgNO_3$, $C(\frac{1}{z}) \approx 0{,}1$ моль/л (16,9874 г (х.ч.). $AgNO_3$ розчиняють у мірній колбі місткістю 1 л і об'єм доводять до позначки дистильованою водою; перед тим, як узяти наважку нітрат аргентуму доводять до сталої маси в сушильній шафі за температури 105° С; розчин $AgNO_3$ зберігають у склянці з темного скла; точну концентрацію розчину $AgNO_3$ встановлюють за стандартним розчином NaCl); фенолфталеїн, 1%-й спиртовий розчин: 1 г фенолфталеїну розчиняють у 70 мл етанолу і додають 30 мл дистильованої води; хромат калію, 10%-й розчин (розчиняють 10 г K_2CrO_4 в невеликому об'ємі бідистильованої води, додають кілька кристалів $AgNO_3$ до утворення цегляно-червоного осаду, через 1—2 доби розчин фільтрують і розбавляють фільтрат до 100 мл бідистилятом); карбонат натрію, 10%-й розчин.

Підготовка проби до аналізу. Якщо в аналізованій воді немає домішок, що перешкоджають визначенню хлоридів, воду фільтрують крізь беззольний фільтр "біла стрічка". У разі наявності домішок воду готують до визначення хлорид-іонів заздалегідь.

Якщо вода каламутна і забарвлена, пробу обробляють активованим вугіллям: 0,5 г його енергійно струшують із водою і фільтрують крізь беззольний фільтр "синя стрічка", який після фільтрування води промивають дистильованою водою. Об'єм фільтрату разом із промивними водами доводять дистильованою водою до 100 мл і визначають у ньому вміст хлорид-іонів (активоване вугілля не повинно містити хлоридів).

При великій концентрації органічних речовин і інтенсивному забарвленні проби наважку води з вмістом 20—50 мг хлоридів переносять у фарфорову чашку, додають 10%-й розчин Na_2CO_3 до лужної реакції за фенолфталеїном і випарюють досуха на водяній бані. Сухий зали-

шок прожарюють у муфельній печі за температури 500—600° С до повного згоряння органічних речовин. Після охолодження чашки прожарений залишок розчиняють у дистильованій воді і розчин кількісно переносять у конічну колбу для титрування. Загальний об'єм доводять до 100 мл дистильованою водою і проводять визначення хлорид-іонів.

Хід роботи

Підготовлена проба води повинна мати pH середовища 8—10. Якщо pH >10, воду нейтралізують (за фенолфталеїном) розчином H_2SO_4, $C(\frac{1}{z}H_2SO_4) = 0{,}1$ моль/л, якщо pH < 6, у воду додають $NaHCO_3$ до появи слабко-рожевого забарвлення, яке перед визначенням хлоридів усувають збовтуванням води.

Кількість хлоридів у взятій наважці має становити 20—50 мг. Об'єм взятої наважки в конічній колбі доводять до 100 мл дистильованою водою, додають 1 мл 10%-го K_2CrO_4, титрують розчином $AgNO_3$, C = 0,1 моль/л.

Аналогічно виконують контрольний дослід із 100 мл дистильованої води.

Масову концентрацію хлорид-іонів X обчислюють за формулою:

$$X = \frac{(a - b)C\,K \cdot 35{,}45 \cdot 1000}{V}, \text{ мг/л},$$

де a і b — відповідно об'єм витраченого розчину $AgNO_3$, C = 0,1 моль/л, на титрування проби і дистильованої води, мл; C — молярна концентрація розчину $AgNO_3$, моль/л; K — поправковий коефіцієнт розчину $AgNO_3$; 35,45 — еквівалент Cl^-; V — об'єм проби, взятий для аналізу, мл.

Масову концентрацію хлоридів X' обчислюють за формулою:

$$X' = \frac{(a - b)CK \cdot 58{,}443 \cdot 1000}{V}, \text{ мг NaCl/л},$$

де 58,443 — еквівалент NaCl.

Контрольні запитання і завдання

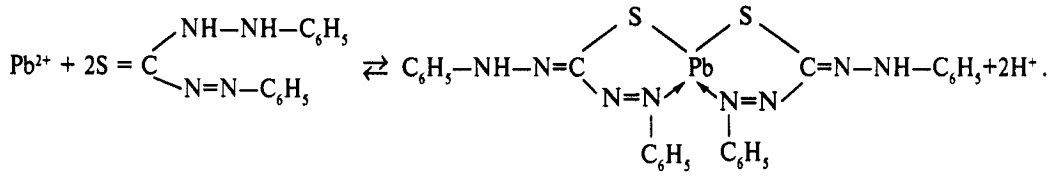
1. *Оскільки солоність морської води зумовлена наявністю хлорид-іонів, до яких наслідків може призвести поливання сільськогосподарських угідь солоною водою?*
2. *Чому засолення ґрунтів у посушливих районах часто зумовлене нераціональним поливом земель?*
3. *Як впливають хлорид-іони на ріст рослин у містах, де тротуари взимку посипають кухонною сіллю чи хлоридом кальцію для запобігання ожеледиці?*

3.16. Сульфати

Сульфат-іони (як хлориди і гідрокарбонати) належать до найпоширеніших аніонів природних вод — як прісних, так і солоних. У питній воді їх вміст не має перевищувати 500 мг/л.

Залежно від концентрації сульфатів у воді їх визначають титриметричними або гравіметричними методами. Сульфат титрують робочим розчином нітрату плюмбуму за наявності дитизону як індикатора або визначають зворотним титруванням розчином комплексону III після попереднього іонообмінного видалення йонів металів, що перешкоджають аналізу. Гравіметрично сульфати визначають у вигляді $BaSO_4$.

Титриметричне визначення сульфат-іонів ґрунтується на їх взаємодії з йонами Pb^{2+} з утворенням малорозчинного $PbSO_4$, а надлишок плюмбуму встановлюють за допомогою дитизону, який у точці еквівалентності змінює свій колір від синього до червоно-фіолетового внаслідок утворення забарвленого дитизонату плюмбуму:



Для зменшення розчинності осаду $PbSO_4$ титрування виконують у водноспиртовому або водно-ацетоновому середовищі. Цим методом можна визначати йони SO_4^{2-}, якщо їх концентрація не менша, ніж 10 мг/л.

Визначенню перешкоджають катіони металів, які утворюють з дитизоном забарвлені комплексні сполуки. Для їх видалення пробу води перед аналізом збовтують з катіонітом КУ-2 в H^+-формі. При цьому йони металів поглинаються катіонітом (обмінюються на йони H^+ катіоніту). Визначенню заважають також фосфати, однак їх концентрація в природних водах, як правило, значно нижча від концентрації сульфатів, тому їх впливом можна нехтувати.

Обладнання і реактиви: йонообмінна колонка, катіоніт КУ-2, колби на 250 мл і 100 мл, піпетки, електроплитка, фарфорова ступка, штатив, бюретка, етанол, дитизон (0,1 г дитизону розтирають у фарфоровій ступці з 5 г бензойної кислоти); розчин нітрату плюмбуму, $C\left(\frac{1}{z}Pb(NO_3)_2\right) = 0{,}05$ моль/л.

Хід роботи

Пробу води об'ємом 50—100 мл вносять у колбу на 250 мл, додають 5—10 г катіоніту КУ-2 в H^+-формі і збовтують 6—8 разів упродовж 5—10 хв. Після осідання смоли відбирають піпеткою 10—50 мл розчину в конічну колбу на 100 мл з позначкою на рівні 10 мл. Якщо об'єм проби більший за 10 мл, то воду випарюють на електроплитці до 10 мл. У разі аналізу вод із вмістом сульфатів понад 300 мг/л після йонообмінного видалення катіонів, що перешкоджають аналізу, пробу розбавляють дистильованою водою і враховують це під час розрахунків.

До 10 мл проби води додають 30 мл етанолу і стільки дитизону, щоб розчин забарвився у синьо-зелений колір; титрують розчином нітрату плюмбуму до зміни кольору на червоно-фіолетовий.

Масову концентрацію сульфат-іонів C_x або молярну концентрацію еквівалентів C_y визначають за формулами:

$$C_x = \frac{C\left(\frac{1}{z}\right) \cdot V_1 \cdot M\left(\frac{1}{z}\right) 1000}{V}, \text{ мг/л}; \qquad C_y = \frac{C\left(\frac{1}{z}\right) \cdot V_1 \cdot 1000}{V}, \text{ ммоль/л},$$

де $C\left(\frac{1}{z}\right)$ — молярна концентрація еквівалентів $Pb(NO_3)_2$, моль/л; V_1 — об'єм робочого розчину $Pb(NO_3)_2$, витраченого на титрування, мл; V — об'єм води, взятої для титрування (після контакту з катіонітом), мл; $M\left(\frac{1}{z}\right)$ — молярна маса еквівалента SO_4^{2-} (48,00).

Контрольні запитання і завдання

1. *Завдяки якій властивості сульфати рухливіші в біосфері, ніж фосфати і флуориди?*
2. *Що зумовлює необхідність контролю за вмістом розчинних сульфатів у водах, які використовують для питних потреб населення та як теплообмінник?*

3.17. Сульфіди

Сульфіди і гідрогенсульфур містяться у водах всіх природних водойм, оскільки вони є учасниками колообігу сульфуру в біосфері і утворюються під час гниття органічних решток, у процесах окиснення — відновлення неорганічних сполук.

Більшість сульфідів не розчинні у воді, що зменшує їх доступність для живих організмів; гідрогенсульфур має неприємний запах і належить до токсичних сполук (внаслідок того, що шар гідрогенсульфуру в Чорному морі піднявся ближче до поверхні, окремі його зони перетворилися на мертві).

Розчинні сульфіди і гідрогенсульфур утворюють з йонами плюмбуму колоїдний сульфід PbS коричневого кольору, який використовують для визначення S^{2-} і H_2S з концентрацією в межах 0,1—2 мг/л H_2S.

Визначенню перешкоджають кольоровість та каламутність води. Слабке забарвлення і каламутність можна компенсувати, якщо відняти від значення оптичної густини проби, яку обробляють за методикою аналізу, значення оптичної густини проби, де замість ацетату плюмбуму до проби додають такий самий об'єм лужного розчину солі тартратної кислоти.

Обладнання і реактиви: мірні колби на 100 мл, піпетки, посуд відомої місткості, фотоелектроколориметр, консервувальний розчин (розчиняють 4 г гідроксиду натрію і 4 г сегнетової солі — тартрату калію-натрію $KNaC_4H_4O_6 \cdot 4H_2O$ у 200 мл дистильованої води і змішують з 800 мл гліцерину); лужний розчин солі плюмбуму (розчиняють у дистильованій воді 1 г ацетату плюмбуму $Pb(CH_3COO)_2$, 25 г сегнетової солі, 5 г гідроксиду натрію і доводять об'єм дистильованою водою до 100 мл); лужний розчин сегнетової солі (2,5 г сегнетової солі і 5 г NaOH розчиняють у невеликій кількості дистильованої води і доводять об'єм водою до 100 мл); стандартний розчин сульфіду натрію Na_2S з концентрацією, яка відповідає 0,01 мг H_2S на 1 мл.

Хід роботи

У посуд, місткість якого відома, наливають 10 мл консервувального розчину на кожні 100 мл проби. Потім наповнюють по вінця пробою, закривають пробкою так, щоб не залишилося бульбашок повітря, і перемішують.

Визначення сульфідів проводять у день відбору проби. До 100 мл консервованої проби додають 5 мл лужного розчину солі плюмбуму. Суміш перемішують і відразу вимірюють оптичну густину проби, від якої віднімають поправку на контрольний розчин з дистильованою водою, і за градуювальним графіком визначають вміст гідрогенсульфуру.

Для побудови градуювального графіка у кілька мірних колб на 100 мл відмірюють 0; 1; 2; 5; 10; 15; 20 мл стандартного розчину Na_2S із концентрацією, яка відповідає 0,01 мг H_2S/мл, доливають по 10 мл консервувального розчину і доводять дистильованою водою до 100 мл. Одержані розчини відповідають концентраціям 0; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 мг H_2S/л. Після перемішування розчинів чинять, як зазначено вище, і будують градуювальний графік.

Масову концентрацію сульфід-іонів і гідрогенсульфуру обчислюють за формулою:

$$C_x = \frac{C \cdot V}{V - V_1}, \text{ мг } H_2S/\text{л},$$

де C — концентрація H_2S, визначена за градуювальним графіком, мг/л; V — місткість склянки для проби, мл; V_1 — об'єм прилитого консервувального розчину, мл.

Контрольні запитання і завдання

1. *Які природні процеси є джерелом гідрогенсульфуру та сульфідів у водоймах?*
2. *Чи можна назвати сульфіди крім забрудників ще й очищувальними реагентами? Які процеси у водоймі відбуваються завдяки їм?*
3. *Чи впливають кислотні дощі на концентрацію гідрогенсульфуру у водоймах? Чому?*

3.18. Флуориди

ГДК флуорид-іонів у питних водах становить 0,7—1,2 мг/л. Флуор у вигляді фторапатиту $Ca_5F(PO_4)_3$ входить до складу кісток і зубної тканини тварин і людини, тому його вміст у водах, що використовуються для питних потреб, контролюють. У природних водах вміст флуоридів коливається в широких межах, тому воду р.Дністер дефторують, а в Прикарпатті, де води збіднені на цей елемент, воду фторують, оскільки як надлишок, так і нестача F^- шкодить здоров'ю людей.

В основі методу визначення флуоридів лежить реакція взаємодії їх з алізаринкомплексоном церію (III); при цьому забарвлення розчину змінюється з червоного на фіолетово-синє.

Наявні в природних водах аніони не перешкоджають визначенню; для видалення катіонів Fe (III) і Al (III) пробу води пропускають крізь катіоніт КУ-2. Похибка методу — менш як 2%.

Обладнання і реактиви: фотоелектроколориметр, йонообмінна колонка, хімічний стакан, катіоніт КУ-2, фенолфталеїн; змішаний реактив: додають, постійно перемішуючи, до 165 мл ацетону послідовно 34 мл буферного розчину (60 г ацетату натрію $CH_3COONa \cdot 3H_2O$ і 115 мл льодяної ацетатної кислоти в 1 л розчину), 5 мл розчину алізаринкомплексону (0,643 г алізаринкомплексону суспендують у 50 мл води, додають 0,25 мл аміаку і 0,25 мл льодяної ацетатної кислоти і розбавляють до 100 мл водою), 5 мл розчину нітрату церію (III), C = 0,0167 моль/л і розбавляють водою до 250 мл; розчин можна зберігати впродовж 5 днів.

Хід роботи

Для визначення флуорид-іонів у хімічний стакан вносять 25 мл аналізованої води (чи інший об'єм, у якому міститься 5—26 мкг F^-). Якщо проба кисла або лужна, її заздалегідь нейтралізують фенолфталеїном. Потім пробу пропускають через колонку з катіонітом КУ-2 зі швидкістю 5 мл/хв для видалення катіонів металів. Колонку промивають невеликою кількістю дистильованої води до одержання загального об'єму елюату 35 мл.

До елюату додають 15 мл змішаного реактиву і через 20 хв колориметрують при довжині хвилі 617 нм на тлі розчину, приготовленого розбавлянням 15 мл змішаного реактиву дистильованою водою в мірній колбі місткістю 50 мл.

Концентрацію флуоридів визначають за градуювальною кривою, побудованою аналогічним шляхом за стандартними розчинами флуориду натрію (2,25 г NaF розчиняють в 1 л дистильованої води).

Контрольні запитання і завдання

1. *Які природні мінерали, що містять флуорид-іони, ви знаєте?*
2. *Які способи дефторування (зниження концентрації флуоридів) ви можете запропонувати? На якому принципі вони базуються?*

3.19. Ферум

Залізо — другий за поширеністю метал у земній корі, тому у водойми він потрапляє з материнської породи та ґрунту. Значні кількості феруму (II) в підземних водах. Антропогенними джерелами феруму у довкіллі є металургійні заводи, кар'єри, де видобувають залізні руди, ТЕС, сміттєспалювальні заводи.

Ферум необхідний для життєдіяльності живих організмів; переважна кількість його входить до складу гемоглобіну. У питній воді ГДК феруму не має перевищувати 0,3 мг/л.

1. Якісне визначення феруму (III) з наближеною кількісною оцінкою

Обладнання і реактиви: мірні колби на 100 мл і 1 л, пробірки; *стандартний розчин феруму*, який містить 0,1 мг Fe^{3+} в 1 мл (0,868 г залізоамонійних галунів $(NH_4)Fe(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$

переносять у мірну колбу місткістю 1 л, додають 4 мл концентрованої сульфатної кислоти і доводять до риски дистильованою водою (10 мл розчину переносять у мірну колбу на 100 мл і доводять об'єм дистильованою водою до риски); роданід калію KSCN, 50%-й розчин; персульфат амонію $(NH_4)_2S_2O_8$ (кристалічний); хлоридна кислота (ρ=1,19 г/см^3), вільна від феруму (III); пероксид гідрогену H_2O_2, 3%-й розчин.

Хід роботи

У пробірку наливають 10 мл аналізованої води, додають 2 краплі концентрованого розчину хлоридної або сульфатної кислоти, кілька кристалів персульфату амонію чи 1—2 краплі розчину пероксиду гідрогену. Після перемішування додають 0,2 мл (4 краплі) розчину роданіду амонію або калію.

Користуючись ***табл. 3.8***, визначають, крім сумарного феруму, також ферум (III) і ферум (II) окремо. Ферум (III) визначають аналогічно, але не додають окисник. За різницею сумарного і феруму (III) визначають концентрацію в стічній воді феруму (II).

Таблиця 3.8. **Забарвлення розчину залежно від концентрації феруму (III)**

Забарвлення		Масова концентрація Fe (III), мг/л
при розгляданні збоку	при розгляданні зверху	
Немає	Немає	<0,05
Ледь помітне жовтувато-рожеве	Дуже слабке жовтувато-рожеве	0,1
Дуже слабке жовтувато-рожеве	Слабке жовтувато-рожеве	0,25
Слабке жовтувато-рожеве	Жовтувато-рожеве	0,5
Світле жовтувато-рожеве	Сильне жовтувато-рожеве	1,0
Сильне жовтувато-рожеве	Жовтувато-червоне	2,0
Світле жовтувато-червоне	Яскраво-червоне	5,0

2. Фотометричне визначення феруму з сульфосаліцилатом натрію

Метод базується на взаємодії сульфосаліцилової кислоти (або її солі) з солями феруму з утворенням забарвлених комплексних сполук, причому в слабкокислому середовищі сульфосаліцилова кислота реагує лише з солями феруму (III), а в слабколужному — з солями феруму (II) і феруму (III).

Обладнання і реактиви: мірна колба на 1 л, мірні колби на 25 мл, мікробюретка на 1 мл, фотоелектроколориметр; сульфосаліцилова кислота або сульфосаліцилат натрію, 10%-й розчин; аміак, розбавлений розчин (змішують 200 мл концентрованого розчину з 300 мл дистильованої води); хлоридна кислота, розбавлений (3:2) розчин; *стандартний розчин феруму.* Розчиняють 0,8634 г залізоамонійних галунів у дистильованій воді, додають 10 мл сульфатної кислоти (ρ = 1,84 г/см^3) і розбавляють у мірній колбі до 1 л (в 1 мл розчину міститься 0,1 мг феруму). 100 мл одержаного розчину переносять у мірну колбу місткістю 1 л і розбавляють дистильованою водою до риски (1 мл цього розчину містить 0,01 мг феруму).

Хід роботи

Визначення загального вмісту феруму

У мірну колбу на 25 мл наливають 10 мл аналізованої води, в якій має міститися 1—10 мкг феруму, що відповідає концентрації 0,1—1,0 мг/л. Більш концентровані води заздалегідь розбавляють у мірній колбі, щоб вміст феруму в 10 мл не перевищував вказаних вище величин. Потім у колбу доливають 5 мл розчину сульфосаліцилової кислоти або сульфосаліцилату натрію, 5 мл розчину аміаку і перемішують.

У таких самих колбах готують шкалу стандартів, наливаючи з мікробюретки 0,1; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0 мл стандарного розчину, додають воду до 10 мл і ті самі реактиви, що й в аналізовану воду. Інтенсивність забарвлення розчину вимірюють на ФЕК із синім світлофільтром (λ= 450—480 нм) у кюветах із товщиною світлопоглинального шару 1 см через 10 хв після додавання реактивів. Молярний коефіцієнт світлопоглинання дорівнює $5,5 \cdot 10^3$.

Загальну концентрацію феруму *X* обчислюють за формулою:

$$X = \frac{a \cdot 1000}{V}, \text{ мг/л},$$

де *V* — об'єм досліджуваної води, мл; *a* — кількість феруму в пробі, визначена за градуювальним графіком, мг.

Визначення феруму (III)

Усі визначення проводять так само, як і у разі загального феруму, однак аналізований розчин заздалегідь нейтралізують за конго червоним, визначивши потрібну кількість лугу в окремій пробі стічної води, і в усі колби шкали стандартів для побудови градуювальної кривої замість аміаку вносять по 0,1 мл хлоридної кислоти. Забарвлення аналізованого розчину вимірюють на ФЕК через 10 хв після приготування, використовуючи зелений світлофільтр (λ = 520 нм) і кювети з товщиною світлопоглинального шару 1 см. Молярний коефіцієнт світлопоглинання становить близько $11 \cdot 10^3$.

Концентрацію феруму (III) визначають за градуювальною кривою.

Вміст феруму (II) можна визначити як різницю загального феруму і феруму (III).

Контрольні запитання і завдання

1. *Яке значення в організмі рослин і тварин має ферум?*
2. *Назвіть живі істоти, які беруть участь у формуванні родовищ залізних руд. Чи відомо вам родовище заліза в Україні, яке своєю появою зобов'язане мікроорганізмам?*
3. *В якому вигляді ферум міститься в природних водах?*

3.20. Хром

Хром (VI) у вигляді солей — хроматів і дихроматів входить до складу стічних вод гальванічних виробництв, міститься у викидах підприємств, де їх добувають чи використовують. Хром (III) застосовують у вигляді хромовокалієвих галунів для дублення шкір, тому стічні води підприємств з обробки шкір містять значні кількості хрому.

Саме ці галузі виробництва і є основними забрудниками поверхневих вод. Оскільки Cr (VI) — сильний окисник, значні його кількості можуть змінювати окисно-відновний потенціал вод, спричинювати перебіг численних окисно-відновних процесів, змінюючи режим водойм. Токсичність Cr (VI) значно вища, ніж Cr (III).

Метод визначення базується на утворенні розчинного комплексу хрому з дифенілкарбазидом червоно-фіолетового кольору. Чутливість методу 0,05 мг/л. Визначенню хрому перешкоджають наявні у великих кількостях (понад 200 мг/л) меркурій (II), ванадій, молібден (VI), ферум (понад 1 г/л). Вплив останнього можна частково усунути додаванням фосфатної кислоти. За наявності значних концентрацій мангану під час окиснення персульфатом амонію осаджується оксид мангану (IV). Його відфільтровують крізь скляну фільтрувальну пластину чи скляну вату.

Хром визначають безпосередньо після відбору проб, оскільки йони CrO_4^{2-} чи $Cr_2O_7^{2-}$ можуть відновлюватися. Перешкоджає визначенню і колір води.

Обладнання і реактиви: мірні колби на 100 мл, електрична плитка, фотоелектроколориметр; вода бідистильована, на якій готують розчини всіх реактивів; сульфатна кислота

H_2SO_4, розбавлений (1:1) розчин та розчин H_2SO_4, $C\left(\frac{1}{2}\right)$ ≈1 моль/л; фосфатна кислота H_3PO_4, ρ = 1,68—1,70; дифенілкарбазид, 0,5%-й розчин в ацетоні (використовують свіжоприготовленим); персульфат амонію $(NH_4)_2S_2O_8$, 0,1%-й розчин. *Стандартний розчин Cr (VI). Основний розчин:* розчиняють 2,8285 г дихромату калію, висушеного за температури 105°С, в бідистильованій воді і доводять об'єм до 1 л (1 мл розчину містить 1 мг Cr (VI). *Робочий розчин I:* розбавляють 25 мл основного розчину бідистилятом до 500 мл (в 1 мл розчину 0,050 мг хрому). *Робочий розчин II:* розбавляють 20 мл робочого розчину I бідистилятом до 500 мл (1 мл містить 0,002 мг Cr (VI). Застосовують свіжоприготовленим.

Хід роботи

1. *Визначення хрому (VI).* У мірну колбу місткістю 100 мл переносять такий об'єм прозорої проби, щоб у ній було 0,005—0,1 мг хрому, доливають 1 мл сульфатної кислоти (1:1), 0,3 мл фосфатної кислоти, доводять об'єм бідистильованою водою до 100 мл, перемішують. Додають 2 мл 0,5%-го розчину дифенілкарбазиду і знову перемішують. Через 5—10 хв фотометрують із зеленим світлофільтром (λ = 540 нм) у кюветах 5 см порівняно з бідистильованою водою, обробленою аналогічно пробі. Вміст хрому визначають за градуювальним графіком.
2. *Визначення загального вмісту хрому.* До 100 мл нерозбавленої, розбавленої чи сконцентрованої випарюванням проби з вмістом у цьому об'ємі 0,005—0,1 мг хрому додають 0,3 мл розчину сульфатної кислоти, $C\left(\frac{1}{2}\right)$=1 моль/л, і 5—10 мл 0,1%-го розчину персульфату амонію; суміш кип'ятять 20—25 хв. Весь персульфат амонію має розкластися, оскільки його залишок заважає подальшому визначенню. Розчин упарюють приблизно до 50 мл, переносять у мірну колбу місткістю 100 мл і продовжують аналіз, як описано вище.

Для приготування шкали стандартних розчинів у мірні колби місткістю 100 мл вносять 0, 1, 2, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50 мл стандартного розчину II; після доведення об'єму розчину до 100 мл одержують серію стандартів із масовою концентрацією хрому (VI) 0; 0,02; 0,04; 0,10; 0,20; 0,30; 0,40; 0,60; 0,80; 1,00 мг/л.

Масову концентрацію хрому (VI) обчислюють за формулою:

$$X = \frac{a \cdot 100}{V}, \text{ мг/л},$$

де a — концентрація хрому, визначена за градуювальним графіком, мг/л; V — об'єм проби, взятої для аналізу, мл; 100 — об'єм, до якого розбавлена проба, мл.

Контрольні запитання і завдання

1. *Назвіть наявні у природних водах сполуки (йони), які можуть окиснюватися дихроматом калію.*
2. *Чи потрібен хром для життєдіяльності рослин? Які функції він виконує?*
3. *Чому в стічних водах, які піддають біологічному очищенню, обов'язково контролюють вміст хрому?*

3.21. Алюміній

Незважаючи на значний вміст алюмінію в земній корі (перший серед металів) у вигляді Al^{3+}, він належить до токсичних речовин. Токсичність залежить значною мірою від форми алюмінію (III) в природних водах (малорозчинні чи розчинні солі, комплексні сполуки), розміру йонів (катіони металу можуть утворювати полімерні гідроксокомплекси до складу $Al_{54}(OH)_{144}^{18+}$), твердості води. Особливо небезпечний для життєдіяльності гідробіонтів Al (III) у м'яких водах, тому вчені вважають, що ГДК Al^{3+} в природних водах залежно від їх твердості мають бути такими:

Твердість, ммоль екв/л	Масова концентрація Al^{3+} (ГДК), мг/л
<2,6	≤ 0,05
2,6—7,1	≤ 0,1
>7,1	≤ 0,5

Йони алюмінію утворюють з еріохромціаніном R при pH = 5,4 комплексну сполуку фіолетового кольору, що лежить в основі кількісного визначення Al^{3+}.

Визначенню перешкоджають: ферум (III), який попередньо відновлюють до феруму (II) гідрохлоридом гідроксиламіну; флуориди і значні кількості органічних сполук (їх видаляють випарюванням проби з хлоридною кислотою і прожарюванням залишку); якщо в пробі містяться значні кількості фосфатів, алюміній визначають за методикою з 8-оксихіноліном.

Обладнання і реактиви: мірна колба місткістю 50 мл, фотоелектроколориметр; еріохромціанін R (розчиняють 750 мг реактиву в 200 мл води, додають 25 г хлориду натрію, 25 г нітрату амонію, 2 мл концентрованої нітратної кислоти і розбавляють водою до 1 л); гідроксиламін гідрохлорид $NH_2OH \cdot HCl$, 10%-й розчин; гідроксид натрію, 10%-й розчин; ацетатна кислота, ч.д.а., 10%-й розчин (9,5 мл концентрованої кислоти розбавляють 90 мл води); ацетатний буфер (pH = 5,4): до 447 мл розчину ацетату натрію, C = 0,1 моль/л, доливають 100 мл розчину оцтової кислоти, C = 0,1 моль/л, і розбавляють дистильованою водою до 1 л; *стандартний розчин алюмінію (III). Основний розчин:* розчиняють 1,758 г алюмокалієвих галунів $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$, ч.д.а., в дистильованій воді і розбавляють до 1 л. В 1 мл одержаного розчину міститься 0,1 мг Al (III). *Робочий розчин:* розбавляють 10 мл основного стандартного розчину дистильованою водою до 1 л (використовують завжди свіжоприготовленим). В 1 мл розчину міститься 0,001 мг Al (III).

Хід роботи

У мірну колбу місткістю 50 мл наливають 25 мл аналізованої води (якщо потрібно, заздалегідь розбавленої чи випареної так, щоб у цьому об'ємі містилося від 0,001 до 0,03 мг алюмінію). Додають 0,5 мл розчину гідроксиламіну, 3 мл розчину еріохромціаніну R, перемішують; доливають краплями розчин NaOH до появи фіолетового забарвлення, а потім розчин CH_3COOH до переходу його в жовтий колір; наливають 10 мл буферу, розбавляють дистильованою водою до риски і перемішують.

Через 20 хв вимірюють світлопоглинання розчину порівняно з контрольним дослідом, проведеним з 25 мл дистильованої води і всіма реактивами. Вимірювання виконують у кюветах із товщиною шару 2 см, користуючись зеленим світлофільтром (λ = 530 нм); молярний коефіцієнт світлопоглинання $4 \cdot 10^4$.

Вміст алюмінію визначають за градуювальним графіком, для побудови якого відбирають 0; 1,0; 2,0; 5,0; 10,0; 15,0; 20,0; 25,0 і 30,0 мл робочого стандартного розчину, що відповідає 0, 1, 2, 5, 10, 15, 20, 25, 30 мкг Al^{3+}, і обробляють кожен розчин аналогічно описаному вище. Хід аналізу при побудові кривої можна спростити: в мірну колбу місткістю 50 мл доливають потрібні кількості робочого розчину алюмінію (III), додають по 3 мл еріохромціаніну R і 10 мл буферного розчину і доводять об'єм до риски.

Масову концентрацію алюмінію в пробі X обчислюють за формулою:

$$X = \frac{a \cdot 1000}{V}, \text{ мг/л},$$

де a — кількість Al^{3+} за градуювальною кривою, мкг; V — об'єм проби води, мл.

Реактиви, які застосовують в аналізі, повинні містити мінімальну кількість алюмінію (III), для цього здійснюють їх перевірку. До 2 мл реактиву (pH = 5,4) доливають 3 мл розчину еріохромціаніну R, 3 мл ацетатного буферного розчину. Якщо в реактиві є алюміній, забарвлення розчину стає рожевим, якщо немає — залишається оранжевим.

Контрольні запитання і завдання

1. *Чим можна пояснити залежність токсичності алюмінію (III) для гідробіонтів від твердості води?*
2. *Чи впливає pH води на розчинність сполук алюмінію у воді? Яким чином і чому?*
3. *У якому вигляді алюміній міститься в природних водах?*

3.22. Меркурій

Ртуть належить до токсичних металів. Її особливістю є агрегатний стан (рідина) і висока леткість. Ртуть утворює катіони Hg^{2+} і Hg_2^{2+}; більшість солей цього металу нерозчинні у воді, що зменшує їх небезпеку для живих організмів. Однак неорганічні сполуки в природних водоймах та ґрунтових розчинах можуть реагувати з органічними речовинами, утворюючи надзвичайно токсичні органічні похідні, зокрема диметилмеркурій $Hg(CH_3)_2$ чи діетилмеркурій $Hg(C_2H_5)_2$.

У природні поверхневі водойми ртуть потрапляє з відходами гальванічних виробництв, відпрацьованими ртутними лампами, що викидаються на звалища. Однак найбільшими джерелами цього токсичного металу є стічні води підприємств, що виробляють меркурійвмісні пестициди та хімічну зброю; використовують ртутні електроди (зокрема, виробництво хлору, гідрогену, гідроксиду та металічного натрію електролізом розплаву чи розчину галіту); виготовляють сухі гальванічні елементи тощо.

ГДК меркурію у питній воді становить 0,005 мг/л, діетилмеркурію 0,0001 мг/л, у ґрунті — 2,1 мг/кг, середньодобова ГДК парів ртуті в атмосфері населених пунктів становить 0,0003 мг/м³.

Біологічною особливостю меркурію, що зумовлює його небезпеку, є здатність до біоакумуляції по ланцюгах живлення: вміст меркурію в організмах рибоїдних птахів порівняно з водою може бути вищим у кілька тисяч разів.

Метод визначення меркурію базується на утворенні забарвлених комплексів катіонів Hg (II) з кристалічним фіолетовим і подальшим їх екстрагуванням та визначенням оптичної густини розчину.

Обладнання і реактиви: мірна колба місткістю 100 мл, конічні колби на 250 мл, pH — метр, ділильна лійка, центрифужні пробірки, центрифуга, фотоелектроколориметр; хлоридна кислота, 5%-й розчин; бідистильована вода; нітратна кислота, 35%-й розчин; перманганат калію, 5%-й розчин; гідроксиламін гідрохлорид, 1,5%-й розчин; аміак, 10%-й розчин; толуол; йодид калію, 2,5%-й розчин (свіжоприготовлений); метабісульфіт натрію $Na_2S_2O_5$, 10%-й розчин; кристалічний фіолетовий, 0,1%-й розчин; *стандартний розчин меркурію (II)*, концентрація 10 мкг/мл (0,0166 г $Hg(NO_3)_2 \cdot 0{,}5H_2O$ розчиняють у 2%-му розчині нітратної кислоти, переливають у мірну колбу на 1 л і доводять об'єм бідистильованою водою до риски).

Хід роботи

Аналізовану воду, що містить 20—50 мкг меркурію (II) в пробі, переносять у мірну колбу місткістю 100 мл і доводять об'єм бідистильованою водою до риски. Ретельно перемішують і виливають у конічні колби місткістю 250 мл, куди додають такі реагенти: 2—3 краплі розчину $KMnO_4$ і 10 мл розчину нітратної кислоти; через 1 хв — 5 мл розчину гідроксиламіну. Після доведення pH розчину до 2 додають по 10 мл розчину йодиду калію і хлоридної кислоти. В кінці додають кілька крапель $Na_2S_2O_5$ до зникнення забарвлення йоду і 2—3 краплі надлишку.

Розчин зливають у ділильну лійку ємкістю 250 мл, додають 2 мл барвника кристалічного фіолетового і енергійно струшують упродовж 30 с, витримують 2 хв, потім додають 10 мл толуолу. Екстрагують 3 хв.

Органічний шар розчину зливають у сухі центрифужні пробірки і центрифугують 1—2 хв при швидкості обертання 1,5—3,0 тис. обертів/хв.

Колориметрують не пізніше як через 2 год. Кювети завтовшки 10 мм, червоний світлофільтр (λ = 605—730 нм). Контрольну пробу колориметрують порівняно з водою. Оптична густина проби (аналізованої води) дорівнюватиме різниці між оптичною густиною проби і контрольного досліду.

Концентрацію меркурію (II) в стічній воді визначають за градуювальним графіком, який будують за оптичною густиною розчинів, що містять 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0 мл стандартного розчину меркурію, що відповідає 5,10, 20, 30, 40, 60, 80, 100 мкг Hg^{2+}.

Масову концентрацію меркурію в стічній воді X обчислюють за формулою:

$$X = \frac{a \cdot 1000}{V}, \text{ мг/л},$$

де a — кількість меркурію за градуювальною кривою, мкг; V — об'єм проби води, мл.

Контрольні запитання і завдання

1. Стічні води яких виробництв містять сполуки меркурію?

2. Чому органічні сполуки меркурію більш небезпечні для живих організмів, ніж неорганічні?

3. Як потрапляють ртуть і її сполуки в повітря, поверхневі водойми, ґрунт?

3.23. Активний хлор

Хлор використовують для бактерицидної обробки води. Його доза залежить від вмісту бактерій, хоча хлор як сильний окисник окиснює численні органічні та неорганічні сполуки, що містяться у воді.

Хлор — надзвичайно токсична сполука, тому залишковий вміст в очищеній воді контролюють і він не має перевищувати в питній воді 0,5 мг/л. Хлор легко взаємодіє з численними органічними речовинами, зокрема гуміновими та фульвіновими кислотами і їх солями, фенолом, що містяться в природних водах, утворюючи надзвичайно отруйні діоксини. Тому в багатьох країнах відмовилися від хлору та його сполук для знезараження води для питних потреб, використовуючи для цього озон, УФ-випромінювання, радіаційні методи.

Хлор та його активні сполуки надходять у водойми і зі стічними водами виробництва хлору, пестицидів, підприємств органічного синтезу тощо.

Метод включає сумарне визначення Cl_2, ClO^-, $HClO$, NH_2Cl, $NHCl_2$, які використовуються чи утворюються в процесі хлорування питної води. При підкисленні аналізованої води і додаванні йодиду калію всі ці сполуки виділяють йод, який відтитровують тіосульфатом натрію за наявності крохмалю. Вміст "активного" хлору виражають у міліграмах на літр у перерахунку на хлор.

У стічній воді можуть міститися й інші окисники, що виділяють йод за наявності йодиду калію: хромати, нітрити, ферум (III), хлорати тощо.

Якщо аналізовану воду підкислюють ацетатною кислотою, за кімнатної температури хлорати не виділяють йод. У разі високої концентрації NO_2^-, $[Fe(CN)_6]^{3-}$, Cu^{2+}, Fe^{3+} слід проводити титрування в ще менш кислому середовищі ацетатного буфера (pH = 4,5).

Обладнання і реактиви: конічна колба з притертою пробкою; штатив; бюретка; йодид калію KI (кристалічний); ацетатна кислота CH_3COOH, 30%-й розчин; розчин тіосульфату натрію, C = 0,01 чи 0,005 моль/л; крохмаль, 0,5%-й розчин.

Хід роботи

У конічну колбу з притертою пробкою наливають 50—100 мл води, додають 0,5 г йодиду калію і 10 мл ацетатної кислоти. Через 5 хв йод, що виділився, відтитровують розчином $Na_2S_2O_3$ з концентрацією C = 0,01 моль/л (при вмісті "активного" хлору понад 1 мг/л) чи розчином

з С = 0,005 моль/л (за концентрації "активного" хлору від 0,1 до 1 мг/л). В кінці титрування (коли розчин набуде солом'яно-жовтого кольору) додають 1—2 мл розчину крохмалю і титрують до знебарвлення розчину.

Вміст "активного" хлору X обчислюють за формулою:

$$X = \frac{a \cdot K \cdot 0{,}355 \cdot 1000}{V}, \text{ мг/л},$$

де a — об'єм тіосульфату натрію, мл; K — поправковий коефіцієнт для приведення концентрації тіосульфату натрію точно до 0,01 моль/л; V — об'єм аналізованої води, мл; 0,0355 — кількість хлору, еквівалентна 1 мл розчину тіосульфату натрію з концентрацією 0,01 моль/л, мг.

Контрольні запитання і завдання

1. *Що входить до поняття "активний" хлор?*
2. *Які ви знаєте хлоруючі агенти для бактерицидної обробки води?*
3. *Які токсичні сполуки можуть утворюватися під час хлорування природних поверхневих вод, збагачених органічними речовинами?*

3.24. Нафтопродукти

Нафтопродукти — це продукти переробки нафти, що складаються переважно з вуглеводнів аліфатичного ряду (насичених і ненасичених) та ароматичних вуглеводнів у різних співвідношеннях і поділяються на фракції: бензинову (петролейний ефір і лігроїн), гасову (гас і газойль) і мазут залежно від температури кипіння й числа атомів карбону.

Вуглеводні надходять у довкілля як з природних джерел (розломи в земній корі та океанічному дні, гниття мертвих організмів в анаеробних умовах, виверження вулканів, виділення рослин), так і з антропогенних (нафтовидобування і нафтопереробка, аварії під час транспортування нафти; стічні води численних підприємств, викиди транспорту).

Нафтопродукти шкідливі для гідробіонтів (особливо якщо містять ароматичні вуглеводні), хоча в природі існує чимало організмів, починаючи від найпростіших, які споживають вуглеводні нафти і нафтопродуктів як джерело карбону для створення біомаси, сприяючи тим самим очищенню водойм і ґрунтів. Цю властивість використовують у біологічних методах ліквідації нафтових плям на поверхні Світового океану та суші.

Утворюючи тонку плівку на поверхні води, нафта і нафтопродукти змінюють газовий і температурний режим води; швидкість руйнування, випаровування чи осадження їх компонентів (процеси самоочищення) залежать від леткості, розчинності, стійкості, хімічної активності, природи сполук.

Метод ґрунтується на екстракції ефіророзчинних фракцій нафти і нафтопродуктів з подальшою відгонкою розчинника. Вміст нафтопродуктів визначають за різницею мас склянки з нафтопродуктами і пустої склянки.

Обладнання і реактиви: хлорид натрію (кристалічний); хлорид кальцію $CaCl_2$ (безводний); діетиловий ефір, х. ч.; ділильна лійка, хімічний стакан, скляна лійка, фільтрувальний папір, аналітичні терези, сушильна шафа, водяна баня.

Хід роботи

Відбирають 100—200 мл стічної води (залежно від концентрації нафтопродуктів) у ділильну лійку, додають хлорид натрію до насичення і екстрагують нафтопродукти, збовтуючи розчин із трьома послідовними порціями ефіру по 25 мл кожна.

Усі екстракти збирають у невеликий сухий стакан, додають 5—10 г безводного хлориду кальцію, збовтують і через 15 хв ефірний розчин фільтрують в інший попередньо висушений і зважений стакан.

Хлорид кальцію промивають кілька разів великими порціями ефіру і приєднують до основного розчину, пропускаючи крізь той самий фільтр. Ефір відганяють на водяній бані за температури води 45—50° С.

Нафтопродукти в стакані доводять у сушильній шафі за температури 50° С до постійної маси і зважують.

Масову концентрацію нафтопродуктів X у стічній воді обчислюють за формулою:

$$X = \frac{(a - b) \cdot 1000 \cdot 1000}{V}, \text{ мг/л},$$

де a — маса стакана з нафтопродуктами, г; b — маса пустого стакана, г; V — об'єм стічної води, взятої для аналізу, мл.

Контрольні запитання і завдання

1. Чи можуть вуглеводні утворюватись у водоймі? Наведіть приклади.

2. Які механізми самоочищення вод існують у поверхневих водоймах?

3. Які чинники зумовлюють токсичність нафти і нафтопродуктів?

4. Назвіть негативний вплив нафтових плям на діяльність гідробіонтів.

3.25. Загальна токсичність водного середовища

З метою спостереження за зміною якості вод поверхневих водойм у природних умовах чи після надходження в них стічних вод використовують біотестування. Тест-організмом є дафнія — жителька прісних водойм, за виживанням та поведінкою якої оцінюють загальну токсичність водного середовища.

Залежно від мети експерименту проби відбираються через різні інтервали часу: щодоби, через 3 доби, щотижня, щомісяця. Температура води 17—22° С.

Токсичність води оцінюють за п'ятибальною шкалою:

- 1 бал — вода *надгостротоксична* (впродовж доби чи швидше гине 100% дафній);
- 2 бали — вода *гостротоксична* (100% дафній гине впродовж 5 діб);
- 3 бали — вода *токсична* (впродовж 5 діб гине 70% дафній);
- 4 бали — вода *малотоксична* (гине не більше ніж 30% дафній впродовж 5 діб);
- 5 балів — вода *умовно токсична* (виживає 100% дафній, які за зовнішнім станом і поведінкою не відрізняються від контрольних).

Обладнання і матеріали: хімічні склянки, беззольні фільтри "синя стрічка", молоді дафнії віком 1-2 діб, проби води з чистої і забрудненої ділянки дослідної водойми, проби стічної води, водна витяжка ґрунту (невелику пробу ґрунту змішують з дощовою водою у співвідношенні 1:10, збовтують протягом 1 год або настоюють 1 добу і фільтрують крізь беззольний фільтр "синя стрічка").

Хід роботи

У 10 склянок наливають по 100 мл досліджуваної води (з водойми чи стічної) і в кожну поміщають по дві дафнії. Контролем слугує вода з чистої ділянки водойми. Бажано відбирати проби води на різній відстані від місця скидання стічних вод, щоб встановити розбавлення стічних вод природними з метою досягнення найменшого рівня токсичності.

Проводиться кілька серій експериментів, в кожній з яких проби стічної води розбавляють у склянках природною водою з умовно чистих ділянок у 5, 10, 100, 500 разів. Як і в попередньому експерименті в склянки поміщають дафній і спостерігають за ними впродовж 5 діб при кімнатній температурі.

Співвідношення об'єму стічної і природної води, що забезпечить рівень токсичності води у 5 балів, вважається за оптимальне.

Щоб оцінити токсичність розчинених речовин, що потрапляють у водойму з ґрунту при руйнуванні берегів чи з поверхневим стоком, біотестують водну витяжку ґрунту, взятого з різних місць.

Роблять висновки щодо загальної токсичності водного середовища, зумовленого скиданням у водойму промислових, сільськогосподарських чи побутових стічних вод або надходження забрудників із поверхні внаслідок випадання атмосферних опадів.

Контрольні запитання і завдання

1. *Чим зумовлений вибір дафнії як тест-об'єкта для встановлення загальної токсичності водного середовища?*
2. *Які токсичні речовини входять до складу побутових стічних вод?*
3. *Які фізичні, хімічні та біологічні процеси сприяють самоочищенню вод природних поверхневих водойм?*

3.26. Дослідження антропогенної евтрофікації водойм

Евтрофікація водойм — це збільшення первинної продуктивності водойм при підвищенні концентрації у воді біогенних елементів, переважно сполук фосфору і нітрогену. "Цвітіння" води зумовлюють синьозелені водорості (ціанобактерії) та планктонні водорості: мікроцистіс, анабена, евглена зелена, хламідомонада тощо, які є індикаторами евтрофікації.

Загибель водоростей і подальше гниття викликає зниження рівня кисню у воді, гіпоксичні умови, загибель гідробіонтів.

Масове розмноження водоростей внаслідок діяльності людини (скидання стічних вод, поверхневий стік із сільськогосподарських угідь, надходження біогенних елементів із повітря) змінює не лише хімічний склад води та біологічне розмаїття видів, а й зумовлює зменшення прозорості води і температурний режим водойми.

Обладнання і матеріали: диск Секкі; мікроскоп для виявлення водоростей — індикаторів евтрофікації водойм; визначник водоростей.

Хід роботи

Визначають за допомогою диску Секкі прозорість води (глибина, на якій видно диск), що пов'язана з біомасою фітопланктону такою залежністю:

$$H = \frac{2}{0{,}04 + 0{,}158 \cdot \sqrt[3]{C^2_{\text{фіт.}}}},$$

звідки

$$C_{\text{фіт.}} = \sqrt{\left(\frac{\frac{2}{H} - 0{,}04}{0{,}158}\right)^3}$$

де $C_{\text{фіт.}}$ — вогка біомаса фітопланктону, мг/л, H — прозорість води згідно з диском Секкі, м.

Якщо величина $C_{\text{фіт.}}$ перевищує 5-6 мг/л, це вказує на антропогенне евтрофування водойм.

Підставляючи значення прозорості у наступне рівняння, визначають масу сестону $C_{\text{сест.}}$ (все, що зависає у воді — організми планктону, їхні залишки, або детрит; органічні частки алохтонного походження, тобто ті, що потрапили у водойму ззовні, завдяки виносу з ґрунтів та скидання стічних вод):

$$C_{сест.} = 6{,}03 \cdot H - 0{,}932, \text{ мг/л.}$$

Порівняння маси сестону і фітопланктону дає змогу відрізнити евтрофування водойм від забруднення його алохтонними завислими речовинами.

Суху масу фітопланктону $C_{сух.}$ визначають за формулою:

$$C_{сух.} = \frac{K_1}{\sqrt[3]{H^2}}$$

За величиною прозорості води наближено визначають концентрацію хлорофілу "а" $C_{хл.}$, що міститься у фітопланктоні:

$$C_{хл.} = 57{,}7 \cdot H - 2{,}17, \text{ мг/м}^3 \text{ води.}$$

За показниками $C_{хл.}$, $C_{фіт.}$, $C_{сест.}$, $C_{сух.}$ та даними ***табл. 3.9 і 3.10***, можна наближено визначити швидкість виділення кисню фітопланктоном, а також кількість кисню та енергетичні витрати, необхідні для розкладання органічних залишків гідробіонтів.

Таблиця 3.9. **Перехідні коефіцієнти для фітопланктону**

Показник	$C_{орг}$, 1 мг	Суха органічна речовина, 1 мг	Кисневий еквівалент, 1 мл	Вогка маса, 1 мг	Суха маса, 1 мг
$C_{орг}$, мг	1,0	0,43	0,53	0,024	0,30
Суха органічна речовина, мг	2,3	1,00	1,20	0,055	0,69
Кисневий еквівалент, 1 мл	1,9	0,83	1,00	0,046	0,57
Вогка маса, мг	42,1	18,00	22,00	1,000	13,00
Суха маса, мг	3,3	1,40	1,80	0,080	1,00

Таблиця 3.10. **Перехідні коефіцієнти для енергетичних або кисневих показників**

Співвіднесений показник	Еквівалент
1 г сухої маси фітопланктону або вищої водяної рослинності	19,2 кДж, або 1 г кисню
1 г сухої маси водяних тварин	3,01 кДж
1 мг $C_{орг}$	44,77 Дж, або 2 мг органічної речовини, або 3,15 мг кисню
1 мг кисню	0,69 мг органічної речовини, або 1,1 мг CO_2, або 0,3 мг $C_{орг}$
1 мл кисню	20,3479 Дж
1 мг хлорофілу "а"	7 мг кисню/год, або 9,6 мг CO_2/год
1 г органічної речовини фітопланктону	21,3527 кДж, або 1,5 г кисню
1 г органічної речовини водяних тварин	23,1274 кДж
1 мг маси бактерій	4,1868 кДж

Контрольні запитання і завдання

1. *Назвіть природні й антропогенні чинники евтрофікації водойм.*
2. *Чому поверхневий стік з полів посилює евтрофікаційні процеси?*
3. *Який прямий і опосередкований вплив масового розмноження фітопланктону на хімічний склад вод та діяльність гідробіонтів вам відомий?*

Розділ 4

ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ҐРУНТІВ

У ґрунтовому моніторингу визначають вологість, вміст гумусу, обмінну здатність ґрунтового вбирного комплексу, pH, забруднення нітратами, пестицидами, нафтопродуктами, важкими металами, активність ґрунтової фауни, яка має надзвичайно важливе значення у формуванні ґрунту і забезпеченні його родючості.

Особливістю вивчення екологічного стану ґрунтів, на відміну від атмосфери і вод, є необхідність ранньої діагностики порушень: засолення, закислення, забруднення, зміни структурно-механічних характеристик.

Для ґрунтів характерна зональність — сусідні ділянки можуть мати різний хімічний склад, що зумовлено рослинністю, глибиною залягання ґрунтових вод, материнською породою, освітленістю тощо. Тому при аналізі ґрунтів відбирають середню пробу, що характеризує ґрунт на певній території.

Дистанційними методами користуються для отримання оперативних даних про температуру, вологість, засоленість, вміст гумусу у вертикальному розрізі ґрунту, товщину снігового покриву, стан рослинності.

З цією метою визначають діелектричну проникність та електропровідність, які залежать від типу, вологості, хімічного складу ґрунту. Глибини проникнення електромагнітних хвиль з $\lambda = 30$ м для піщаних сухих і вологих ґрунтів становлять відповідно 50 м і 1 м; при $\lambda = 2{,}8—3{,}4$ і 6—7 мкм спостерігається селективне поглинання хвиль молекулами води, тоді як при $\lambda = 4—5$ мкм воно зумовлене рослинним пігментом хлорофілом.

Ч.II

Радіоактивність, визначена аерометодами, характеризує тип ґрунту: для чорноземних і каштанових ґрунтів вона вища, ніж для лісових і підзолистих; концентрація радіонуклідів зростає при збільшенні частки глинистої фракції.

Інформація, отримана дистанційними методами, дає змогу визначити не лише стан ґрунтів, а й стан посівів: біомасу, площу покриття ґрунтів рослинністю, полягання, захворюваність, пошкодження шкідниками, забур'яненість, ступінь розвитку рослин.

4.1. Гігроскопічна вода

1. Взяття зразків ґрунту і визначення його структури та складу

Оскільки ґрунт має різні будову і склад навіть на сусідніх ділянках, дуже важливим етапом аналізу є взяття зразків ґрунту, формування середньої проби, переведення її в повітряно-сухий стан, відбір певної за гранулометричним складом фракції.

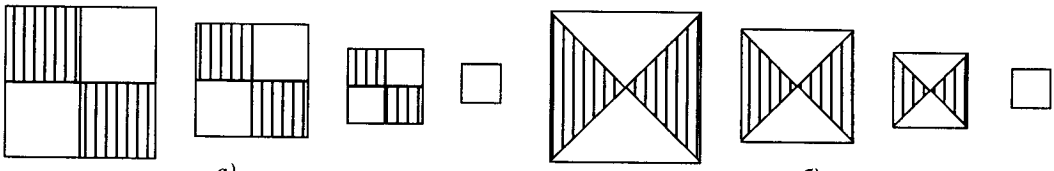
Обладнання і матеріали: лопаточка, етикетки, поліетиленові пакети, фарфорова ступка, сито з отворами 1 мм, аналітичні терези, бюкси з притертою пробкою, сушильна шафа, здатна давати температуру 100—150° С, зразки ґрунту, дерев'яний шпатель.

Хід роботи

Лопаткою відбирають пробу по 100—200 г у кутках і в центрі ділянки, ґрунт якої аналізують. Вкладають проби в пакети, герметично їх зав'язують і зазначають на етикетці номер зразка ґрунту, дату і місце відбору.

Висипають проби на піддон рівним шаром, видаляють сторонні домішки (листя, кору, грудки, коріння, сміття). Описують структуру ґрунту (розсипчастий, грудкуватий, кам'янистий тощо) та його склад (наявність і кількість сторонніх включень, переважаючий тип). Залишають ґрунт для висихання.

Пробу повітряно-сухого ґрунту висипають на аркуш паперу і розрівнюють шаром в 1—2 см, надають форми прямокутника, ділять його на чотири прямокутники *(а)* або чотири трикутники *(б)* (***рис. 4.1***) і два з них відкидають, а два з'єднують, перемішують і знову зменшують пробу методом квартування до 300—500 г. Зважують ґрунт.



а) *б)*

Рис. 4.1. Відбір проби ґрунту методом квартування

Порції ґрунту розтирають дерев'яним шпателем у фарфоровій ступці і просіюють крізь сито з отворами 1 мм. Частину ґрунту, що залишилася на ситі, зважують і визначають її вміст у відсотках від загальної маси ("ґрунтовий скелет").

Ґрунт, який пройшов крізь сито, називають "дрібноземом" і використовують для аналізу.

2. Визначення вологості ґрунту

Вологість ґрунту зумовлена наявністю гігроскопічної води, що вбирається ґрунтом і видаляється з нього за температури 100—105° С. Висушування за цієї температури може давати завищені дані, що зумовлено видаленням із ґрунту газів і частково води, яка входить до складу кристалогідратів.

Вологість має велике значення для забезпечення родючості: у воді розчинені солі, необхідні для живлення рослин; ґрунтова волога зумовлює тургор рослин, завдяки процесам фільтрації, випаровування, розчинення відбувається міграція хімічних елементів у ґрунті.

Хід роботи

У бюксі з притертою пробкою зважують на аналітичних терезах із точністю до 0,0002 г приблизно 1—2 г проби повітряно-сухого ґрунту, вміщують відкритий бюкс у сушильну шафу і висушують пробу при 100—105° С впродовж 5 годин. Бюкс виймають з шафи, закривають кришкою і ставлять в ексикатор на 20—30 хв для охолодження, а потім зважують.

Масову частку гігроскопічної води відносно маси сухої проби визначають за формулою:

$$\omega\,(H_2O_{\text{гігр.}}) = \frac{(m_1 - m_2)\cdot 100}{g},\ \%,$$

де m_1 і m_2 — маса бюкса з ґрунтом до і після висушування, г; g — маса проби після висушування, г.

Контрольні запитання і завдання

1. *Як впливає вологість на процеси міграції хімічних елементів у ґрунті?*
2. *Назвіть антропогенні чинники, які змінюють структурно-механічні властивості ґрунту; як це впливає на родючість?*
3. *Як рослини пристосовуються до нестачі і надлишку води в ґрунті? Як класифікують рослини стосовно води?*

4.2. Органічні речовини

У ґрунті, крім мінеральних, містяться й органічні речовини: розкладені і напіврозкладені мікроорганізмами рештки рослин і тварин, ґрунтовий гумус або перегній. Вміст гумусу в різних ґрунтах різний (у ґрунтах більшості типів не перевищує 5%, у чорноземах 8—10%, у болотних ґрунтах 18—20%) і зменшується від поверхні вглиб.

Вміст органічних речовин визначають за втратою маси ґрунту під час прожарювання (ВПП), оскільки при 900° С органічні речовини згоряють із виділенням CO_2, пари води та інших газоподібних продуктів, зокрема NO, NO_2, SO_2. Однак за цієї температури із ґрунту видаляються, крім органічних речовин, гази, гігроскопічна й кристалізаційна вода, CO_2 карбонатів тощо.

Обладнання і матеріали: муфельна піч, щипці, аналітичні терези, зразки ґрунту, фарфорові тиглі, ексикатор.

Хід роботи

Наважку повітряно-сухого ґрунту масою 1—2 г, зважену на аналітичних терезах у фарфоровому тиглі, ставлять у холодну муфельну піч і прожарюють при 900° С упродовж 1—1,5 год. Потім тигель охолоджують в ексикаторі і зважують. Повторне прожарювання проводять 15—20 хв до сталої маси тигля з пробою ґрунту. *ВПП* обчислюють за формулою:

$$ВПП = \frac{(m_1 - m_2) \cdot 100K}{g} - \omega(H_2O_{гігр.}),\ \%,$$

де m_1 і m_2 — маси тигля з наважкою повітряно-сухого ґрунту до і після прожарювання відповідно, г; g — маса наважки повітряно-сухого ґрунту, г; K — коефіцієнт перерахунку на сухий ґрунт, який визначають за формулою:

$$K = \frac{100}{100 - \omega(H_2O_{гігр.})},$$

де ω (H_2O гігр.) — масова частка гігроскопічної води, %.

Повторюють аналіз з іншими типами ґрунтів і порівнюють вміст органічних речовин у чорноземі, підзолистому ґрунті, сіроземі тощо.

Контрольні запитання і завдання

1. *Які чинники впливають на вміст органічних речовин у ґрунті?*
2. *Який ґрунт (бідний чи багатий на органічні речовини) стійкий до розмивання дощовими водами? Чому?*

4.3. Гідролітична кислотність ґрунту

Кислотність ґрунту має велике значення для росту й розвитку рослин, впливає на асиміляцію ґрунтовим обмінним комплексом катіонів важких металів та їх міграцію, доступність засвоєння окремих поживних речовин рослинами тощо (***табл. 4.1***).

Так, при випаданні кислотних дощів знижується pH ґрунтового розчину, що може створити несприятливі умови для розвитку рослин; збільшується рухливість йонів металів, що містилися в ґрунті у вигляді малорозчинних солей слабких кислот (карбонати, фосфати, флуориди); зростає можливість накопичення рослинами катіонів важких металів і отруєння травоїдних, а потім хижих тварин і людини внаслідок акумуляції по ланцюгах живлення.

Розрізняють два види кислотності ґрунту: актуальну і потенційну. *Актуальна кислотність* визначається наявністю вільних йонів H^+ у ґрунтовому розчині, її позначають як pH. *Потенційна кислотність* зумовлена наявністю H^+ у ґрунтово-вбирному комплексі (ГВК) і позначається H. Потенційну кислотність поділяють на обмінну і гідролітичну.

Обмінна кислотність зумовлена рухливими йонами H^+, які можуть бути витіснені з ґрунтово-вбирного комплексу катіонами нейтральних солей (NaCl, KCl та ін.).

Таблиця 4.1. **Оптимальні значення pH для основних сільськогосподарських культур**

Рослина	pH	Рослина	pH	Рослина	pH
Люпин	4,5—6,0	Льон	5,9—6,5	Яра пшениця	6,3—7,6
Гречка	4,7—7,5	Соняшник	6,0—6,8	Соя	6,5—7,1
Чай	4,8—6,2	Кукурудза	6,0—7,0	Бавовна	6,5—9,0
Картопля	5,0—5,5	Горох	6,0—7,0	Капуста	6,7—7,1
Овес	5,0—7,7	Конюшина	6,0—7,0	Столовий буряк	6,8—7,5
Морква	5,5—7,0	Салат	6,0—7,0	Ячмінь	6,8—7,5
Редиска, ріпа	5,5 і більше	Озима пшениця	6,0—7,5	Цукровий буряк	7,0—7,5
Просо	5,5—7,5	Огірки	6,0—7,9	Люцерна	7,0—8,0
Тимофіївка	5,6 і більше	Томати	6,3—6,7	Коноплі	7,1—7,4

Гідролітичну кислотність виявляють обробкою ґрунту розчинами солей сильної основи і слабкої кислоти (наприклад, ацетатом натрію CH_3COONa).

$$\left[\begin{array}{l}\text{Ґрунтово-}\\\text{вбирний комп-}\\\text{лекс з поглину-}\\\text{тими катіонами}\end{array}\right]\begin{array}{l}H^+\\H^+\\Ca^{2+}\\H^+\\Mg^{2+}\end{array} + nCH_3COONa \rightleftarrows \left[\begin{array}{l}\text{Ґрунтово-}\\\text{вбирний комп-}\\\text{лекс з поглину-}\\\text{тими катіонами}\end{array}\right]\begin{array}{ll}Na^+ & Na^+\\Na^+ & \\ & Na^+\\Na^+ & \\ & Na^+\\Na^+ & \end{array} +$$

$$+ 3CH_3COOH + Ca(CH_3COO)_2 + Mg(CH_3COO)_2 + (n - 7)CH_3COONa.$$

При дії CH_3COONa на поглинальний комплекс відбувається активне витіснення йонів H^+ із комплексу та нейтралізація активної кислотності ґрунту. Таким чином визначають сумарну кислотність (актуальну і потенційну). Йони H^+, що при цьому виділяються, утворюють CH_3COOH, яку відтитровують розчином NaOH за наявності фенолфталеїну.

Обладнання і матеріали: зразки повітряно-сухого ґрунту, сито з отворами діаметром 1 мм, технічні терези, колба конічна з товстого скла (краще з притертою пробкою) місткістю 250—300 мл, ротатор (прилад для перемішування рідини обертальним рухом), мірна колба на 1000 мл, піпетки Мора на 1 і 50 мл, фільтрувальний папір ("синя стрічка"), pH-метр; розчин ацетату натрію, C = 0,1 моль/л (136 г $CH_3COONa \cdot 3H_2O$ розчиняють у дистильованій воді в мірній колбі на 1 л і доводять об'єм до риски (розчин повинен мати pH = 8,3...8,4); якщо розчин більш кислий, додають краплями 10%-й розчин гідроксиду натрію, якщо більш лужний — 10%-й розчин оцтової кислоти; розчин зберігають не більше трьох діб), 10%-й розчин NaOH; 10%-й розчин CH_3COOH; розчин NaOH, C = 0,1 моль/л; індикатор фенолфталеїн.

1. Титриметричний метод

Хід роботи

Для аналізу беруть середню пробу ґрунту, висушують на повітрі, просівають крізь сито діаметром 1 мм. На технічних терезах зважують (з точністю до 0,01 г) наважку ґрунту і переносять її в колбу з товстого скла на 250—300 мл (краще з притертою пробкою). Потім туди додають 1мл розчину CH_3COONa. Суміш перемішують обертальним рухом, закривають колбу пробкою, вміщують на ротатор і збовтують упродовж 1 год.

Після цього суміш сильно струшують і фільтрують крізь сухий складчастий фільтр у суху колбу, намагаючись якомога більше перенести на фільтр ґрунту. Якщо фільтрат каламутний, першу порцію відкидають. Коли основна маса рідини буде відфільтрована, відбирають піпеткою 50 мл фільтрату і переносять у конічну колбу на 100—250 мл, додають 5—6 крапель фенолфталеїну і титрують розчином NaOH, С = 0,1 моль/л до появи рожевого забарвлення, яке не зникає упродовж 30—60 с.

Гідролітичну кислотність ґрунту $X_к$ виражають кількістю йонів H^+, що містяться в 100 г ґрунту:

$$X_к = \frac{VK \cdot 5 \cdot 1{,}75}{10}, \quad \text{ммоль екв},$$

де V — об'єм розчину NaOH, С = 0,1 моль/л, витраченого на титрування; K — поправковий коефіцієнт для переведення розчину NaOH до концентрації 0,1 моль/л; 5 — коефіцієнт для перерахунку результату на 100 г ґрунту; 1,75 — коефіцієнт перерахунку (середня величина, яка показує середнє значення гідролітичної кислотності, оскільки при одноразовій обробці ґрунту CH_3COONa кислотність витісняється неповністю); 10 — поправка для переведення концентрації H^+ у ммоль екв.

Норми внесення вапна на гектар обчислюють за формулою:

$$X_{вап} = \frac{VK \cdot 5 \cdot 50 \cdot 1{,}75 \cdot 3 \cdot 10^6 \cdot 10}{10 \cdot 10^9}, \quad \text{т/га},$$

де V — об'єм розчину NaOH, витрачений на титрування 50 мл фільтрату; 10 (в чисельнику) — поправка для переведення мілілітрів розчину NaOH, С = 0,1 моль/л, у міліеквіваленти; 50 — поправка для переведення міліеквівалентів у міліграми $CaCO_3$; $3 \cdot 10^6$ — коефіцієнт для переходу від 1 кг ґрунту до маси зораного шару на 1 га; $1 \cdot 10^9$ — коефіцієнт для переведення міліграмів $CaCO_3$ в тонни, або:

$$X_{вап} = VK \cdot 1{,}31, \text{ т/га}.$$

2. pH-метричний метод (за Каппеном)

Метод ґрунтується на обробці ґрунту розчином ацетату натрію, С = 1 моль/л, при співвідношенні ґрунт : розчин = 1 : 2,5 з наступним pH-метричним визначенням кислотності одержаної суспензії.

Хід роботи

Наважку ґрунту 30 г заливають 75 мл розчину CH_3COONa (pH = 8,3...8,4), струшують упродовж 1 хв, відстоюють 18—20 год, повторно перемішують.

Перед початком роботи відлагоджують pH-метр за буферними розчинами з pH = 4,01; 6,86; 9,18; під час виконання роботи справність приладу періодично контролюють за буферним розчином з pH = 6,86. Переносячи електроди з одного ґрунтового розчину в інший, їх споліскують дистильованою водою.

Обробка результатів

Гідролітичну кислотність ґрунту (в ммоль екв/100 г ґрунту) обчислюють за значенням pH, користуючись даними ***табл. 4.2.***

Таблиця 4.2. **Коефіцієнти переведення pH ацетатної витяжки в одиниці гідролітичної кислотності**

pH (цілі числа і десяті частки)	pH (соті частки)									
	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
	Гідролітична кислотність, ммоль екв/100 г ґрунту									
6,0	17,3	16,9	16,6	16,2	15,8	15,5	15,2	14,9	I4,5	14,2
6,1	13,8	13,6	13,3	13,1	12,5	12,2	12,0	12,0	11,7	11,5
6,2	11,2	11,0	10,8	10,5	10,3	10,1	9,84	9,64	9,44	9,23
6,3	9,04	8,83	8,65	8,45	8,25	8,11	7,92	7,76	7,59	7,41
6,4	7,28	7,11	6,97	6,81	6,69	6,53	6,38	6,26	6,11	5,98
6,5	5,85	5,73	5,61	5,48	5,37	5,25	5,14	5,03	4,92	4,82
6,6	4,71	4,61	4,52	4,42	4,32	4,23	4,14	4,05	3,96	3,82
6,7	3,79	3,71	3,63	3,56	3,48	3,40	3,33	3,26	3,19	3,13
6,8	3,05	2,99	2,92	2,86	2,80	2,74	2,68	2,62	2,57	2,52
6,9	2,46	2,41	2,35	2,32	2,25	2,21	2,16	2,11	2,07	2,02
7,0	1,98	1,94	1,90	1,86	1,82	1,78	1,74	1,70	1,76	1,63
7,1	1,60	1,56	1,53	1,50	1,46	1,43	1,40	1,37	1,34	1,31
7,2	1,28	1,26	1,23	1,20	1,18	1,15	1,13	1,10	1,08	1,06
7,3	1,03	1,01	0,99	0,97	0,95	0,93	0,91	0,89	0,87	0,85
7,4	0,83	0,81	0,80	0,78	0,76	0,75	0,73	0,72	0,70	0,68
7,5	0,67	0,66	0,64	0,63	0,61	0,60	0,59	0,58	0,56	0,55
7,6	0,54	0,53	0,52	0,51	0,49	0,48	0,47	0,46	0,45	0,44
7,7	0,43	0,43	0,42	0,41	0,40	0,39	0,38	0,37	0,37	0,36
7,8	0,35	0,34	0,33	0,33	0,32	0,31	0,30	0,29	0,29	0,29
7,9	0,28	0,28	0,27	0,26	0,26	0,25	0,25	0,24	0,24	0,23
8,0	<0,23									

Контрольні запитання і завдання

1. Назвіть основні причини підвищення кислотності ґрунтів.

2. Які рослини можуть вказати на pH ґрунту?

3. Яких меліоративних заходів вживають з метою зменшення кислотності ґрунтів?

4.4. Обмінна кислотність

Кислотність кислих ґрунтів та донних відкладів визначають витісненням йонів гідрогену розчином KCl, C = 1 моль/л, при pH = 5,6...6,0:

$$(\text{ГВК})\begin{matrix}H^+\\H^+\end{matrix} + 2K^+ \rightarrow (\text{ГВК})\begin{matrix}K^+\\K^+\end{matrix} + 2H^+,$$

де ГВК — ґрунтово-вбирний комплекс.

За значенням pH отриманого розчину визначають ступінь кислотності проби ґрунту.

Обладнання і реактиви: технічні терези, pH-метр, хімічні стакани місткістю 100 і 50 мл, проба ґрунту, розчин хлориду калію, С = 0,1 моль/л.

Хід роботи

Зважують у стакані на технічних терезах 20 г повітряно-сухої або сухої проби, додають 50 мл розчину KCl і збовтують 5 хв. Через 10—15 хв після збовтування, коли основна частина проби осяде, відбирають порцію розчину і визначають pH за допомогою pH-метра.

Обмінну кислотність (обмінний водень) визначають шляхом повторного витіснення протонів йонами Ba^{2+}:

$$(\text{ГВК}) \begin{matrix} H^+ \\ H^+ \end{matrix} + Ba^{2+} \rightarrow (\text{ГВК})Ba^{2+} + 2H^+.$$

Кількість протонів, що перейшли в розчин, визначають титруванням робочим розчином лугу.

Обладнання і реактиви: повітряно-сухий ґрунт, хімічний стакан місткістю 100 мл, беззольний фільтр "синя стрічка", конічна колба на 100 мл, штатив, бюретка; хлорид барію, С = 1 моль/л; гідроксид натрію, 10%-й розчин; хлоридна кислота, 10%-й розчин; індикатор бромтимоловий синій, 1%-й розчин у 20%-му етанолі.

Хід роботи

1—10 г повітряно-сухого ґрунту заливають у стакані невеликою порцією розчину $BaCl_2$, С = 1 моль/л, який має pH ≈ 6,5. За інших значень pH кислотність цього розчину коригують розбавленим розчином лугу або хлоридної кислоти; розчин із пробою перемішують і декантують крізь щільний фільтр ("синя стрічка"). Фільтрат збирають у конічну колбу на 500 мл. Коли об'єм фільтрату досягне 300—400 мл, додають 10—15 крапель індикатора (бромтимолового синього) і титрують розчином NaOH, С = 0,02 моль/л до появи стійкого синього кольору. Якщо на титрування витрачено понад 1 мл розчину лугу, то продовжують промивати пробу, збираючи фільтрат щоразу в чисту колбу. Промивання закінчують, коли на титрування 300—400 мл фільтрату витрачається менш як 1 мл розчину лугу.

Кількість обмінних йонів гідрогену (в ммоль екв/100 г проби) обчислюють за формулою:

$$N_{H^+} = \frac{VCK \cdot 100}{g},$$

де V — загальний об'єм лугу, витраченого на титрування, мл; C — його молярна концентрація, моль/л; g — маса наважки повітряно-сухої проби, г; K — коефіцієнт перерахунку на суху пробу.

Контрольні запитання

1. Які рослини можуть рости на кислих ґрунтах?

2. Як впливає внесення фосфориту на кислотність ґрунту? Напишіть рівняння реакції.

3. Як впливає значення pH ґрунту на ріст рослин?

4.5. Хімічний склад засолених ґрунтів

Вміст водорозчинних речовин у ґрунті становить частки відсотка, однак вони дуже необхідні для рослин і є рухливою та засвоюваною частиною ґрунту.

Вміст солей у ґрунті — важливий екологічний чинник, адже більшість рослин погано росте на засолених ґрунтах. Стійкість рослин до засолення наведена в ***табл. 4.3.***

Таблиця 4.3. **Солестійкість рослин**

Висока		Задовільна	Низька
30—40 г/л	**10—13 г/л**	**1—10 г/л**	**<1 г/л**
Ячмінь багаторядний, пирій, ситник морський	Цукровий і столовий буряк, ріпа, дике жито безосте, цукрова тростина, пісколюб, спаржа, часник, редиска	Виноград, люцерна, соняшник, льон, томати, сорго, овес, пшениця, горох, квасоля, перець, баклажани, морква, гарбуз	Груша, слива, яблуня, вика, горох, селера, капуста, картопля, конюшина біла, лисохвіст лучний, цитрусові

У водних витяжках містяться

катіони: NH_4^+, K^+, Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Mn^{2+}, Fe^{3+}, Al^{3+};

аніони: Cl^-, NO_3^-, NO_2^-, $HSiO_3^-$, HCO_3^-, CO_3^{2-}, HPO_4^{2-}, $H_2PO_4^-$.

У водних витяжках із підзолистих, дерново-підзолистих і сірих лісових ґрунтів водорозчинних речовин мало, переважають органічні, реакція середовища кисла; витяжки з чорнозему нейтральні, що зумовлено переважанням $Mg(HCO_3)_2$ і $Ca(HCO_3)_2$, вміст органічних і мінеральних речовин приблизно однаковий; у водних витяжках сіроземів, бурих і каштанових ґрунтів, а також солончаків і солонців переважають мінеральні речовини у вигляді хлоридів, сульфатів, гідрокарбонатів (найнебезпечніша для рослин сода Na_2CO_3, наявність якої вже в концентрації 0,005% спричинює їх загибель, $MgCl_2$, $MgSO_4$, тоді як малорозчинні $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, $CaCO_3$ і $MgCO_3$ не шкідливі для рослин).

У водних витяжках ґрунту визначають:

(загальний вміст органічних і неорганічних сполук)

- сухий і мінеральний залишок;
- значення pH (20 г повітряно-сухого ґрунту зважують, переносять у конічну колбу, доливають 50 мл розчину KCl, C = 1 моль/л, після перемішування закривають пробкою і залишають на 18—24 години; pH визначають за допомогою pH-метра або універсального індикаторного паперу);
- обмінний натрій і калій;
- вміст Ca^{2+}, Mg^{2+}, загального нітрогену, нітратів, гумусу (за величиною $БСК_5$), фосфатів, хлоридів, сульфатів, гідрокарбонатів тощо.

Метод ґрунтується на вилученні розчинних солей із ґрунту водою при співвідношенні ґрунт : вода = 1 : 5 з наступним визначенням масової частки окремих йонів.

Ступені засоленості ґрунтів залежать від масової частки солей, а її типи — від хімічної природи (***табл. 4.4***).

1. Якісні дослідження засолених ґрунтів

Обладнання і реактиви: проби ґрунту, технохімічні терези, хімічні склянки, скляна лійка, скляна паличка, беззольні паперові фільтри, нітратна кислота HNO_3 (1 : 3); розчин $AgNO_3$, C = 0,1 моль/л; 10%-й розчин HCl; 5%-й розчин $BaCl_2$.

Хід роботи

Перед приготуванням водної витяжки для визначення засоленості ґрунтів слід зробити якісну пробу на наявність у ґрунті хлорид- та сульфат-іонів.

Таблиця 4.4. **Ступені і типи засоленості ґрунтів залежно від концентрації солей**

Ступінь засоленості ґрунтів	Типи засоленості залежно від хімічного складу і масової частки солей у сухому ґрунті, %		
	Хлориди	Сульфати	Гідрокарбонати
Для хлоридно-сульфатного засолення			
Незасолені	Менш як 0,01	—	—
Слабозасолені	0,01—0,05	—	—
Середньозасолені	0,05—0,10	—	—
Сильнозасолені	0,1—0,2	—	—
Солончаки	Понад 0,2	—	—
Для сульфатного і хлоридно-сульфатного засолення			
Незасолені	0—0,1	Менш як 0,1	—
Слабозасолені	0—0,1	0,1—0,4	—
Середньозасолені	0—0,5	0,4—0,6	—
Сильнозасолені	0—1,0	0,6—0,8	—
Солончаки	—	Понад 0,8	—
Для содового засолення			
Незасолені	0,01	0,02	Менш як 0,06
Слабозасолені	0,01	0,05—0,1	0,1—0,2
Середньозасолені	0,1	0,2	0,2—0,3
Сильнозасолені	0,2	0,2	0,3—0,4
Солончаки	0,2	0,2	Понад 0,4

Якісні дослідження проводять так: 5 г ґрунту вносять у чисту посудину, доливають 25 мл дистильованої води і перемішують скляною паличкою 3 хв, після чого фільтрують у чисту склянку крізь беззольний фільтр. Отриманий фільтрат досліджують на наявність хлорид- та сульфат-іонів.

Проба на наявність Cl^-. У пробірку відбирають 5 мл фільтрату, підкислюють нітратною кислотою для руйнування гідрокарбонатів, які утворюють осад з йонами Ag^+, додають декілька крапель розчину $AgNO_3$ і струшують. За наявності Cl^- випадає білий осад. Приблизну кількість осаду оцінюють за шкалою: мало, багато, дуже багато і надалі це враховують, коли беруть проби для кількісного визначення вмісту хлорид-іонів у ґрунті.

Проба на наявність SO_4^{2-}. У пробірку відбирають 5 мл фільтрату, підкислюють двома краплями 10%-го розчину хлоридної кислоти для руйнування карбонатів і гідрокарбонатів, додають 2—3 краплі 5%-го розчину $BaCl_2$ і перемішують струшуванням. За наявності сульфат-іонів випадає білий осад сульфату барію, кількість якого визначають методом, описаним вище.

2. Приготування водної витяжки

Обладнання і реактиви: зразки ґрунту, аналітичні терези, дистильована вода, конічна колба місткістю 500—1000 мл, гумова пробка, беззольний фільтр, конічна колба для збирання фільтрату.

Хід роботи

Наважку ґрунту вносять у колбу на 500—1000 мл і доливають п'ятикратну кількість дистильованої води. Вода не має містити вуглекислого газу, оскільки за його наявності розчиняються карбонати кальцію і магнію з утворенням розчинних гідрокарбонатів, які збільшують масу сухого залишку і загальну лужність водної витяжки, спотворюючи тим самим результати визначення.

Колбу з наважкою ґрунту закривають гумовою пробкою і струшують упродовж 3 хв, після чого витяжку фільтрують крізь сухий складчастий фільтр. Якщо ґрунт не лужний і багатий на розчинні солі, що характерно для засолених ґрунтів, які не містять йонів натрію, фільтрування витяжки відбувається швидко, оскільки катіони солей перешкоджають переходу колоїдів ґрунту в розчин. Якщо ґрунт містить мало розчинних солей і до того ж має лужну реакцію, колоїдні часточки забивають пори фільтра і фільтрування відбувається повільно.

3. Визначення вмісту сухого залишку ґрунту

Обладнання і матеріали: фарфорова чашка діаметром 7 см, водяна баня, водна витяжка ґрунту, сушильна шафа, ексикатор, аналітичні терези.

Хід роботи

Сухий або густий залишок водної витяжки дає уявлення про загальний вміст у ґрунті розчинних у воді органічних та мінеральних сполук. У незасолених ґрунтах масова частка сухого залишку коливається в межах 0,01—0,30%, у засолених — перевищує 0,30%. За вмістом сухого залишку встановлюють ступінь засоленості ґрунту.

25—50 мл водної витяжки (залежно від результатів якісних проб на йони Cl^- та SO_4^{2-}) вносять у висушену й зважену фарфорову чашку діаметром 7 см і ставлять на водяну баню. Після закінчення випарювання чашку із залишком витримують у сушильній шафі за температури 105° С упродовж 3 год, охолоджують в ексикаторі і зважують.

Масову частку водорозчинних речовин у водних витяжках, що характеризується масою сухого залишку, виражають у відсотках.

4. Визначення вмісту CO_3^{2-} і HCO_3^- (карбонатної і гідрокарбонатної лужності)

Метод ґрунтується на послідовному титруванні водної витяжки ґрунту розчином кислоти спочатку до pH = 8,3 (за фенолфталеїном), потім до pH = 4,4 (за метиловим оранжевим).

Обладнання і реактиви: pH-метр, магніт, магнітна мішалка, водна витяжка ґрунту, хімічна склянка місткістю 100 мл; розчин сульфатної кислоти, $C\left(\frac{1}{z}H_2SO_4\right)$ = 0,02 моль/л; 0,1%-й водний розчин метилового оранжевого; 1%-й спиртовий розчин фенолфталеїну; бюретка на 25 мл; штатив.

Хід роботи

У склянку наливають 20 мл витяжки, вміщують у неї "магніт" і ставлять на магнітну мішалку. В розчин занурюють скляний електрод і електрод порівняння pH-метра та визначають pH витяжки. Якщо pH <8,3, зазначають, що карбонат-іонів немає і визначають тільки гідрокарбонат-іони, титруючи витяжку розчином сульфатної кислоти, $C\left(\frac{1}{z}H_2SO_4\right)$ = 0,02 моль/л до pH 4,4 (за метиловим оранжевим) до зміни кольору розчину з жовтого на оранжевий.

Обробка результатів

Масову частку йонів CO_3^{2-} в аналізованому ґрунті визначають за формулою:

$$C_{(CO_3^{2-})} = \frac{C\left(\frac{1}{z}H_2SO_4\right)V \cdot 100 \cdot 2 \cdot 1000}{m}, \text{ ммоль екв/100 г ґрунту,}$$

де V — об'єм розчину сульфатної кислоти, витраченої на титрування витяжки до pH = 8,3, мл; $C\left(\frac{1}{z}H_2SO_4\right)$ — молярна концентрація еквівалентів розчину H_2SO_4, моль/л; m — маса наважки ґрунту, що відповідає 20 мл витяжки (4 г), г; 100 — коефіцієнт, який враховує, що при pH = 8,3 карбонат-іони відтитровані лише наполовину.

Масову частку йонів HCO_3^- в аналізованому ґрунті обчислюють за формулою:

$$C_{(HCO_3^-)} = \frac{C\left(\frac{1}{z}H_2SO_4\right)(V_1 - V) \cdot 100 \cdot 1000}{m}, \text{ ммоль екв/100 г ґрунту,}$$

де V_1 — об'єм розчину сульфатної кислоти, витраченої на титрування витяжки від pH = 8,3 (або менше, за відсутності карбонат-іонів у вихідній витяжці) до pH = 4,4.

Загальну лужність аналізованого ґрунту визначають, додаючи масові частки аніонів CO_3^{2-} та HCO_3^- у 100 г ґрунту.

5. Визначення вмісту хлорид-іонів (за методом Мора)

Метод ґрунтується на титруванні хлорид-іонів розчином нітрату аргентуму, в процесі якого утворюється білий малорозчинний AgCl.

Обладнання і реактиви: штатив, бюретка на 25 мл, конічна колба місткістю 250 мл для титрування, мірна колба на 1000 мл, дистильована вода, 10%-й розчин хромату калію K_2CrO_4; розчин $AgNO_3$, $C\left(\frac{1}{z}\right) = 0{,}1$ моль/л (3,4 г солі розчиняють у мірній колбі на 1 л в дистильованій воді і доводять об'єм розчину до риски; титр встановлюють за розчином NaCl, C = 0,1 моль/л); розчин NaCl, C = 0,1 моль/л (з фіксаналу); водна витяжка ґрунту.

Хід роботи

До проб водної витяжки, в яких відтитрована загальна лужність, додають по 1 мл розчину K_2CrO_4 і титрують розчином $AgNO_3$ до появи стійкого цегляно-червоного забарвлення, зумовленого утворенням малорозчинного Ag_2CrO_4.

Масову частку йонів Cl^- в аналізованому ґрунті визначають за формулою:

$$C_{(Cl^-)} = \frac{C\left(\frac{1}{z}AgNO_3\right)V \cdot 100 \cdot 1000}{m}, \text{ ммоль екв/100 г ґрунту,}$$

де V — об'єм розчину $AgNO_3$, витраченого на титрування, мл; $C\left(\frac{1}{z}AgNO_3\right)$ — молярна концентрація еквівалентів розчину $AgNO_3$, моль/л.

6. Визначення вмісту сульфат-іонів

I. *Гравіметричний метод*

Метод ґрунтується на осадженні сульфат-іонів у вигляді малорозчинного сульфату барію з подальшим фільтруванням, промиванням, висушуванням, прожарюванням і зважуванням осаду.

Обладнання і реактиви: хімічна склянка місткістю 150—200 мл, скляна паличка, водяна баня, годинникове скло, скляна лійка, беззольний фільтр "синя стрічка", фарфоровий ти-

гель, муфельна піч, ексикатор, аналітичні терези, колба для збирання фільтрату; 10%-й розчин хлориду барію $BaCl_2$; розбавлена хлоридна кислота (1 : 3); 10%-й розчин H_2SO_4; індикатор метиловий червоний; водна витяжка ґрунту.

Хід роботи

Залежно від вмісту йонів SO_4^{2-} у склянку наливають 5—50 мл витяжки, підкислюють хлоридною кислотою до кислої реакції за метиловим червоним, додають іще 1 мл розбавленого розчину хлоридної кислоти і нагрівають до кипіння. До нагрітої проби доливають краплями 2—5—10 мл (залежно від ступеня каламутності розчину) гарячого розчину $BaCl_2$, ретельно перемішують скляною паличкою після додавання кожної краплі. Накривають склянку годинниковим склом і ставлять на киплячу водяну баню на 2—3 год для кристалізації та відстоювання осаду, після чого перевіряють повноту осадження сульфатів (додаючи краплю $BaCl_2$: відсутність каламуті свідчить про повноту осадження). Якщо осад ледве помітний, тривалість відстоювання збільшують до 12—24 год.

Осад відфільтровують, промивають гарячою водою, підкисленою хлоридною кислотою до відсутності реакції на йон барію (10%-й розчин H_2SO_4). Фільтр з осадом висушують на лійці, розмістивши її на зваженому фарфоровому тиглі. Потім тигель з фільтром і осадом ставлять у холодну муфельну піч. Осад прожарюють 30 хв за температури 700—750° С, тигель охолоджують в ексикаторі і зважують із точністю до 0,0002 г. Для досягнення сталої маси осад знову прожарюють за тієї самої температури впродовж 20 хв і після охолодження зважують.

Обробка результатів

Масову частку сульфат-іонів в аналізованому ґрунті визначають за формулою:

$$C_{SO_4^{2-}} = \frac{m \cdot 1000 \cdot 100}{116{,}7\ m_1}, \text{ ммоль екв/100 г ґрунту,}$$

де m — маса осаду $BaSO_4$, г; m_1 — маса наважки, що відповідає об'єму взятої для аналізу витяжки, г; 1000 — коефіцієнт для перерахунку грамів у міліграми; 100 — коефіцієнт для перерахунку на 100 г ґрунту; 116,7 — еквівалент $BaSO_4$.

II. *Титриметричний метод*

Метод ґрунтується на титруванні сульфат-іонів розчином хлориду барію за наявності нітхромазо.

Обладнання і реактиви: аналітичні терези з різновагами, йонообмінні колонки, катіоніт КУ-2 чи інший, мірна колба місткістю 100 мл, бюретка на 25 мл, водна витяжка ґрунту, штатив, бюретка, дистильована вода; 5%-й розчин хлоридної кислоти; розчин $AgNO_3$, С = = 0,02 моль/л; універсальний індикаторний папір; 1%-й розчин нітхромазо (0,1 г індикатора зважують на аналітичних терезах, переносять у мірну колбу місткістю 100 мл і розчиняють у дистильованій воді, об'єм розчину доводять дистильованою водою до риски і ретельно перемішують); розчин хлоридної кислоти, С = 0,1 моль/л; ацетон або етанол; розчин хлориду барію, $C\left(\frac{1}{z}BaCl_2\right)$ = 0,02 моль/л (2,0828 г $BaCl_2$ або 2,4428 г $BaCl_2 \cdot 2H_2O$ вносять у мірну колбу місткістю 1000 мл, розчиняють у дистильованій воді; об'єм розчину доводять дистильованою водою до риски і перемішують; концентрацію розчину перевіряють за сульфатною кислотою); розчин сульфатної кислоти, $C\left(\frac{1}{z}H_2SO_4\right)$ = 0,02 моль/л.

Для визначення сульфат-іонів використовують йонообмінні колонки, підготовку яких здійснюють так: 8—10 г повітряно-сухого катіоніту подрібнюють до часточок розміром 0,5—1,0 мм, промивають дистильованою водою до повного видалення пилу, заливають розбавленим розчином хлоридної кислоти (1:4), перемішують і залишають стояти до наступного дня.

Після відстоювання розчин кислоти зливають і замінюють свіжим, відстоюють 5—10 хв, знову зливають і продовжують обробку доти, доки проба з роданідом калію не покаже відсутність феруму (III) у розчині. Катіоніт промивають 1—2 рази дистильованою водою і водну суспензію катіоніту переносять у йонообмінну колонку. В колонці катіоніт промивають дистильованою водою до відсутності реакції на хлорид-іон (проба з розчином нітрату аргентуму).

Після кожного вимірювання концентрації сульфат-іонів, катіоніт у колонці потрібно регенерувати, пропустивши через кожну колонку 150—200 мл 5%-го розчину хлоридної кислоти, а потім відмити смолу дистильованою водою до pH = 5,0 (за універсальним індикаторним папірцем) або до зникнення реакції на хлорид-іон. У працюючих колонках катіоніт слід зберігати у вологому стані.

Хід роботи

40—50 мл проби (водної витяжки ґрунту) пропускають через йонообмінну колонку з катіонітом. Масова концентрація сульфат-іонів у розчині має становити 0,04—5,00 мг в перерахунку на сірку в пробі. За нижчої концентрації йонів SO_4^{2-} розчин слід концентрувати випарюванням, за вищої — розбавити. Перші порції фільтрату (10—15 мл) викидають. Відбирають піпеткою 10—20 мл фільтрату в конічну колбу місткістю 100 мл. pH розчину має бути у межах 1,7—2,0 (за потреби розчин підкислюють розчином хлоридної кислоти, C = 0,1 моль/л, або розбавляють у разі високого вмісту сульфат-іонів).

До розчину додають 1—2 краплі нітхромазо, 10—20 мл ацетону або спирту і титрують розчином хлориду барію до переходу фіолетового забарвлення в блакитне. Титрування виконують повільно, додаючи $BaCl_2$ краплями і ретельно перемішуючи. За малої концентрації сульфат-іонів у водній витяжці від перших крапель хлориду барію з'являється блакитне забарвлення, яке через 30—40 с знову переходить у фіолетове. Кінець титрування визначають чітким переходом фіолетового кольору в блакитний, який не змінюється впродовж 1—2 хв.

Ч.II

7. Трилонометричний метод визначення вмісту йонів Ca^{2+}

Метод ґрунтується на титруванні йонів кальцію трилоном Б у сильнолужному середовищі за наявності мурексиду як металоіндикатора.

Обладнання і реактиви: водна витяжка ґрунту; конічна колба для титрування, штатив, бюретка, мірна колба місткістю 1 л, дистильована вода, розчин гідроксиду натрію, C = 2 моль/л; 2%-й розчин сульфату натрію; гідроксиламін гідрохлорид, 5%-й розчин; індикатор мурексид (розтирають 5 г мурексиду з 95 г хлориду натрію до однорідного забарвлення, зберігають у посудині з темного скла); розчин трилону Б, $C\left(\frac{1}{z}\right) = 0{,}05$ моль/л (9,3 г трилону Б розчиняють у мірній колбі на 1 л у дистильованій воді і доливають до риски, титр розчину перевіряють за сульфатом магнію, який готують із фіксаналу).

Хід роботи

У конічну колбу наливають 10 мл водної витяжки ґрунту, доливають 60—70 мл дистильованої води, 0,5 мл розчину гідроксиламіну, 2 мл розчину гідроксиду натрію і 0,5 мл розчину сульфату натрію, постійно перемішуючи. Потім додають трохи індикатора і титрують розчином трилону Б до переходу рожевого забарвлення в лілове.

Масову концентрацію кальцію в аналізованому ґрунті визначають за формулою:

$$C_{Ca^{2+}} = \frac{C\left(\frac{1}{z}\right) V \cdot 100 \cdot 1000}{m}, \text{ ммоль екв/100 г ґрунту,}$$

де V — об'єм розчину трилону Б, витраченого на титрування, мл; $C\left(\frac{1}{z}\right)$ — молярна концентрація еквівалентів розчину трилону Б, моль/л; m — маса наважки ґрунту, що відповідає 10 мл витяжки (2 г).

8. Трилонометричний метод визначення вмісту суми йонів Ca^{2+} і Mg^{2+}

Метод ґрунтується на титруванні йонів кальцію і магнію розчином трилону Б у хлоридно-аміачному буфері за наявності хромогену чорного як індикатора.

Обладнання і реактиви: водна витяжка ґрунту, конічна колба, штатив, бюретка, мірна колба на 1 л; хлорид амонію; 25%-й розчин аміаку; 2%-й розчин сульфату натрію; 5%-й розчин гідроксиламіну гідрохлориду; хромоген чорний (5 г реактиву розтирають із 95 г хлориду натрію до однорідного забарвлення, зберігають у посуді з темного скла); хлорид натрію; сульфат магнію; $C\left(\frac{1}{z}\right) = 0{,}05$ моль/л (готують за фіксаналом); розчин трилону Б, $C\left(\frac{1}{z}\right) = 0{,}05$ моль/л; хлоридно-аміачний буферний розчин.

Хід роботи

2 г хлориду амонію розчиняють у 100 мл дистильованої води, доливають до ґрунтової витяжки 5 мл хлоридно-аміачного буферного розчину сульфату натрію і 0,5 мл розчину гідроксиламіну. Потім додають 10—15 мл індикаторної суміші і титрують суму йонів кальцію і магнію розчином трилону Б до переходу забарвлення з вишнево-червоного в синьо-блакитне. Результати титрування суми йонів кальцію і магнію використовують для визначення вмісту йонів магнію.

Розрахунок виконують за формулою:

$$C_{Mg^{2+}} = \frac{(V_1 - V)\,C\left(\frac{1}{z}\right) \cdot 100 \cdot 1000}{m}, \text{ ммоль екв/100 г ґрунту,}$$

де V_1 — об'єм розчину трилону Б, витраченого на титрування суми йонів кальцію і магнію, мл; V — об'єм розчину трилону Б, витраченого на титрування йонів кальцію, мл; $C\left(\frac{1}{z}\right)$ — молярна концентрація еквівалентів трилону Б, моль/л.

Контрольні запитання і завдання

1. *Що таке засолення ґрунтів? Внаслідок яких процесів воно відбувається у вологих та в посушливих районах?*
2. *Які рослини можуть рости за умов високої засоленості ґрунтів?*
3. *Як рослини пристосовуються до існування на засолених ґрунтах?*

4.6. Нітрати

Вміст нітратів у ґрунті має велике значення для живлення рослин. Їх змивання поверхневими водами у водойми спричинює масове розмноження синьозелених водоростей, що створює гіпоксичні умови і призводить до загибелі окремих видів гідробіонтів.

Обладнання і реактиви: пробірки, фарфорова чашка, водяна баня, циліндри Геннера (циліндри з краном внизу); дистильована вода; бруцин (кристалічний) (*Обережно! Дуже отруйна речовина!*); концентрована сульфатна кислота (*Обережно!*); водна витяжка ґрунту; розчин KOH; дифенолсульфокислота; *стандартний розчин KNO_3*; 30 г/кг NO_3^- (у мірній колбі на 100 мл розчиняють 4,8871 г KNO_3, доводять об'єм дистильованою водою до риски; з цього розчину в мірних колбах готують серію стандартних розчинів із масовою часткою нітрат-іонів від 60 до 3000 мг/кг).

Номер колби	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Масова частка NO_3^-, мг/кг	0	60	150	300	600	900	1500	1800	2400	3000
Об'єм стандартного розчину, мл	0	0,1	0,25	0,5	1,0	1,5	2,5	3,0	4,0	5,0

Якісне визначення. В пробірку вносять 1 мл водної витяжки ґрунту і додають кристалик бруцину та 2 мл концентрованої H_2SO_4. За наявності нітратів розчин набуває рожевого кольору, що переходить у жовтий.

Кількісне визначення. 1200 мл водної витяжки грунту наливають у фарфорову чашку і випарюють досуха на водяній бані. Коли чашка охолоне, додають 1 мл дифенолсульфокислоти і ретельно розтирають з осадом. Через 10 хв додають 10 мл дистильованої води і 3 мл розчину КОН. Після цього вміст чашки переносять у циліндр Геннера і доводять об'єм дистильованою водою до 1000 мл.

Порівнюють інтенсивність забарвлення одержаного розчину зі шкалою.

Масову концентрацію нітрогену нітратів X в аналізованій витяжці обчислюють за формулою:

$$X = \frac{h_2 m p \cdot 1000}{h_1 \cdot V_1}, \text{ мг/л},$$

де h_1 і h_2 — відповідно висота стовпчика рідини в циліндрі Геннера з водною витяжкою ґрунту і розчином KNO_3, см; m — кількість розчину KNO_3, взятого для приготування еталонного розчину, мл; p — вміст нітрогену нітратів у розчині, мг/мл; V_1 — об'єм досліджуваної витяжки, мл.

Показники незабрудненого ґрунту за Фодором, %:

- масова частка загального нітрогену — 0,0068;
- аміаку — 0,0057;
- нітратної кислоти — 0,0126.

Для оцінки санітарного стану ґрунту користуються поняттям *санітарного числа** (***табл. 4.5***).

Таблиця 4.5. **Санітарне число ґрунту**

Стан ґрунту	Санітарне число
Сильно забруднений	< 0,70
Помірно забруднений	0,70—0,85
Слабо забруднений	0,85—0,98
Практично чистий	> 0,98

До *сильнозабруднених* ґрунтів належать ті, в яких вміст забруднюючих речовин у кілька разів перевищує ГДК, спостерігається зниження біологічної продуктивності внаслідок хімічного забруднення, суттєво змінюються фізико-хімічні, хімічні і біологічні характеристики, що зумовлює перевищення норм концентрації токсичних речовин у сільськогосподарській продукції.

Середньозабрудненими є ґрунти, в яких перевищення ГДК забрудників не викликає видимих змін у властивостях ґрунтів.

До *слабозабруднених* належать ґрунти, вміст хімічних речовин у яких не перевищує ГДК, але він вищий від природного фону.

* Санітарне число — це відношення кількості ґрунтового білкового нітрогену (в мг на 10 мг абсолютно сухого ґрунту) до органічного нітрогену (в тих самих одиницях).

Коефіцієнт концентрації забруднення ґрунту H_c обчислюють за формулою:

$$H_c = \frac{C}{C_ф} \quad \text{або} \quad H_c = \frac{C}{C_{гдк}},$$

де C — загальний вміст забруднюючих речовин, мг/кг; $C_ф$ — їх середній фоновий вміст, мг/кг; $C_{гдк}$ — гранично допустима концентрація забруднюючих речовин у ґрунті, мг/кг.

Контрольні запитання і завдання

1. *Назвіть природні та антропогенні джерела нітратів у ґрунті.*
2. *Як нітрати використовуються рослинами?*
3. *Чому нітрати мало утримуються ґрунтом? Чи є поклади нітратів у земній корі? Де саме і чому?*

4.7. Катіонообмінна здатність ґрунтів

Попередні дослідження. ***Карбонатність ґрунту*** встановлюють методом спостереження за виділенням CO_2 при додаванні кількох крапель 10%-го розчину хлоридної кислоти до проби масою приблизно 1 г. Якщо проба спінюється внаслідок виділення вуглекислого газу, визначення обмінної здатності не проводять.

Гіпсоносність визначають якісною пробою на наявність сульфат-іонів у хлоридно-кислотній витяжці. До 1—2 г ґрунту або донних відкладів додають 15 мл розчину HCl, C = 0,1 моль/л, збовтують 2 хв і фільтрують.

До фільтрату додають декілька крапель 5%-го розчину хлориду барію. За наявності сульфат-іонів утворюється білий осад сульфату барію. Для гіпсоносних ґрунтів визначення катіонообмінної здатності обмежується встановленням ємності вбирання, від значення якої віднімають масову частку водорозчинного кальцію і кальцію, що входить до складу гіпсу $CaSO_4 \cdot 2H_2O$.

Засоленість ґрунту перевіряють якісною пробою на наявність хлорид- та сульфат-іонів у водній витяжці за допомогою нітрату аргентуму і сульфату барію. Якщо ці йони містяться в ґрунті, під дією зазначених реагентів випадають осади. Під час визначення обмінних катіонів у засолених ґрунтах пробу попередньо промивають дистильованою водою для видалення водорозчинних солей (до негативної реакції на йони Cl^- і SO_4^{2-} — відсутності каламуті).

Обмінні катіони та ємність вбирання

Витіснення обмінних катіонів розчином NH_4Cl, C = 1 моль/л, методом Гедройца відбувається за схемою:

$$(ГВК) \begin{matrix} Ca^{2+} \\ Mg^{2+} \\ Na^{+} \\ K^{+} \end{matrix} + 6NH_4^+ \rightarrow \quad (ГВК)\ 6NH_4^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+.$$

Вміст обмінних катіонів виражають у ммоль екв/100 г ґрунту. Якщо проби містять значні кількості протонів, то при такій обробці в розчин частково переходять також катіони алюмінію, феруму, титану, які перешкоджають визначенню йонів кальцію та магнію. В такому разі перешкоджаючі катіони заздалегідь видаляють у вигляді гідроксидів (чи фосфатів) дією 25%-го розчину аміаку при помішуванні до pH = 5...6 за метиловим червоним, який змінює при цьому значенні pH забарвлення від червоного до жовтого. Осад відфільтровують і у фільтраті визначають обмінні катіони та ємність вбирання.

Обладнання і реактиви: хімічна склянка місткістю 150 мл, скляна лійка, беззольний фільтр "біла стрічка", мірна колба на 500 мл, повітряно-суха проба ґрунту, розчин хлориду амонію, С = 1 моль/л; розбавлений розчин аміаку (1:2); хлоридно-амонійний буферний розчин з pH = 10, гідроксиламін, металоіндикатор хромоген чорний, дистильована вода.

Хід роботи

У склянку вносять 2—20 г повітряно-сухої проби ґрунту і додають таку кількість розчину NH_4Cl (кислотність якого доведена до pH = 7 розбавленим розчином аміаку) щоб розчин вкрив пробу шаром завтовшки приблизно 1 см. Пробу з розчином перемішують, відстоюють і декантують прояснений розчин крізь фільтр "біла стрічка". Фільтрат збирають у мірну колбу місткістю 500 мл. Після заповнення колби наполовину перевіряють повноту витіснення обмінних катіонів. Для цього під лійку підставляють пробірку і відбирають 1—2 мл фільтрату, додають 1 мл хлоридно-амонійного буферного розчину з домішкою незначної кількості гідроксиламіну і вводять індикатор хромоген чорний. За відсутності йонів Ca^{2+} та Mg^{2+} розчин набуває синього кольору. Тоді обробку проби ґрунту розчином NH_4Cl припиняють, об'єм фільтрату доводять до риски дистильованою водою і визначають в аліквотах (частина від загального об'єму) концентрацію йонів Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+ та K^+.

Масову частку обмінних катіонів N_{Kt} обчислюють за формулою:

$$N_{Kt} = \frac{Kt \cdot 100}{M}, \quad \text{ммоль екв/100 г},$$

де Kt — масова частка відповідного катіона в сухій пробі ґрунту, %; M — молярна маса еквівалента катіону: $M\left(\frac{1}{z}Ca^{2+}\right) = 20{,}04$; $M\left(\frac{1}{z}Mg^{2+}\right) = 12{,}16$; $M(K^+) = 39{,}10$; $M(Na^+) = 22{,}99$.

Від отриманого результату віднімають масову частку цих йонів у водній витяжці, вираженну в тих самих одиницях.

Сумарну кількість обмінних катіонів, визначених за методом Гедройца, часто приймають за ємність вбирання. Проте остання є дещо вищою, оскільки названим методом не визначаються обмінні йони гідрогену.

Для точнішого визначення ємності вбирання, особливо кислих ґрунтів, використовують метод, який полягає у витісненні йонів Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, K^+ та H^+ розчином $BaCl_2$, тобто йонами Ba^{2+}.

Контрольні запитання і завдання

1. Чому ґрунти називають геохімічним фільтром?

2. Які чинники впливають на вбирання катіонів обмінним комплексом ґрунту?

4.8. Рухливий алюміній

Алюміній, який у складі земної кори посідає третє місце за вмістом після кисню і силіцію, перебуває переважно у вигляді алюмосилікатів різного складу, оксиду, гідроксиду, фосфату, фториду; утворює малорозчинні комплекси з гуміновими й фульвіновими кислотами.

При зниженні pH ґрунтових вод зростає рухливість алюмінію завдяки збільшенню розчинності сполук, посилюється надходження Al^{3+} в рослини, що може спричинити концентрування катіонів цього металу, порушення процесів росту.

Метод визначення рухливого алюмінію ґрунтується на утворенні забарвленого комплексу алюмінію з хромазуролом і колориметруванні розчину. Вплив феруму усувають відновленням його до двовалентного стану аскорбіновою кислотою. Для створення слабкокислої реакції (pH = 5,8), оптимальної для появи забарвлення, використовують ацетатний буфер.

Обладнання і реактиви: фотоелектроколориметр, кювети з товщиною світлопоглинаючого шару 1 см, витяжки ґрунту розчином KCl з С = 1 моль/л; 0,02%-й розчин аскорбінової кислоти (0,2 г реактиву розчиняють в 1 л дистильованої води; розчин готують у день проведення аналізу); *запасний забарвлювальний розчин* (326 г CH_3COONa розчиняють приблизно у 800 мл дистильованої води, додають 5 мл льодяної ацетатної кислоти; в отриманій буферній суміші розчиняють 1 г хромазуролу і доливають розчин дистильованою водою до 1 л; після відстоювання впродовж 1 доби розчин фільтрують; зберігають у посуді з темного скла впродовж 1 місяця); *робочий забарвлювальний розчин* (змішують запасний забарвлювальний розчин і дистильовану воду у співвідношенні 8:92; реактив готують у день виконання аналізу); *вихідний стандартний розчин* (0,450 г металічного алюмінію зважують з точністю до 0,0001 г, вносять у мірну колбу на 500 мл, доливають 10 мл HCl (1:1) і після закінчення бурхливого виділення бульбашок водню нагрівають на водяній бані до повного розчинення алюмінію; розчин охолоджують і доводять об'єм дистильованою водою до риски; отриманий розчин містить 0,1 ммоль екв/мл алюмінію); *робоча шкала стандартних розчинів* (робочий стандартний розчин готують розбавлянням вихідного розчином KCl у 10 разів; цей розчин містить 0,01 ммоль екв/мл алюмінію, відповідає 2,5 ммоль екв/мл алюмінію на 100 г ґрунту; у мірній колбі на 100 мл відміряють робочий стандартний розчин, в об'ємах, зазначених у ***табл. 4.6***; розчин доливають до 100 мл розчином KCl); з отриманих стандартних розчинів беруть аліквоти і забарвлюють їх так само, як і аналізовані ґрунтові витяжки; калібрувальний графік будують, відкладаючи на осі абсцис масову частку алюмінію, а на осі ординат — оптичну густину розчинів.

Таблиця 4.6. **Об'єми робочого стандартного розчину для приготування розчинів порівняння**

Показник	Номер колби								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Об'єм стандартного розчину, мл	0	2	4	6	8	12	16	20	24
Масова частка алюмінію, ммоль екв/100 г ґрунту	0	0,05	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60

Хід роботи

До 1 мл витяжки ґрунту розчином KCl з концентрацією 1 моль/л доливають 25 мл 0,02%-го розчину аскорбінової кислоти, перемішують, додають 25 мл робочого забарвлювального розчину, знову перемішують.

Фотоколориметрування проводять у кюветі з товщиною світлопоглинального шару 1 см при жовто-зеленому світлофільтрі (λ = 545 нм) не раніше, ніж через 10 хв, і не пізніше, ніж через 30 хв після одержання забарвленого розчину. Оптичну густину вимірюють відносно "нульового" розчину зразкової шкали.

Вміст рухомого алюмінію в аналізованому ґрунті визначають за калібрувальним графіком.

Контрольні запитання і завдання

1. В якому вигляді алюміній міститься в ґрунті?

2. Які біотичні та абіотичні чинники природного середовища впливають на рухливість алюмінію в ґрунті, поверхневих і ґрунтових водах?

3. Які антропогенні джерела надходження алюмінію в ґрунт ви знаєте?

4.9. Купрум

Купрум — один із мікроелементів, необхідних для життєдіяльності живих організмів. У ґрунті його вміст 15—20 мг/кг. Рослини здатні накопичувати катіони купруму, особливо за умов високої вологості ґрунтів.

Мідь належить до важких металів (умовна назва хімічних елементів з атомною масою понад 50 а.о.м.; іноді до них відносять елементи, густина яких перевищує 7—8 г/см^3, крім благородних і рідкісних).

За великих концентрацій важкі метали токсичні для ґрунтової фауни і рослин, оскільки діють як ферментні отрути, змінюючи метаболізм; впливають на проникність клітинних мембран; заміщують життєво важливі йони тощо.

За Алексеєвим ряд фітотоксичності важких металів такий:

$$Ni^{2+} < Cu^{2+} < Co^{2+} < Mn^{2+} < Zn^{2+}.$$

Антропогенними джерелами купруму є металургія, гірничо-добувна і збагачувальна промисловість, гальванічні виробництва, ТЕС, засоби боротьби зі шкідниками і хворобами сільськогосподарських культур.

Визначення купруму базується на утворенні комплексу з діетилдитіокарбаматом жовтого кольору, подальшій його екстракції і фотометруванні органічного шару. Оскільки визначенню заважають інші катіони металів, аналіз проводять при певному pH за наявності цитратної кислоти, яка зв'язує Fe^{3+}, Zn^{2+}, Mn^{2+} у безбарвні комплекси, що залишаються у водній фазі.

Обладнання і реактиви: фотоелектроколориметр, ділильні лійки, пробірки з притертою пробкою; ґрунт, забруднений сполуками купруму; тетрахлорид вуглецю CCl_4; розчин хлоридної кислоти з С = 1 моль/л; фенолфталеїн; концентрована сульфатна кислота; розчин аміаку (розбавлений 1:1); розчин діетилдитіокарбамату плюмбуму в CCl_4 (664 мг діетилдитіокарбамату натрію переносять у ділильну лійку місткістю 2 л, приливають 1 л CCl_4 і додають 486 мг нітрату плюмбуму, попередньо розчиненого в 100 мл бідистильованої води і струшують 5 хв; після розділення фаз нижній органічний шар із розчиненим у ньому діетилдитіокарбаматом плюмбуму фільтрують у склянку із темного скла; розчин зберігають у холодильнику); 5%-й розчин цитрату амонію (50 г солі розчиняють в 1 л бідистильованої води); стандартний розчин купруму: 3,928 г $CuSO_4 \cdot 5H_2O$, що містить 1 г Cu^{2+}, розчиняють у 100 мл бідистильованої води і додають 5 мл концентрованої H_2SO_4. Для побудови градуювальної кривої одержаний розчин розбавляють у 100 разів (1 мл містить 100 мкг Cu^{2+}).

Хід роботи

У ділильну лійку вносять 10—25 мл кислотної ґрунтової витяжки (співвідношення між ґрунтом і HCl 1:10, екстракцію проводять упродовж 1 год при постійному збовтуванні на ротаторі), приливають 5 мл розчину цитрату амонію і за фенолфталеїном нейтралізують розбавленим розчином аміаку до появи рожевого забарвлення.

Потім у лійку додають 15 мл діетилдитіокарбамату плюмбуму в CCl_4 й енергійно струшують 2 хв. Дають відстоятися.

Після розділення фаз нижній органічний шар, забарвлений у жовто-коричневий колір, обережно зливають у суху пробірку з притертою пробкою.

Аналогічно готують шкалу стандартних розчинів із вмістом від 1 до 20 мкг Cu^{2+} в пробі.

Аналізований розчин і стандартні розчини фотометрують у кюветах з товщиною світлопоглинаючого шару 1 см при λ = 436 нм (синій світлофільтр) відносно чистого CCl_4.

Вміст купруму у пробі визначають за градуювальною кривою і вираховують з нього результат, одержаний для розчину, що містить всі компоненти, крім Cu^{2+}.

Масову частку купруму в ґрунті *X*, мг/кг, розраховують за формулою:

$$X = \frac{a \cdot V_o}{m \cdot V_1},$$

де a — кількість купруму в пробі, знайдена за градуювальним графіком, мкг; V_o — початковий об'єм ґрунтової витяжки, мл; V_1 — об'єм витяжки, взятий для аналізу, мл; m — наважка ґрунту, г.

Контрольні запитання і завдання

1. *Назвіть основні джерела надходження купруму в ґрунт.*
2. *Що таке фітотоксичність важких металів?*
3. *Які процеси відбуваються в рослинах за високої концентрації катіонів важких металів у ґрунті?*
4. *Чим, на вашу думку, зумовлена бактерицидна дія Cu^{2+}, Ag^{+}, Au^{3+}?*

4.10. Гідрогенсульфур у ґрунтах, забруднених нафтою і нафтопродуктами

H_2S — токсичний газ із неприємним запахом; його розчин у воді — сульфідна кислота, більшість солей якої малорозчинні. Гідрогенсульфур утворюється в ґрунті внаслідок діяльності сульфатредукуючих бактерій, при розкладі органічних речовин, розчиненні сульфідів при випаданні кислотних дощів. ГДК H_2S у ґрунті 0,4 мг/кг.

Антропогенними джерелами гідрогенсульфуру в ґрунті є нафтодобування, нафтопереробка, транспорт, стічні води підприємств по обробці шкур тварин (сульфід натрію додається для видалення волосяного покриву), гальванічні виробництва тощо.

Розливи нафти і нафтопродуктів завжди супроводжуються забрудненням ґрунтів гідрогенсульфуром та сульфідами.

Метод визначення H_2S полягає в окисненні його йодом, що утворюється при взаємодії йодиду калію з перманганатом калію в кислому середовищі. Залишок йоду, що не прореагував із H_2S, відтитровують розчином $Na_2S_2O_3$. Основу методу становлять такі реакції:

$$10KJ + 2KMnO_4 + 8H_2SO_4 = 5J_2 + 2MnSO_4 + 6K_2SO_4 + 8H_2O;$$

$$J_2 + H_2S = S\downarrow + 2HJ;$$

$$J_2 + 2Na_2S_2O_3 = 2NaJ + Na_2S_4O_6.$$

Цим методом можна визначити від 0,32 до 2300 мг H_2S /кг ґрунту.

Обладнання і реактиви: апарат для струшування; конічні колби; гумові пробки; бюретка на 25 мл; скляна лійка; фільтрувальний папір; ґрунт, забруднений нафтою чи нафтопродуктами; бідистильована вода; розчин $KMnO_4$, С = 0,01 моль/л, розчин $Na_2S_2O_3$, С = 0,005 моль/л; H_2SO_4 (розбавлена 1:3); KJ, 10%-й розчин; крохмаль, 1%-й розчин. Усі розчини готують на бідистильованій воді.

Хід роботи

Вносять 100 г ґрунту в конічну колбу, приливають 200 мл бідистильованої води, закривають пробкою і струшують упродовж 3 хв. Суспензію фільтрують крізь складчастий паперовий фільтр.

100 мл фільтрату вносять у конічну колбу, підкислюють кількома краплинами H_2SO_4, приливають 1 мл розчину KJ, збовтують і додають з бюретки розчин $KMnO_4$ до появи жовтого забарвлення йоду.

Надлишок йоду відтитровують розчином $Na_2S_2O_3$ до солом'яно-жовтого кольору, додають кілька краплин крохмалю і обережно титрують до зникнення синього кольору.

Різниця між об'ємами прилитого розчину $KMnO_4$ з С = 0,01 моль/л і розчину $Na_2S_2O_3$, витраченого на титрування залишкового йоду, відповідає кількості розчину J_2 з С = 0,01 моль/л, витраченого на окиснення H_2S в 100 мл фільтрату. 1 мл розчину йоду з концентрацією 0,01 моль/л відповідає 0,17 мг H_2S.

Масову частку H_2S у ґрунті X_1, мг/кг, розраховують за формулою:

$$X_1 = \frac{(V_1 - V_2) \cdot a \cdot V_3}{V_4} \cdot 1000,$$

де V_1 — об'єм розчину $KMnO_4$ з С = 0,01 моль/л, прилитого до проби ґрунту з KJ, мл; V_2 — об'єм розчину $Na_2S_2O_3$, С = 0,005 моль/л, витраченого на титрування залишку йоду, що не прореагував із H_2S, мл; a — кількість H_2S (0,17 мг), що відповідає 1 мл розчину йоду з концентрацією 0,01 моль/л; V_3 — об'єм фільтрату водної витяжки ґрунту, взятої на титрування, мл; V_4 — об'єм водної витяжки ґрунту (загальний), мл; 1000 — коефіцієнт перерахунку вмісту H_2S на 1 кг ґрунту.

Одночасно в такому самому зразку ґрунту визначають його вологість і перераховують вміст H_2S на абсолютно сухий ґрунт X_2 за формулою:

$$X_2 = X_1 \cdot K = X_1 \cdot \frac{100}{100 - W}, \text{ мг/кг},$$

де W — вологість ґрунту у %.

Або:

$$X_2 = \frac{A}{m} \cdot K,$$

де A — кількість H_2S в пробі, мкг; m — маса проби ґрунту, г; K — коефіцієнт перерахунку на абсолютно сухий ґрунт.

Контрольні запитання і завдання

1. *Назвіть природні джерела H_2S у ґрунті.*
2. *Які антропогенні джерела гідрогенсульфуру ви знаєте?*
3. *Який вплив на рослини і ґрунтову фауну (прямий та опосередкований) чинить підвищений вміст H_2S у ґрунті?*
4. *Напишіть хімічні реакції утворення сульфідів важких металів та їх розчинення при зниженні pH ґрунту внаслідок випадання кислотних дощів.*

4.11. Залишкова токсичність ґрунту

Визначення показника фітотоксичності ґрунтів здійснюють при проведенні моніторингу хімічного забруднення ґрунтів або з метою оцінки можливостей використання відходів, шламів водоочистки, стічних вод для меліорації та удобрення ґрунтів.

Забруднення ґрунтів відбувається і при внесенні добрив та пестицидів у надмірних кількостях, адже відомо, що лише в Україні з мінеральними добривами в ґрунт потрапляло щороку до 2,2 тис. т цинку, 1,4 тис. т хрому, по 400 т кадмію і кобальту, 200 т купруму, 180 т плюмбуму тощо. Оскільки ґрунт — це складна система, в якій відбуваються численні фізичні, хімічні та біологічні процеси, може виникнути вторинне забруднення, бо відомо, що

- плюмбум і кадмій підвищують токсичність вуглеводнів нафти;
- нітрати збільшують дію радіонуклідів;
- купрум спричинює посилення токсичності окремих пестицидів дитіокарбаматної групи.

Визначення залишкової токсичності ґрунту проводять за методом проростків (Лозановська та ін., 1998). Його сутність полягає у пророщуванні насіння в досліджуваному (забрудненому) ґрунті і контрольному (чистому) та визначенні довжини надземної і кореневої систем, маси сухої речовини.

Експеримент проводять при постійній вологості ґрунту (70%) з використанням тест-рослин, насіння яких швидко проростає. Можна здійснити 3 варіанти досліджень:

- у ґрунт вносять речовину-забруднювач;
- порівнюють фітотоксичність чистого і забрудненого ґрунту;
- змішують забруднений і чистий ґрунт, фіксуючи зміну фітотоксичності.

Кількість паралельних дослідів — не менше трьох.

Обладнання і матеріали: аналітичні терези, чашки Петрі чи інші ємкості для висаджування насіння; ґрунт — забруднений і чистий; забруднювач ґрунту (пестицид, поверхнево-активна речовина, нафта, розчин солі важкого металу); тест-культури: насіння огірків, пшениці, люцерни, вівса, гороху, квасолі.

Хід роботи.

У кожну склянку вносять по 100 г субстрату (суміші або ґрунту), зволожують до 70% і висівають по 10—12 насінин тест-рослини. Через три доби склянки виставляють на полиці й освітлюють проростки впродовж 14 год: з 6 до 20 год і витримують два тижні, фіксуючи такі показники:

- час появи сходів;
- кількість проростків щодоби;
- загальне проростання насіння;
- масу рослин (рослини акуратно виймають з ґрунту, підсушують на повітрі, звільняють від решток ґрунту і зважують; визначають загальну масу рослин у склянці або роблять перерахунок на одну "середню" рослину).

Порівнюють експериментальні дані з контролем, розраховують фітотоксичний ефект забруднюючих речовин, використовуючи різні показники:

- масу рослин;
- відсоток пошкоджених рослин;
- відсоток сходів від загальної кількості насінин;
- довжину корінців тощо.

Спостерігають і за кольором рослин та їх морфологічними особливостями.

Виходячи з маси рослин, фітотоксичний ефект ФЕ розраховують за формулою:

$$ФЕ = \frac{m_0 - m_x}{m_0} \cdot 100, \ \%,$$

де m_0 — маса контрольної рослини (або всіх рослин в одній склянці з чистим ґрунтом), г; m_x — маса рослини (рослин), вирощених в токсичному ґрунті, г.

Провівши ці дослідження на значній території, можна скласти екологічну карту за фітотоксичністю ґрунту.

Контрольні запитання і завдання

1. *Як кислотність ґрунтів впливає на їхню фітотоксичність? Проведіть експеримент з одним і тим самим катіоном важкого металу однакової концентрації за різних pH ґрунту.*
2. *Чи можуть забруднювачі ґрунтів сприяти розвиткові рослин? Наведіть приклади, за яких умов це може відбуватися.*
3. *Порівняйте вплив токсиканта на ріст азотфіксуючих і не фіксуючих азот рослин. Чи відрізняється він і чому?*

4.12. Антропогенні порушення ґрунтів

До антропогенних порушень належать зміни хімічного складу, фізичних і структурно-механічних властивостей ґрунтів, руйнування їх у процесі господарської діяльності людини.

Обладнання і матеріали: карта (план, схема) місцевості, ручка, олівець.

Хід роботи.

1. Вибирають добре знайому ділянку місцевості (поблизу місця проживання, школи, в зоні відпочинку).
2. Вказують типи й групи антропогенних порушень ґрунту, заповнивши відповідні графи в ***табл. 4.7.***

Таблиця 4.7. **Типи і групи антропогенних порушень ґрунту**

Групи порушень	У чому виявляється порушення
Сільськогосподарські	Перекривання ґрунтового покриву (чим)
Лісогосподарські	Ерозія ґрунтів (вітрова, водна)
Промислові	Механічне порушення (ущільнення, перезволоження, висушування), засмічування, пожежі тощо
Будівельні	Забруднення ґрунтів (засолення, закислення, забруднення нафтопродуктами, добривами, важкими металами, радіонуклідами тощо)
Транспортні	Перекривання й ущільнення ґрунтового шару
Рекреаційні	Ущільнення, засмічення, пірогенні порушення

3. Якнайдокладніше описують порушення ґрунтів, заповнивши ***табл. 4.8.***

Таблиця 4.8. **Опис антропогенних порушень ґрунтів (місцезнаходження: назви населених пунктів, вулиць, доріг, річок тощо)**

Характеристика порушень	Опис порушень
Площа поширення	Форма ділянки, протяжність, ширина, загальна площа тощо
Ознаки виявлених порушень	(Зазначають, у чому виявляються порушення)
Стадія порушення	Початкова, розвинута тощо
Вид антропогенних впливів, що стали причиною порушень	(Зазначають вид впливу)
Характер впливу	Інтенсивність — низька, середня, висока, дуже висока; тривалість, періодичність
Вплив на природний комплекс	(Зазначають, у чому виявляється вплив)
Група порушень	(Зазначають тип порушень)
Можливі шляхи усунення (зниження) впливу	(Вносять пропозиції)

До опису додають ілюстративний матеріал: карти, схеми, фотографії, замальовки, зразки природних об'єктів тощо.

Обробка результатів і висновки:

1. Позначають антропогенні порушення ґрунтів на карті місцевості.
2. Визначають екологічні наслідки виявлених порушень.
3. Вносять пропозиції щодо зниження антропогенних впливів.

Контрольні запитання і завдання

1. *Назвіть антропогенні порушення ґрунтів та їх причини.*
2. *Як впливає ущільнення ґрунтів на процеси газо- і водообміну між атмосферою і ґрунтом, на життєдіяльність рослин і ґрунтових організмів?*
3. *Назвіть основні причини й наслідки водної та вітрової ерозії ґрунтів.*
4. *Який вплив на стан ґрунтів чинять звалища побутового сміття та промислових відходів?*

4.13. Розпізнавання мінеральних добрив як можливих забруднювачів ґрунтів і природних поверхневих водойм

Добрива — це речовини органічного і неорганічного походження, які вносять у ґрунт для забезпечення живлення рослин.

За хімічним складом добрива поділяють на:

- *неорганічні* (азотні, фосфорні, калійні, мікродобрива);
- *органічні* (гній, компост, торф, сапропель, лігнін — відход після гідролізу деревини, осади стічних вод, зелене добриво: рослини-сидерати з родини бобових — люпин, горох, донник; небобові рослини — ріпак, гірчиця, суріпка);
- *органомінеральні* (містять як органічні, так і неорганічні сполуки);
- *комплексні*, до складу яких входять два чи більше елементів живлення;
- *бактеріальні* (штами клубенькових бактерій).

При удобренні велике значення має дотримання норм внесення добрив з урахуванням хімічного складу, температури і вологості ґрунтів, виду сільськогосподарської культури та стадії вегетації рослин. У ***табл. 4.9*** наведений вміст поживних речовин у рослинах.

Таблиця 4.9. **Приблизний вміст основних елементів живлення в рослинах (за Пєтуховим, 1985)**

Культура	Вміст основних елементів живлення, %*				
	N	P_2O_5	K_2O	MgO	CaO
Пшениця (зерно)	2,50	0,85**	0,50	0,15	0,07
Пшениця (солома)	0,50	0,20	0,90	0,10	0,18
Горох (насіння)	4,50**	1,00**	1,25**	0,13	0,09
Картопля (бульби)	0,32	0,14	0,60	0,06	0,08
Цукровий буряк (коренеплоди)	0,24	0,08	0,25	0,05	0,06
Капуста (головки)	0,33	0,10	0,35	0,08	0,07
Томати (плоди)	0,26	0,07	0,32	0,06	0,04
Трава (сіно лугове)	0,70	0,70	1,80**	0,41**	0,95**

* для пшениці, гороху і трав — у % на суху масу, для решти культур — у % на сиру речовину.
** найбільші кількості.

Надмірне внесення добрив, зберігання їх просто неба, втрати при транспортуванні тощо можуть створювати екологічну небезпеку. Зокрема:

- змивання з полів азотних і фосфорних добрив викликає евтрофікацію водойм — масове розмноження синьозелених водоростей, що супроводжується погіршенням смакових якостей і хімічного складу вод, зменшенням концентрації розчиненого кисню, загибеллю чутливих видів гідробіонтів;
- надходження в рослини катіонів важких металів (з 1 т суперфосфату в ґрунт вноситься 0,7—0,9 кг, з 1 кг складного добрива — 140—150 мг плюмбуму, з 1 кг подвійного суперфосфату — до 300 мг кадмію);
- внесення з добривами радіоактивних елементів: до складу фосфорних добрив входять у невеликих концентраціях уран, радій, торій, ^{40}K та ін.

З метою виявлення неправильного зберігання добрив еколог повинен розпізнати тип добрива за його зовнішнім виглядом, розчинністю, якісними реакціями на катіони і аніони, а також передбачити наслідки такого забруднення.

Нижче наведені види найбільш вживаних неорганічних добрив.

Азотні добрива

Нітроген входить до складу амінокислот, білків, нуклеїнових кислот, хлорофілу, алкалоїдів, ферментів рослин.

Азотні добрива поділяють на:

- нітратні: натрієва селітра $NaNO_3$, кальцієва селітра $Ca(NO_3)_2$, калійна селітра KNO_3;
- амонійні: хлорид амонію NH_4Cl, сульфат амонію $(NH_4)_2SO_4$;
- амонійно-нітратні: аміачна селітра NH_4NO_3;
- аміачні: аміачна вода NH_4OH;
- карбамід-амонійно-нітратні (КАС — сечовина $CO(NH_2)_2$ + NH_4NO_3).

Усі азотні добрива добре розчиняються у воді.

Фосфорні добрива

Фосфор — компонент нуклеїнових кислот, АМФ, АДФ, АТФ, вітамінів, ферментів, клітинних мембран; резервний міститься у фітині — запасній речовині насіння, яка використовується при його проростанні; завдяки фосфатній буферній системі в клітині утримується необхідний інтервал pH.

Найбільш поширеними фосфорними добривами є:

- простий суперфосфат $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot 2CaSO_4 \cdot 3H_2O$ (сірий порошок);
- подвійний гранульований суперфосфат $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$;
- преципітат $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$ (білий чи світло-сірий порошок);
- фосфорне борошно — подрібнений фосфорит $Ca_3(PO_4)_2$;
- кісткове борошно.

Із них суперфосфати добре розчинні, преципітат — менш розчинний, останні два види — практично нерозчинні.

Калійні добрива

Калій позитивно впливає на фізичний стан колоїдів цитоплазми, підвищує їх набухання, в'язкість, здатність поглинати воду, поліпшує стійкість рослин до посухи, сприяє фотосинтезу, вуглеводному і азотному обміну, посилює накопичення крохмалю в картоплі і цукру в цукрових буряках, збільшує стійкість до захворювань.

До калійних добрив належать:

- концентровані калійні добрива— хлорид і сульфат калію; калійна селітра KNO_3;
- розмолоті природні мінерали — сильвініт $KCl \cdot NaCl$, карналіт $MgCl_2 \cdot KCl \cdot H_2O$;
- відходи промисловості — цементний пил і пічна зола.

За винятком відходів усі калійні добрива добре розчинні у воді.

Мікродобрива

Це сполуки бору, молібдену, купруму, кобальту, цинку, хрому тощо, які входять до складу рослин у мізерних кількостях (від сотих до десятитисячних часток відсотка), але мають надзвичайно важливе фізіологічне значення, оскільки вони — компоненти ферментів, вітамінів та інших біологічно активних речовин.

Обладнання, реактиви, матеріали: пробірки; штативи для пробірок; фарфорові ступки з товкачиками; крапельниця для реактивів; щипці муфельні; пінцети довгі; електроплитка; газовий пальник; шматочки деревного вугілля; індикаторний папір; дистильована вода; 8—10%-й розчин NaOH чи KOH; 5%-й розчин $BaCl_2$; концентрована хлоридна кислота і 2%-й розчин; 10%-й розчин ацетатної кислоти; 1—2%-й розчин $AgNO_3$; розчин йоду в йодиді калію (20 г KJ розчиняють у 20 мл дистильованої води, додають 6,35 г кристалічного йоду; розчин переносять у мірну колбу місткістю 50 мл і доводять об'єм до риски дистильованою водою); кілька видів найпоширеніших добрив.

Хід роботи

Перед проведенням якісних реакцій на йони описують зовнішній вигляд добрива, визначають його розчинність, поведінку в полум'ї пальника та стосунок до групових реагентів: $AgNO_3$, $Ba(NO_3)_2$, NaOH, кислоти.

1. Проба на розжареному деревному вугіллі

Невелику вуглину розжарюють до червоного кольору в полум'ї пальника, взявши її пінцетом чи щипцями. На неї висипають попередньо розтерте в порошок добриво. Відмічають колір полум'я та диму, запах, характер горіння:

- Na^+ забарвлює полум'я в жовтий колір;

  K^+ — у фіолетовий;

  Ca^{2+} — цегляно-червоний;
- нітрати спалахують;
- калійні добрива потріскують;
- солі амонію розкладаються (продукти розкладу залежать від леткості кислоти, що входить до складу добрива у вигляді аніона, його окисної здатності):

$$NH_4Cl \overset{t^0}{\rightleftarrows} NH_3\uparrow + HCl\uparrow$$ (на холодних стінках пробірки утворюється білий наліт NH_4Cl);

$$(NH_4)_2SO_4 \overset{t^0}{\rightarrow} 2NH_3\uparrow + H_2SO_4$$ (запах аміаку);

$$NH_4NO_3 \overset{t^0}{\rightarrow} N_2O\uparrow + 2H_2O;$$

- KNO_3 і $NaNO_3$ плавляться з виділенням кисню (якщо їх термічний розклад провести в пробірці — обережно! — то внесена тліюча скалочка яскраво спалахує):

$$2KNO_3 \overset{t^0}{\rightarrow} 2KNO_2 + O_2\uparrow ; \qquad C + O_2 = CO_2\uparrow;$$

- карбамід і КАС, що містять імідну групу, згоряють із виділенням білого диму і аміаку.

2. Стосунок до дії розчину лугу

Солі амонію виділяють аміак

$$NH_4NO_3 + NaOH = NH_4OH \begin{matrix} \nearrow NH_3\uparrow \\ \searrow H_2O \end{matrix} + NaNO_3,$$

який можна ідентифікувати

- за характерним запахом;
- за посинінням червоного лакмусового папірця, змоченого водою:

$$NH_3 + H_2O \rightleftarrows NH_4OH \rightleftarrows NH_4^+ + OH^-;$$

- за побурінням фільтрувального паперу, змоченого краплиною реактива Несслера:

$$NH_3 + 2K_2[HgJ_4] + 3KOH = \left[H_2N \begin{matrix} \diagup Hg \diagdown \\ \diagdown Hg \diagup \end{matrix} O\right] J\downarrow + 7KJ + 2H_2O.$$

Магнійвмісні добрива утворюють у розчині осад $Mg(OH)_2$ білого кольору:

$$MgCl_2 + 2NaOH = Mg(OH)_2\downarrow + 2NaCl.$$

3. Стосунок до дії кислоти

Добрива, що містять карбонати, при додаванні до них кислоти "скипають" внаслідок виділення CO_2 (вапнякові матеріали, які використовують для вапнування кислих ґрунтів, золи):

$$CaCO_3 + 2HCl = CaCl_2 + H_2O + CO_2\uparrow.$$

4. Стосунок до розчину $AgNO_3$

- Добрива, до складу яких входять хлорид-іони, утворюють з $AgNO_3$ білий осад, нерозчинний у кислоті:

$$AgNO_3 + KCl = AgCl\downarrow + KNO_3;$$

- фосфатні добрива осаджують світло-жовтий фосфат, розчинний у хлоридній кислоті:

$$Ca(H_2PO_4)_2 + 2AgNO_3 = Ca(NO_3)_2 + 2AgH_2PO_4\downarrow;$$

- гашене чи негашене вапно утворює бурий осад оксиду срібла:

$$Ca(OH)_2 + 2AgNO_3 = Ca(NO_3)_2 + Ag_2O\downarrow + H_2O.$$

5. Стосунок до розчину $BaCl_2$

Добрива, до складу яких входять SO_4^{2-}, утворюють з реагентом нерозчинний у воді сульфат барію білого кольору:

$$(NH_4)_2SO_4 + BaCl_2 = 2NH_4Cl + BaSO_4\downarrow;$$

фосфати теж утворюють осад, але він розчинний у HCl:

$$Ca(H_2PO_4)_2 + BaCl_2 = CaCl_2 + Ba(H_2PO_4)_2\downarrow;$$

$$Ba(H_2PO_4)_2 + 2HCl = BaCl_2 + 2H_3PO_4.$$

6. Деякі додаткові якісні реакції та визначення мікродобрив

K^+ утворює з $Na_3[Co(NO_2)_6]$ жовтий осад $K_2Na[Co(NO_2)_6]$:

$$2KCl + Na_3[Co(NO_2)_6] = 2NaCl + K_2Na[Co(NO_2)_6]\downarrow$$

(оскільки аналогічну реакцію дають солі амонію, кальцію та магнію, які можуть бути наявні в добривах, то спочатку проводять якісні реакції на ці катіони):

Mg^{2+} за наявності NaOH і розчину йоду утворює червоно-бурий осад.

Ca^{2+} в середовищі оцтової кислоти при додаванні оксалату амонію осаджується у вигляді малорозчинного оксалату білого кольору:

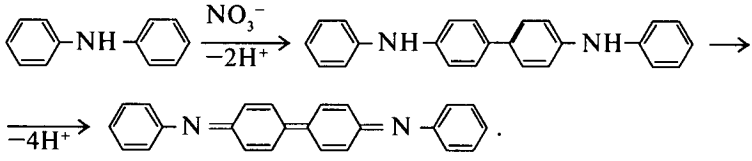
$$Ca(NO_3)_2 + (NH_4)_2C_2O_4 = CaC_2O_4\downarrow + 2NH_4NO_3.$$

Na^+, взаємодіючи з гексагідроксоантимонатом $K[Sb(OH)_6]$, утворює білий осад $Na[Sb(OH)_6]$:

$$NaNO_3 + K[Sb(OH)_6] = KNO_3 + Na[Sb(OH)_6]\downarrow,$$

який у лужному середовищі розчиняється з утворенням Na_3SbO_4, в кислому — переходить в аморфний осад метасурм'яної кислоти $HSbO_3$.

NO_3^- окиснює дифеніламін до дифенілбензидину, а потім до бензидинової сині:



PO_4^{3-} в сильнокислому середовищі (за відсутності відновників) при взаємодії з молібдатом амонію за наявності кристалічного NH_4NO_3 осаджується у вигляді фосфоромолібдату амонію жовтого кольору:

$$PO_4^{3-} + 24H^+ + 12MoO_4^{2-} + 3NH_4^+ = (NH_4)_3[P(Mo_3O_{10})_4]\downarrow + 12H_2O.$$

Борат-іони за наявності H_2SO_4 і етанолу утворюють борний ефір, який забарвлює полум'я газового пальника в зелений колір:

$$Na_2B_4O_7 + H_2SO_4 + 5H_2O = Na_2SO_4 + 4H_3BO_3;$$

$$H_3BO_3 + 3C_2H_5OH = (C_2H_5O)_3B + 3H_2O.$$

Cr^{3+} окиснюється персульфатом амонію $(NH_4)_2S_2O_8$ в кислому середовищі при кип'ятінні (каталізатор $AgNO_3$) до дихромату, внаслідок чого розчин набуває оранжевого кольору:

$$2Cr^{3+} + 3S_2O_8^{2-} + 7H_2O = Cr_2O_7^{2-} + 6SO_4^{2-} + 14H^+.$$

При дії на дихромат-іон пероксиду водню утворюється надхромова кислота H_2CrO_6 (або CrO_5):

$$Cr_2O_7^{2-} + 4H_2O_2 + 2H^+ = 2CrO_5 + 5H_2O;$$

CrO_5 екстрагують в органічну фазу (ізоаміловий спирт і діетиловий ефір), яка забарвлюється у волошковий колір.

Mn^{2+} аналогічно окиснюють персульфатом амонію. При цьому розчин набуває фіолетового кольору завдяки $KMnO_4$:

$$2Mn^{2+} + 5S_2O_8^{2-} + 8H_2O = 2MnO_4^- + 10SO_4^{2-} + 16H^+.$$

При нестачі окисника чи кислоти випадає бурий осад MnO_2:

$$2Mn^{2+} + 3S_2O_8^{2-} + 4H_2O = 2MnO_2\downarrow + 6SO_4^{2-} + 8H^+.$$

Zn^{2+}. Після спалювання шматочка фільтрувального паперу, змоченого розчинами нітратів кобальту і цинку, утворюється зола зеленого кольору ("зелень Рімана"):

$$Zn(NO_3)_2 + Co(NO_3)_2 \rightarrow CoZnO_2 + 2NO_2\uparrow + O_2\uparrow.$$

Cu^{2+} з аміаком утворює аміачний комплекс темно-синього кольору:

$$CuSO_4 + 4NH_3 = [Cu(NH_3)_4]SO_4.$$

Co^{2+} з насиченим розчином роданіду амонію за наявності ізоамілового спирту утворює комплекс $[Co(SCN)_4]^{2-}$, який екстрагують органічним розчинником:

$$CoSO_4 + 4NH_4SCN = (NH_4)_2[Co(SCN)_4] \text{ (синій)} + (NH_4)_2SO_4.$$

У присутності катіонів, що утворюють із NH_4SCN забарвлені комплекси (Fe^{3+}) чи малорозчинні сполуки (Cu^{2+}, Hg^{2+}), додають $Na_2S_2O_3$, який зв'язує домішки в безбарвні тіосульфатні комплекси.

Контрольні запитання і завдання

1. *Що таке добрива? Які типи добрив ви знаєте?*
2. *З якою метою вносяться добрива? Що враховують при визначенні дози внесення?*
3. *Які негативні наслідки для довкілля має надмірне внесення добрив?*
4. *Завдяки чому внесення добрив, що містять калій і кальцій, може зменшити надходження до рослин радіоактивних ізотопів ^{137}Cs і ^{90}Sr?*

Розділ 5

ЕКОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЖИВОЇ РЕЧОВИНИ

Поняття "живої речовини" як сукупності всіх рослин, тварин, грибів і мікроорганізмів, що населяють Землю, ввів В.Вернадський.

Живий світ планети налічує близько 0,5 млн видів рослин і понад 1,5 млн видів тварин. Біомаса живих організмів становить лише 0,0001% від маси біосфери. Якби зрівняти поверхню планети і рівномірно розподілити всю живу речовину на ній, товщина цього живого покриву становила б усього 2 см. Але різноманіття видів і їх біомаса дуже нерівномірно розподілені: найбагатші тропічні вічнозелені ліси — гілеї (біомаса рослин становить 765 млрд т, тварин — 330 млн т; у них понад 8000 видів рослин і 4/5 видів тварин); найбідніша тундра, де росте всього до 500 видів рослин; у тайзі біомаса рослин — 240 млрд т, тварин — 37 млн т.

У середньому біомаса на Землі становить $2{,}243 \cdot 10^{12}$ т, з якої 97% припадає на біомасу зелених рослин суші і 3% — на тварини і мікроорганізми.

Основна кількість живої речовини зосереджена на межі літосфери й атмосфери та у верхній частині гідросфери.

Живі організми відрізняються від неживої матерії

- здатністю акумулювати енергію Сонця (*фототрофи*) та енергію хімічних перетворень (*хемотрофи*) — безпосередньо, чи використовуючи хімічну енергію спожитої їжі; одержана енергія витрачається на створення впорядкованої структури тіл, збільшення біомаси, розмноження, виконання роботи;
- можливістю створення собі подібних, але це не просте самокопіювання, а процес, що супроводжується певною мінливістю ознак, що збільшує їх адаптаційні можливості і здатність змінюватися в часі;
- протіканням хімічних реакцій з високою швидкістю за звичайних умов завдяки біологічним каталізаторам — ферментам.

Усе розмаїття живого світу поділяють на два надцарства — **прокаріоти** (доядерні організми) та **еукаріоти** (ядерні організми), які, своєю чергою, поділяються на царства, а останні — на підцарства (***рис. 5.1***).

Жива речовина є не лише біотичним компонентом біосфери, а й її творцем завдяки кільком хімічним функціям, які вона виконує: газовій, концентраційній, окисно-відновній, біохімічній. Недаремно В.Вернадський сказав, що ***"Жива речовина — це сукупність організмів, яка подібно до маси газу розтікається по земній поверхні і створює певний тиск у навколишньому середовищі, обходить перешкоди, які заважають її просуванню, або ними оволодіває, їх покриває. Цей рух досягається шляхом розмноження організмів".***

З наведених матеріалів ви зрозумієте, яким багатогранним є світ, що нас оточує, які складні взаємозв'язки існують між живими організмами, а також між ними та природним середовищем.

Рослини

При вивченні складу рослин слід відбирати середню пробу, яка відповідала б хімічному складу рослин, що зростають на певній території. Слід пам'ятати, що різні частини рослин по-різному накопичують хімічні елементи. Їх склад формують тип та вологість ґрунту, кліматичні умови, рельєф тощо.

Пробу рослин (цілі чи окремі частини) відбирають у першій половині дня за сухої погоди, з різних місць певної території. На ранніх стадіях розвитку (2—3 листки) в пробі має бути не менш як 10 рослин з 1га; для гречки, гороху, зернових — 25...30; у високорослих рослин беруть нижні, добре розвинуті листки, не менш ніж із 50 рослин. Проба має бути репрезентативною, тобто забезпечувати відповідність її хімічного складу хімічному складові аналізованого матеріалу.

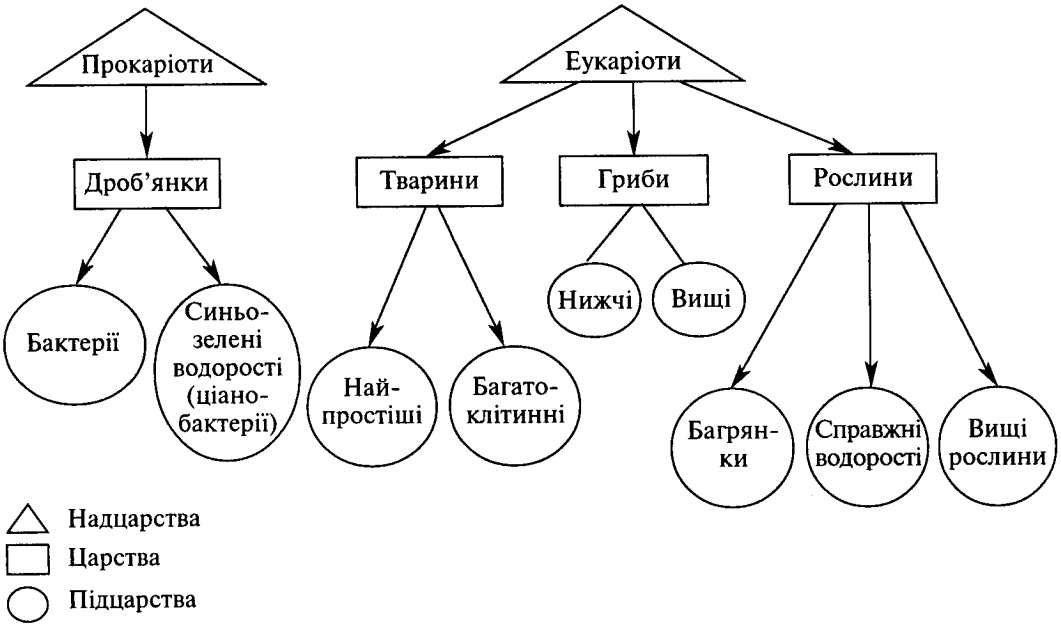


Рис. 5.1. Класифікація живої речовини

Методи відбору репрезентативної проби залежать від характеру матеріалу. Зокрема, середня проба біологічного матеріалу є репрезентативною, якщо відбираються такі кількості рослинного матеріалу:

- кори і коренів — 600—650 г;
- трави цілої — 400—600 г;
- квітів — 300 г;
- листя і трави подрібнених — 200 г;
- кори и коренів подрібнених — 150—200 г.

Головною умовою вірогідності результатів є швидка підготовка проб до аналізу. Якщо неможливо в цей самий день провести аналіз, рослини зберігають у холодильнику.

Перед хімічним аналізом проводять біологічний облік відібраних проб: висота рослин, кількість пагонів на одній рослині, фази розвитку, суха і сира маса в перерахунку на кількість рослин у цій масі. Аналізувати можна і консервовані сухі зразки (витримування проб упродовж 30—40 хв у термостаті за температури 80—100^0 С з подальшим досушуванням на повітрі в затінку), з яких пізніше готують витяжки. Подрібнені зразки зберігають у склянках із притертими пробками або поліетиленових пакетах. Перед проведенням аналізу визначають вологість проби для перерахунку на абсолютно суху масу, часто проби озолюють "сухим" чи "мокрим" методом.

Нижче наведені методики визначення хімічного складу рослин та вивчення впливу різноманітних чинників на процеси їх росту і розвитку.

5.1. Інтенсивність фотосинтезу у рослин (за вмістом карбону)

У 1771 р. англійський хімік Д.Прістлі встановив за допомогою гілочки м'яти і миші, що існують відновлювачі життя — рослини, які поглинають вуглекислий газ і виділяють кисень. Французький вчений Ж.-Б.Буссенго описав процес фотосинтезу хімічною реакцією.

Сам термін "фотосинтез" з'явився через 100 років після відкриття процесу. А в 1960 р. був синтезований хлорофіл — барвник, завдяки якому в зеленому листку відбувається цей

грандіозний процес — утворення органічної речовини з CO_2 та води за участі сонячної енергії. Формула хлорофілу $C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$.

Швидкість утворення біомаси рослинами на одиницю площі характеризує **первинну продукцію**, яку відображають в одиницях енергії (E/ST, Дж/м²·добу) чи маси (m/ST, кг/га·рік), де E та m — біомаса, асимільована органічна речовина (в одиницях енергії чи маси), S — площа, T — час.

Кожна фітосистема намагається оптимізувати процес фотосинтезу, збільшуючи площу поверхні, яка освітлюється (соняшник повертає стебло, латук компасний змінює кут нахилу листкової пластини до сонячних променів).

Щороку в процесі фотосинтезу зелені рослини утворюють 100 млрд т органічних речовин, в яких у вигляді хімічної енергії може бути близько $1{,}884 \cdot 10^{18}$ кДж сонячної енергії.

Р.Уіттекер (1975) класифікував екосистеми залежно від кількості створюваної біопродукції:

- найвищої продуктивності (2000 — 3000 г/м²·рік) — гілеї;
- високої продуктивності (1000 — 2000 г/м²·рік) — листяні ліси помірної зони та луки;
- помірної продуктивності (250 — 1000 г/м²·рік) — степи та чагарники;
- низької продуктивності (менше 250 г/м²·рік) — пустелі і напівпустелі.

У зеленому тропічному лісі, де зосереджена половина всіх відомих видів рослин, у фітомасі утримується 40% зв'язаного карбону планети.

Вивчення процесу синтезу органічної речовини рослинами полягає в тому, що методом "мокрого" спалювання визначають в одному і тому самому листку вміст карбону через деякий проміжок часу. Різниця між визначеннями, виражена на одиницю поверхні листка за одиницю часу, характеризує кількість органічної речовини, утвореної рослиною в процесі фотосинтезу.

Карбон листка окиснюється розчином дихромату калію в сульфатній кислоті, залишок окиснювача відтитровують стандартним розчином солі Мора за наявності індикатора дифеніламіна і фосфатної кислоти, яка зв'язує катіони феруму (III), що утворилися, в безбарвні фосфатні комплекси.

Обладнання, матеріали, реактиви: конічні колби на 250 мл; термостійкі конічні колби на 100 мл; маленькі скляні лійки, бюретка; мірний циліндр; пробкове свердло діаметром 1-2 см; розчин дихромату калію $K_2Cr_2O_7$, $C(\frac{1}{z}) = 0{,}4$ моль/л у розбавленій (1:1) H_2SO_4; розчин солі Мора $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$, $C(\frac{1}{z}) = 0{,}2$ моль/л; дифеніламін (0,5 г розчиняють у 100 мл концентрованої сульфатної кислоти, потім обережно додають 20 мл дистильованої води); фосфатна кислота, 85%-й розчин; вегетуючі рослини з симетричною широкою і тонкою листовою пластиною (герань, фуксія, деревні види).

Хід роботи

Лист ростучої рослини ділять на дві половинки вздовж головної жилки і на одній з них вирізають пробковим свердлом три диски, кладуть на дно конічної термостійкої колбочки місткістю 100 мл, наливають розчин дихромату калію в сульфатній кислоті. Колбу закривають лійкою і кип'ятять на електроплитці у витяжній шафі 5 хв при помішуванні, щоб листки були вкриті шаром рідини.

Потім колбу знімають із плитки і охолоджують. Рідина має бути буруватого кольору. Зелене забарвлення вказує на нестачу $K_2Cr_2O_7$ для окиснення органічного карбону. "Мокре" спалювання повторюють, збільшивши об'єм окиснювача (або зменшивши кількість висічок листка).

До охолодженого розчину порціями додають 150 мл дистильованої води і переносять у колбу для титрування; додають 3 мл H_3PO_4 і 10 крапель дифеніламіну. Відтитровують до чистого блакитно-зеленого кольору, зумовленого катіонами хрому (III).

Аналогічно проводять контрольний дослід без рослинного матеріалу.

Через 2 год після перебування на інтенсивному світлі роблять висічки з другої половинки листків і визначають у них вміст карбону.

Кількість карбону органічної речовини, що міститься в 1 дм³ листкової поверхні, розраховують за формулою:

$$X = \frac{(a - b) \cdot k \cdot 0{,}6 \cdot 100}{S},$$

де a і b — об'єми розчину солі Мора, витраченого на титрування контрольного і дослідного розчинів відповідно, мл; k — поправковий коефіцієнт до солі Мора; 0,6 — міліграми карбону, що відповідають 1 мл солі Мора з концентрацією точно 0,2 моль/л; S — площа висічок листка, см².

Результати дослідження заносять у таблицю:

Об'єкт	Час визначення	Об'єм $K_2Cr_2O_7$, мл		Об'єм солі Мора, мл		Площа висічок, см²	Кількість карбону, мг/дм²	Інтенсивність фотосинтезу, мг С/дм²·год
		контр.	дослід.	контр.	дослід.			
	Початок досліду							
	Дослід після 2 год перебування в умовах інтенсивного освітлення							

Контрольні запитання і завдання

1. Чому фотосинтез — найважливіший процес, що відбувається на планеті?

2. Як називають організми, які синтезують органічні сполуки з неорганічних? Яку енергію для цього використовують фототрофи і хемотрофи?

3. Що таке первинна продукція? Як рослини пристосовуються до максимального поглинання сонячного світла?

5.2. Витрати органічної речовини рослинами в процесі дихання

У процесі дихання рослини виділяють CO_2; його кількість залежить від різних чинників: виду рослин, стадії вегетації, температури повітря, рівня освітленості тощо.

Відношення загального дихання популяції (R) до її сумарної біомаси (B) відображає відношення витрат енергії на підтримку життєдіяльності популяції до її потенційної енергії V = R/B, що є **мірою екологічного обороту Шредінгера (V)**.

Рослини типу C_3 і C_4 характеризуються різною V; рослини з родини сукулентів з типом САМ, який поєднує цикли C_3 і C_4, здійснюють фотосинтез і вночі. За середнього використання сонячної енергії рослинами в 1%, у морських водоростей воно досягає 3—5%, тоді як у сільськогосподарських культур — 0,01—0,02% (за ідеальних умов у зернових культур ефективність фотосинтезу може становити 3—10%).

Метод визначення інтенсивності дихання у рослин базується на встановленні кількості CO_2, поглинутого розчином $Ba(OH)_2$ точно відомої концентрації, взятого у надлишку; залишок, що не прореагував з $Ba(OH)_2$, титрують стандартним розчином хлоридної кислоти.

Таким чином, в основі процесу є реакції:

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 = 6CO_2\uparrow + 6H_2O;$$

$$CO_2 + Ba(OH)_2 = BaCO_3\downarrow + H_2O;$$

$$Ba(OH)_2 + 2HCl = BaCl_2 + 2H_2O.$$

Обладнання, реактиви, матеріали: конічні колби місткістю 250 мл; гумові пробки з отворами, в які вставляється скляна трубка з протягненим тонким дротиком довжиною 12—15 см; терези аналітичні; чорний папір; бюретка з розчином $Ba(OH)_2$, закрита хлоркальцієвою трубкою з натронним вапном; розчин $Ba(OH)_2$, $C(\frac{1}{z}) = 0{,}1$ моль/л; розчин HCl, C = = 0,1 моль/л; 1%-й розчин фенолфталеїну в 50%-му етанолі; зелені листки герані, фуксії (C_3), кукурудзи (C_4).

Хід роботи

5—8 г свіжого з черешками листя зважують на аналітичних терезах, закріплюють на дротиках і опускають у колби крізь отвори в пробках, які потім заліплюють пластиліном. Листя не має торкатися розчину $Ba(OH)_2$, 10 мл якого налито в колбу. Колби обгортають чорним папером і ставлять у шафу на 40—60 хв. Для контролю ставлять 3 колби з баритовою водою без рослин. Час від часу вміст колб з рослинами обережно перемішують.

Після закінчення досліду дротики з листям швидко виймають, колби щільно закривають пробками, а потім по черзі додають у колби 2—3 краплі розчину фенолфталеїну (розчин набуває малинового забарвлення внаслідок наявності вільного $Ba(OH)_2$, що не вступив у реакцію з CO_2, виділеним рослинами в процесі дихання, з утворенням $BaCO_3$ і відтитровують $Ba(OH)_2$ розчином HCl до знебарвлення. Результати заносять у таблицю:

Вид рослини	Наважка листя, г	Тривалість досліду, хв	Об'єм HCl, витрачений на титрування, мл	Інтенсивність дихання, мг CO_2/(г·год)

Інтенсивність дихання (I) обчислюють за формулою:

$$I = \frac{(a - b) \cdot 2{,}2 \cdot 60}{P \cdot t}, \text{ мг } CO_2/(\text{г·год}),$$

де a і b — об'єм розчину HCl, C = 1 моль/л, витраченої на титрування відповідно контрольних проб (середнє) і проб із листям рослин, мл; 2,2 — кількість CO_2, що відповідає 1 мл цього розчину HCl, мг; P — наважка листя, г; t — тривалість досліду, хв; 60 — коефіцієнт для переведення часу в години.

Доходять висновків щодо інтенсивності процесів дихання у різних видів рослин.

Контрольні запитання і завдання

1. Чим зумовлена первинна продуктивність рослин? Які чинники сприяють її збільшенню?

2. Якою хімічною реакцією описується процес фотосинтезу?

3. Які фізичні, хімічні та біологічні чинники впливають на інтенсивність дихання рослин?

4. Чим відрізняються рослини C_3- і C_4- типів?

5.3. Гігроскопічна вода

Вода є одним із найважливіших чинників, що забезпечує функціонування екосистем, завдяки високим теплоємності, температурі кипіння, діелектричній проникності тощо. Вода входить до складу живих організмів, є середовищем існування багатьох із них, завдяки воді відбуваються численні біохімічні процеси в організмі, з водою надходять поживні речовини і виводяться продукти метаболізму.

Для рослин вода має ще й таке значення:

- забезпечує найосновніший на Землі процес — фотосинтез:
- визначає процеси тургору;
- транспортує поживні речовини з ґрунту;
- забезпечує транспірацію і газообмін.

За стосунком до водного режиму рослини поділяють на

- *пойкілогідричні,* в яких вміст води змінюється відповідно зі змінами в навколишньому середовищі (водорості, мохи, лишайники), що не мають вакуоль;
- *гомойогідричні,* до яких належать судинні рослини з великими вакуолями, здатні підтримувати постійний вміст води.

Щоб зберегти чи накопичити воду за умов її нестачі, вберегтися від її надміру, рослини виробили чимало пристосувань.

За рослинністю на певній ділянці можна встановити наявність підземних вод, глибину їх залягання і навіть солоність. Дороговказом до водних джерел у Київській Русі вважалися верба, вільха, очерет лісовий, смородина, таволга в'язолиста, щавель (ґрунтові води залягають під ними завглибшки до 1 м). Ще п'ять століть тому Леонардо да Вінчі робив висновки про клімат на підставі товщини річних кілець дерев.

Тривалі дощі можуть завдати рослинам шкоду:

- дощ, що не вщухає дві доби поспіль, вимиває з листя дерев майже половину калію;
- листя дуба, сосни, осики втрачають на 1 га насаджень (в кг): азоту — 6–8; кальцію — 5–6; калію — 1–4; магнію — 1; фосфору — 0,2–0,5; сульфуру — 0,1–0,2.

У середньому майже 80% маси рослин припадає на воду. Крім того, частина води перебуває в зв'язаному стані, у вигляді органічних сполук.

Визначення вмісту води в рослинах може бути цікавим екологічним показником, що свідчить про місцезростання, кліматичні умови, особливості рослини.

Метод ґрунтується на визначенні зменшення маси повітряно-сухої речовини після її висушування в сушильній шафі за температури 105° С до сталої маси.

Обладнання і матеріали: сушильна шафа, аналітичні терези, скляні або алюмінієві бюкси з кришками, ексикатор, проба рослинного матеріалу.

Хід роботи

Скляні або алюмінієві бюкси висушують упродовж 30 хв у сушильній шафі за температури 105° С, охолоджують в ексикаторі і зважують разом із кришками на аналітичних терезах. З підготовленої проби у зважені бюкси беруть наважки (у дворазовому повторенні) розмеленого для аналізу матеріалу (2,5—5 г). Відкриті бюкси разом з кришками вміщують у холодну сушильну шафу і висушують 4—6 год за температури 105° С. Потім закривають їх кришками, охолоджують до кімнатної температури в ексикаторі і зважують. Знову висушують 2 год, охолоджують і зважують. Якщо результати зважувань не відрізняються більше, ніж на 0,02 г, аналіз вважають завершеним.

Обробка результатів

Масову частку гігроскопічної води X обчислюють за формулою:

$$X = \frac{(m_1 - m_2) \cdot 100}{m_1 - m}, \%,$$

де m_1 і m_2 — маси бюксів з наважкою до і після висушування, г; m — маса порожнього бюкса, г.

Різниця між двома паралельними визначеннями не має перевищувати 5%. Вміст абсолютно сухої речовини у відсотках отримують, віднімаючи від 100 вміст гігроскопічної води.

Контрольні запитання і завдання

1. Які функції виконує вода в рослинах?

2. Як рослини пристосовуються до недостачі води у ґрунті?

3. Чому рослини в'януть при достатній кількості вологи на засолених ґрунтах?

5.4. "Сира" зола

До складу рослини входить до 80% води (в середньому), яку визначають при висушуванні рослинної маси в сушильній шафі за температури 105–110° С до постійної маси (суха маса), що має такий склад (у %): карбон — 45; оксиген — 42; гідроген — 6,5; нітроген — 1,5 (вони становлять органічну частину); мінеральна частина — зола — становить близько 5% сухої маси (основні її компоненти — калій, ферум, сульфур, фосфор, магній, кальцій).

Спалюючи висушену рослинну масу в муфельній печі при температурі 500–550° С, одержуємо нелеткий залишок — золу. Таким чином, величина, на яку зменшилася маса наважки, припадає на органічні речовини, зола — на неорганічні.

Кожен орган рослини — листя, гілка, кора містять різну кількість органічних речовин (***табл. 5.1***). Вміст золи може бути екологічною характеристикою стану навколишньої території, де ростуть рослини. Велика зольність — індикатор збільшення вмісту катіонів металів, зокрема й важких, у ґрунті, підземних водах, повітрі, атмосферних опадах.

Метод ґрунтується на спалюванні органічної речовини за вільного доступу повітря. Утворені оксид карбону (IV), пара води та деякі інші речовини виділяються, а мінеральні елементи залишаються переважно у вигляді оксидів металів.

Таблиця 5.1. **Вміст золи і органічної речовини у рослинах (у % від маси сухої речовини) — за Б.Рубіним (1976)**

Трав'янисті рослини			Деревні породи		
Орган	**Вміст золи, %**	**Вміст органічної речовини, %**	**Орган**	**Вміст золи, %**	**Вміст органічної речовини, %**
Насіння	3	97	Деревина	1	99
Стебло	4	96	Стебло	3	97
Коріння	5	95	Кора	7	93
Листки	15	85	Листки	11	89

Обладнання і матеріали: фарфорові тиглі, муфельна піч, аналітичні терези, ексикатор, повітряно-суха проба рослинного матеріалу.

Хід роботи

Чисті фарфорові тиглі прожарюють у муфельній печі 1–2 год. Після охолодження і зважування на аналітичних терезах у тиглі вносять 1–2 г повітряно-сухої проби рослин. Для повнішого й швидшого озолення пробу не ущільнюють. Тиглі ставлять у холодну муфельну піч і відрегульовують нагрівання до 200° С. Початок озолення проводять повільно, щоб запобігти

можливому розбризкуванню часточок проби. Цю операцію можна виконувати і на електричній плитці у витяжній шафі. Через 50—60 хв, після того, як проба перестане диміти, температуру в муфельній печі підвищують до 525—550° С і спалюють масу, що обвуглилася, доки зола набуде світло-сірого кольору. Іноді зола має червоно-бурий або зеленуватий відтінок, зумовлений наявністю оксидів мангану і феруму. Для повного озолення достатньо, як правило, 5—6 год.

Після закінчення прожарювання тиглі із золою охолоджують спочатку у вимкнутій муфельній печі, а потім в ексикаторі і зважують на аналітичних терезах.

Якщо в золі залишилися незгорілі обвуглені часточки, тиглі охолоджують, додають кілька крапель гарячої дистильованої води (або 2—3 краплі 3%-го пероксиду гідрогену) і знову обережно прожарюють у муфельній печі. Після такої обробки вугілля, що залишилося, швидко згоряє.

Масову частку органічної речовини X_1, %, визначають за формулою:

$$X_1 = \frac{100 \cdot (m_3 - m)}{m_4},$$

де m_3 — маса тигля з наважкою абсолютно сухого матеріалу, г; m — маса тигля з золою, г; m_4 — маса сухої наважки, г.

Масова частка золи, $У$, % становить:

$$У = 100 - X_1.$$

Можна розрахувати й іншим способом.

Масову частку "сирої" золи X визначають за формулою:

$$X = \frac{(m - m_1) \cdot 100}{m_2}, \%,$$

де m — маса тигля із "сирою" золою, г; m_1 — маса порожнього тигля, г; m_2 — маса наважки, г.

Результати оформлюють у вигляді таблиці.

Частина рослини	Маса, г			Масова частка, %	
	Пустого тигля	Тигля з абсолютно сухою наважкою	Тигля з золою	Органічної речовини	Золи
Деревина Кора Листки Стебло					

Контрольні запитання і завдання

1. *Назвіть органічні речовини, що входять до складу рослин, та газоподібні сполуки, що утворюються при повному згорянні рослинного матеріалу.*
2. *Які чинники впливають на величину мінерального залишку, що утворився після спалювання проби рослинного матеріалу?*
3. *Які функції виконують метали в рослинах і в якому вигляді вони там перебувають?*

5.5. "Мокре" озолення

Рослинний матеріал озолюють сумішшю концентрованої сульфатної кислоти та 50—60%-го розчину хлорної кислоти. Під час кип'ятіння відбуваються такі реакції:

$$2H_2SO_4 = 2SO_2\uparrow + 2H_2O + O_2\uparrow;$$

$$4HClO_4 = HClO + HCl + Cl_2\uparrow + H_2O + 7O_2\uparrow.$$

Кисень, що виділяється, а також кислоти озолюють рослинний матеріал. Слід пам'ятати, що надлишок хлорної кислоти може призвести до виділення азоту в молекулярній формі:

$$3HClO_4 + 4\,(NH_4)_2SO_4 = 3HCl + 4N_2\uparrow + 4H_2SO_4 + 12H_2O.$$

Обладнання і реактиви: тонкорозмелений рослинний матеріал, аналітичні терези, колба К'єльдаля або термостійка колба на 100—150 мл, газовий пальник, мірна колба місткістю 250 мл, дистильована вода, концентрована сульфатна кислота, (ρ = 1,84 г/см³); 50—60%-й розчин хлорної кислоти (суміш кислот готують так: на 5 мл H_2SO_4 беруть 0,5 мл $HClO_4$; суміш готують безпосередньо перед використанням).

Хід роботи

Із тонкорозмеленого рослинного матеріалу беруть наважку на аналітичних терезах (0,2 г) і вносять у колбу К'єльдаля або термостійку колбу на 100—150 мл. Наливають у колбу 5,5 мл суміші кислот і залишають стояти 30—60 хв (краще на ніч) до обвуглення рослинної маси. Після цього вміст колби нагрівають на слабкому вогні 5—7 хв до утворення однорідної коричнево-бурої маси, температуру озолення підвищують і продовжують озолення до знебарвлення розчину. В процесі озолення вміст колби часто перемішують і постійно проводять спостереження. Повне озолення триває 15—25 хв. Проте, якщо через цей проміжок часу воно не закінчилося, то додають іще 1—2 краплі хлорної кислоти і продовжують нагрівання. Після закінчення озолення колбу охолоджують і розчин кількісно переносять у мірну колбу на 250 мл, доводять об'єм дистильованою водою до риски, перемішують і визначають потрібні елементи. Ними можуть бути плюмбум, купрум, меркурій, цинк тощо.

Контрольні запитання і завдання

1. *Що таке озолення рослинного матеріалу і якими способами його здійснюють?*
2. *З якою метою виконують озолення рослинного матеріалу?*
3. *Які властивості концентрованої сульфатної і хлорної кислот використовують під час "мокрого" озолення рослинного матеріалу?*

5.6. Вміст хлорофілу в листках рослин — біоіндикаційна ознака середовища

Рослини на рівні активності ферментів, органному рівні, популяційному тощо можуть бути індикаторами стану довкілля. Недаремно за рослинністю (видами, що ростуть на певній території, та їх виглядом) доходять висновку про наявність ґрунтових вод, родючість ґрунтів, підвищений вміст того чи іншого хімічного елемента в ґрунті.

Здатність накопичувати певний хімічний елемент рослиною використовують у пошуках корисних копалин (за зміненим зовнішнім виглядом рослин чи за вмістом у золі окремого хімічного елемента): підвищений вміст урану в ґрунті робить ягоди чорниці білими чи зеленкуватими внаслідок руйнування барвників — антоціанів; у кущів карагани, що росте на покладах кобальтових руд, на гілках з'являються потовщення; на родовища нафти і газу, багатих на біологічно активні нафтенові кислоти, вказують гігантські розміри рослин. Підбіл звичайний і деякі види фіалок накопичують цинк, хвощі та злаки — кремній, плауни — алюміній (плаун булавовидний навіть використовували як протраву при фарбуванні тканин, оскільки в його золі половина маси припадає на Al_2O_3).

Російський геохімік О.Виноградов вважав, що за хімічним складом організму можна встановити його походження.

Б.Келлер у 1909 р. писав, що дика рослинність є чудовим показником стану навколишнього середовища в цілому і ґрунтів зокрема; в 1912 р. він уклав перший визначник умов місцезростання за зовнішніми ознаками місцевої рослинності.

Серед основних напрямів фітоіндикації вирізняють:

- *агроіндикацію* – оцінка природних умов для землеробства, садівництва, виноградарства;
- *галоіндикацію* – виявлення характеру і ступеня засолення ґрунтів;
- *гідроіндикацію* – встановлення обводненості ґрунтів;
- *геоіндикацію* – визначення гірських порід, що залягають під ґрунтами;
- *біогеохімічну індикацію* – пошуки корисних копалин за наявністю певних характерних видів рослин;
- *екологічну індикацію* – встановлення стану довкілля за рослинністю.

Хлорофіл може бути індикатором збільшення в повітрі кислотних оксидів, засолення ґрунтів NaCl, нестачі нітрогену та деяких мікроелементів у ґрунті, підвищення концентрації озону під час фотохімічного смогу. Руйнування зеленого барвника проявляється у вигляді хлорозу (знебарвлення), некрозу (відмирання тканин), зміни кольору листка (пожовтіння у липи внаслідок сольового стресу, почервоніння у смородини – від SO_2).

В умовах міста як біоіндикатори можна використати газочутливі види: липу дрібнолисту, клен гостролистий, каштан кінський, ялину звичайну, сосну звичайну (шпилькові види більш чутливі, ніж листяні, оскільки листя опадає щорічно, а шпильки – раз на 3–7 років, що сприяє накопиченню забруднювачів).

Метод кількісного визначення хлорофілу в листі дерев базується на попередньому його вилученні органічними розчинниками (спирт або ацетон) і вимірюванні світлопоглинання екстракту на фотоелектроколориметрі чи спектрофотометрі.

Обладнання, реактиви, матеріали: аналітичні терези; фотоелектроколориметр; насос Камовського або електричний; колба Бунзена з пробкою і скляними фільтрами №2 і №3 (якщо немає насоса і колби Бунзена, витяжку хлорофілу можна відділити центрифугуванням); ступки фарфорові малі з товкачиками; скляні палички; ножиці; подрібнене і просіяне скло; мірні колби на 50 і 100 мл; калька; вазелін; фільтрувальний папір; 1%-й розчин $CuSO_4 \cdot 5H_2O$; 2%-й розчин $K_2Cr_2O_7$; 7%-й розчин аміаку (на 7 мл аміаку беруть 11 мл дистильованої води); листя рослин, зібране в "забрудненій" і "чистій" зонах (можна використати і кімнатні рослини, вирощені на родючому гумусовому і малородючому ґрунтах з поливом розчином солі важкого металу).

Хід роботи

Визначення хлорофілу в листках можна проводити як на свіжому, так і на фіксованому матеріалі. Фіксацію проводять текучим паром (5 хв) чи сухим жаром (при 105° С у сушильній шафі 5–10 хв).

При роботі з сухим матеріалом беруть наважку 0,5–1 г, зі свіжим – 1–2 г. Попередньо визначають вологість листків.

Наважку листя рослин (крім прожилків) подрібнюють у ступці, додаючи крейду чи карбонат магнію. Вилучення хлорофілу з сухого матеріалу проводять 90%-м розчином етанолу чи 80–85%-м розчином ацетону, а із свіжого – 96–98%-м спиртом чи абсолютним ацетоном.

До розтертого рослинного матеріалу додають кілька мілілітрів розчинника і знову розтирають. Рідину зі ступки переносять по скляній паличці на скляний фільтр чи в центрифужну пробірку, попередньо змазавши носик ступки із зовнішньої сторони вазеліном. У ступки наливають ще 4–5 мл розчинника і знову розтирають 1 хв, рідину зливають до попередньої. Весь розтертий матеріал переносять на фільтр і відфільтровують розчин, промиваючи його розчинником, доки фільтрат не стане безбарвним (аналогічно проводять центрифугування, зливаючи рідину і промиваючи твердий залишок розчинником).

Весь екстракт переносять у мірну колбу на 50 мл, сполоскують колбу Бунзена (або центрифужну пробірку розчинником) і доводять об'єм до риски розчинником.

Фотометрування проби проводять на фотоелектроколориметрі з червоним світлофільтром.

Для перерахунку вмісту хлорофілу на стандартні величини використовують розчин Гетрі (в мірну колбу місткістю 100 мл вносять 28,5 мл розчину $CuSO_4 \cdot 5H_2O$, 50 мл розчину $K_2Cr_2O_7$,

10 мл розчину аміаку і доводять об'єм до риски дистильованою водою, перемішують). Розчин Гетрі за забарвленням колориметрично еквівалентний розчину кристалічного хлорофілу з концентрацією 8,5 мг/л.

Методом розбавлення стандартного розчину будують градуювальну криву $A = f(C_{хл}$, мг/л). Концентрація хлорофілу від 0,085 мг/л (1 мл початкового розчину і 99 мл дистильованої води) до 7,65 мг/л (90 мл початкового розчину і 10 мл води).

За градуювальною кривою визначають вміст хлорофілу в дослідних зразках. Згодом розраховують масову частку хлорофілу в мг/г у листках (на сиру чи суху масу). Можна також визначити масову частку пігменту у відсотках (в насадженнях сосни ці дві величини становлять 0,08–0,14 мг/г і 0,3–1,3% на абсолютно суху масу листя).

Результати експерименту вносять у таблицю.

Дослід	Наважка листя, мг	Об'єм витяжки, мл	Оптична густина	Кількість хлорофілу за градуювальною кривою, мг/50 мл	Вміст хлорофілу в листках	
					мг/г	%

Контрольні запитання і завдання

1. *Які чинники довкілля знижують вміст хлорофілу в рослині?*
2. *Як ви можете пояснити багатство барв лісу восени?*
3. *Які процеси відбуваються в клітині завдяки хлорофілу? Що таке світлова і сутінкова фази фотосинтезу?*
4. *Які перетворення енергії здійснює зелений барвник рослини?*

5.7. Каротин

Каротин міститься в рослинах у вигляді альфа-, бета- і гамма-ізомерів. Він є провітаміном А, дуже корисний, особливо в умовах підвищеного радіаційного фону.

Визначення вмісту каротину ґрунтується на його властивості розчинятися в органічних розчинниках, забарвлюючи їх у жовтий колір.

Обладнання і матеріали: адсорбент Al_2O_3, MgO, CaO; хроматографічна колонка, колба Бунзена, водоструминний насос, сульфат натрію, бите скло чи пісок, розчинники — діетиловий ефір або бензин, фотоелектроколориметр, або колориметричні пробірки.

Хід роботи

Заздалегідь визначають вологість адсорбента (вона не має перевищувати 9–10%): наважку адсорбента висушують за температури 100—105° С і знову зважують кілька разів до сталої маси. Якщо вологість низька, її доводять до норми, змочуючи водою адсорбент або витримуючи його в ексикаторі над водою. Якщо до складу адсорбента входить багато води, його висушують при 100—105° С і доводять вологість до потрібної величини.

5—10 г рослинного матеріалу ретельно розтирають у ступці з битим склом чи піском, переносять у конічну колбу, на дно якої насипаний сульфат натрію шаром завтовшки 1,5 см, і заливають розчинником. Колбу закривають пробкою і ставлять на добу в темне місце для екстрагування каротину розчинником.

Для хроматографування на колонці вузьку частину трубки Аллена закривають гігроскопічною ватою, на яку шаром завтовшки 2—3 см насипають адсорбент. Трубку вставляють у пробку колби Бунзена і під вакуумом пропускають витяжку крізь адсорбент. Розчин наносять на адсорбент так, щоб осад залишився в колбі. Осад і адсорбент промивають розчинником кілька разів, доки він не залишатиметься безбарвним.

Розчин має бути жовтим; якщо витяжка зеленувата, дослід слід повторити. Всі порції екстракту змішують і вимірюють його оптичну густину при синьому світлофільтрі ($\lambda = 440$ нм).

Масову частку каротину X обчислюють за формулою:

$$X = \frac{a\ V\ k \cdot 100}{a_1\ m}, \text{ мг/кг},$$

де a і a_1 — відповідно висота стовпа стандартного та досліджуваного розчинів, мм; V — об'єм екстракту, мл; k — коефіцієнт переведення стандартного розчину дихромату калію K_2CrO_4 чи азобензолу в еквівалентну кількість каротину (у разі використання дихромату калію $k = 0{,}00416$, азобензолу — $k = 0{,}00235$); m — маса наважки, г; 100 — коефіцієнт для перерахунку масової частки каротину на 1 кг.

Контрольні запитання і завдання

1. *Чому після вибуху атомних бомб у Хіросімі та Нагасакі для постраждалих ввели "оранжеву дієту" — обов'язкове вживання овочів і фруктів оранжевого кольору, багатих на каротин?*
2. *Моркву рекомендують вживати разом із рослинними й тваринними жирами. Чому?*

5.8. Розділення рослинних пігментів методом тонкошарової хроматографії

Пігменти мають надзвичайно велике екологічне значення в житті рослин. За участі хлорофілу в клітинах рослин відбувається фотосинтез. Різні пігменти допомагають рослині пристосуватись до умов існування: саме тому гірська рослина едельвейс має майже біле листя, що відбиває надлишок сонячного випромінювання. За кольором листя рослин можна оцінити стан довкілля, використовуючи рослини як біоіндикатори, зокрема листя липи жовтіє від надлишку солі в грунті.

Обладнання і матеріали: етанол, подрібнене листя рослин, сік листя чи коренеплодів, щільний фільтрувальний папір, беззольний фільтр "синя стрічка", ножиці, широкі пробірки.

Хід роботи

У спиртову витяжку (екстракт) листя, сік листя чи коренеплодів у пробірці занурюють смужку фільтрувального паперу завширшки 1 см і завдовжки 20 см.

Оскільки целюлоза краще сорбує хлорофіл, ніж каротин і ксантофіл, то відбувається розподіл пігментів у процесі підняття рідини: внизу з'являються зелені плями хлорофілу, вище — жовті плями каротину й ксантофілу.

Наносять краплю спиртового екстракту на круглий фільтр. Внаслідок різної сорбції пігментів утвориться кругова хроматограма — в центрі зелене коло, зовні — жовте.

Контрольні запитання і завдання

1. *Як називаються природні пігменти, що зумовлюють спектр кольорів від синього до червоного?*
2. *Які екологічні функції відіграє колір у забезпеченні життєдіяльності рослин?*
3. *Чи впливають катіони металів на колір рослинних барвників? Як цю здатність використовує людина? Чим пояснюється зміна кольору?*

5.9. Нітрати в овочевих культурах

Нітрати потрапляють у рослини із грунту через кореневу систему. Їх накопичення в рослинах вище за ГДК відбувається у зв'язку з надлишковим внесенням у грунт азотних добрив чи в несприятливі для засвоєння терміни (холодна дощова погода, похмурі дні; нестача Р, К, Мо; при вирощуванні в закритому грунті рослини теж накопичують нітрати в більших кількостях). Високі дози нітратів в організмі людини спричинюють перетворення

їх на канцерогенні нітрозоаміни, тому вміст NO_3^- регламентується і контролюється в сільськогосподарській рослинній продукції (***табл. 5.2, 5.3***). За даними ВООЗ, щодобові норми надходження нітратів до організму дорослої людини не повинні перевищувати 5 мг/кг маси.

Обладнання і матеріали: маленькі ступки з товкачиком, предметні стекла, марлеві серветки, медичні піпетки, піпетки на 1 і 5 мл, мірні колби на 50 мл, скальпель, термостійка хімічна склянка місткістю 0,5—1,0 л для варіння овочів, електроплитка, різні частини овочів із великим вмістом нітратів і безбарвним соком (гарбуз, диня, огірки, капуста, картопля тощо).

Реактиви: дистильована вода; 1%-й розчин дифеніламіну (ДФА) в концентрованій сульфатній кислоті (обережно поводьтеся під час приготування цього розчину та користування ним!); *стандартний розчин* $NaNO_3$ для приготування калібрувальної кривої (розчиняють у мірній колбі на 100 мл 4,8871 г KNO_3 або 4,1127 г $NaNO_3$ і доводять об'єм до риски дистильованою водою); концентрація одержаного розчину 30000 мг/кг, що вдесятеро перевищує максимальний вміст нітратів у овочах (***табл. 5.2***); із цього розчину розбавлянням готують серію стандартних розчинів із масовою часткою нітратів від 60 до 3000 мг/кг, відбираючи в пронумеровані мірні колби на 50 мл об'єми стандартного розчину і доводячи об'єм до риски дистильованою водою:

№ колби	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Масова частка NO_3^-, мг/кг	0	60	150	300	600	900	1500	1800	2400	3000
Об'єм стандартного розчину, мл	0	0,1	0,25	0,5	1,0	1,5	2,5	3,0	4,0	5,0

Хід роботи

Заздалегідь миють і висушують овочі та фрукти для аналізу.

Під предметне скло кладуть аркуш білого паперу, на скло наносять дві краплі розчину, який вивчають, із триразовою повторюваністю і 2 краплі ДФА. Описують реакцію згідно з ***табл. 5.4*** для кожного із стандартних розчинів. Але основою для вмісту нітратів повинні бути власні дослідження, а не таблиця, оскільки на інтенсивність забарвлення може впливати багато чинників (температура, якість реактивів, наявність домішок тощо).

Таблиця 5.2. **Вміст нітратів в овочах і плодах по Україні**

Овочі, плоди	Середня масова частка нітратів, мг/кг
Буряки столові	1049,7± 158,3
Цибуля-перо	381,6± 31,4
Капуста білоголова	337,7± 33,3
Морква	253,2± 9,7
Цибуля ріпчаста	237,9± 41,3
Огірки у захищеному ґрунті	237,8± 41,3
Огірки у відкритому ґрунті	165,5± 12,9
Томати	144,5± 16,7
Картопля	108,7± 6,5
Дині	83,3± 8,3
Томати	76,4± 3,1
Яблука	39,7± 5,3
Кавуни	37,9± 12,8

Таблиця 5.3. **Розрахункове середньодобове надходження нітратів в організм людини з овочами і плодами**

Овочі, плоди	Споживання на добу, г	Споживання їстівної частини, г	Масова частка нітратів, мг/кг		Масова частка нітратів після кулінарної обробки, мг
			допустима	фактична	
Картопля	373	269	180	58,4	29,2
Капуста	98	78,4	600	47,0	32,9
Морква	44	36,2	450	15,8	11,1
Огірки	38	35,3	300	10,6	9,5
Томати	37	35,2	150	5,3	4,8
Буряки столові	36	28,8	1400	40,3	28,2
Кабачки	19	17,1	400	6,8	4,8
Баклажани	11	9,9	300	3,0	2,1
Редиска	8	6,4	1200	7,7	7,0
Цибуля	8	6,4	600	3,8	3,4
Редька	5	4,3	1200	5,2	4,7
Перець солодкий	4	3,0	200	6,6	0,5
Салат	4	3,2	2250	7,2	6,5
Шпинат	4	3,0	2250	6,4	4,9
Щавель	4	3,2	2250	7,2	6,5
Кріп	4	3,2	2250	7,2	6,5

Таблиця 5.4. **Реакція ДФА на нітрати (за В.Церлінгом, 1965)**

Бали	Характер забарвлення	Масова частка нітратів, мг/кг
6	Сік або зріз забарвлюється швидко й інтенсивно в синьо-чорний колір. Забарвлення стійке і не зникає	>3000
5	Сік або зріз забарвлюється в темно-синій колір. Забарвлення зберігається недовго.	3000
4	Сік або зріз забарвлюється в синій колір. Забарвлення з'являється через деякий проміжок часу.	1000
3	Забарвлення світло-синє, зникає через 2—3 хв.	500
2	Забарвлення зникає швидко, залишаючись переважно по краях плями.	250
1	Сліди блакитного забарвлення, що швидко зникає.	100
0	Блакитного чи синього забарвлення немає. На цілих рослинах бувають рожеві плями внаслідок обвуглення тканини рослин концентрованою H_2SO_4.	0

Овочі й плоди розділяють на частини: зону, близьку до плодоніжки, шкірку, периферійну частину, середину, качан (у капусти), листя. Подрібнюють ножем і швидко розтирають у ступці. З утвореної маси віджимають сік крізь 2—3 шари марлі. 2—3 краплі соку наносять на предметне скло, додають 2 краплі ДФА і швидко описують реакцію.

У разі сумніву щодо вмісту нітратів у соку поряд наносять стандартний розчин з відомою концентрацією, додавши ДФА.

У цілих рослинах наявність нітратів визначають так. У свіжозібраних рослин відрізають частини у вигляді грубих зрізів: стебла, плода тощо. Розміщують їх на смугах воскового паперу, наносять ДФА і відмічають забарвлення згідно зі шкалою.

Метод дає змогу оцінити вміст нітратів у сільськогосподарських культурах прямо на полі. Його використовують для визначення забезпеченості нітрогеном різних видів рослин.

З метою вивчення впливу термічної обробки на вміст нітратів овочі кладуть у киплячу воду, кип'ятять 10–15 хв; після чого охолоджують і аналізують на вміст NO_3^-.

Результати заносять у таблицю:

Вид рослини	Частина	Масова частка нітратів, мг/кг		Бали	
		У сирій продукції	Після термічної обробки	У сирій продукції	Після термічної обробки
Картопля	Під шкіркою				
	Середина				

Точніше концентрацію нітрат-іонів визначають методом прямої потенціометрії (іонометрії) з допомогою нітратселективного електроду.

Контрольні запитання і завдання

1. Назвіть чинники, що сприяють накопиченню нітратів у рослинах.

2. Як можна зменшити вміст нітратів у рослинній продукції?

3. Чому недостача молібдену в ґрунті сприяє концентруванню нітратів в органах рослин?

4. Чому в ранніх овочевих культурах допускається вищий вміст нітратів?

5.10. Плюмбум

Катіони плюмбуму мають здатність міцно утримуватися в ґрунті, як і деякі інші метали, завдяки обмінно-поглинальному комплексу ґрунту та зв'язуванню їх у малорозчинні сполуки, зокрема хлорид, сульфат, карбонат, фосфат, силікат. Ґрунт відносно катіонів важких металів виступає як геохімічний фільтр.

Із ґрунту плюмбум може потрапляти в рослини, організми травоїдних, а потім хижих тварин і людини (явище біоакуляції), спричинюючи серйозні отруєння.

Особливо збагачені на плюмбум ґрунти й рослинність поблизу пожвавлених автомагістралей внаслідок викидів транспорту, що працює на бензині з домішкою антидетонатора — тетраетилплюмбуму.

Обладнання і реактиви: аналітичні терези, фотоелектроколориметр, водяна баня, хімічні склянки, колориметричні пробірки, рослинна проба, етанол, дистильована вода, сульфід натрію Na_2S.

Хід роботи

Збирають по 100 г рослинної сировини (листя злаків, кульбаби, окремого виду дерева тощо) на відстані 2–3, 50, 100, 300 і 500 м від магістралі і проби пронумеровують.

Подрібнюють рослинну масу й додають 50 мл суміші етанолу і води (1:1). Випарюють чи кип'ятять екстракт, щоб катіони плюмбуму перейшли в розчин.

Готують водний розчин сульфіду натрію і краплями додають його в пробірки з екстрактом (брати однакову кількість екстракту і розчину реагента). Утвориться сульфід плюмбуму PbS чорного кольору з різною інтенсивністю забарвлення: чим далі від магістралі, тим вона менша.

Можна виконати наближений аналіз, побудувавши градуювальну шкалу за колориметричними пробірками і порівнявши з нею колір отриманих суспензій.

Кількісне визначення можна провести аналогічно, приготувавши серію стандартних розчинів Pb^{2+} з Na_2S, вимірявши світлопоглинання суспензій (стандартних і дослідних) на фотоелектроколориметрі та побудувавши градуювальну криву $A = f(C_{Pb^{2+}})$.

Контрольні запитання і завдання

1. Які природні й антропогенні джерела свинцю і його сполук у довкіллі ви знаєте?

2. Де в організмі людини накопичується плюмбум і яку він має фізіологічну дію?

3. Чи збільшиться швидкість міграції плюмбуму з поверхневими водами під час випадання кислотних дощів?

5.11. Аутекологічні дослідження рослин

Аутекологія — найдавніший розділ екології, що вивчає екологічні особливості окремих видів організмів і пристосування їх до умов навколишнього середовища.

Метою роботи є спостереження за окремим видом рослини в природі, складання його екологічної характеристики, вивчення екологічної ніші.

Обладнання: пристосування для виготовлення гербарію, лопата, блокнот, ручка, олівці, визначник рослин.

Хід роботи

Розглядають певний вид рослин у природі і складають опис виду за схемою.

1. Систематичне положення. Дають повну назву і схарактеризовують систематичне положення виду. Наводять найближчі за систематичним положенням види, що трапляються в цьому регіоні. Порівнюють їхні морфологічні особливості.

2. Біологічні особливості виду:

- тип і розвиток кореневої системи;
- форма й розміри стебла, надземних і підземних пагонів, листків, наявність чи відсутність ворсинок, воскового покриву, колючок та інших специфічних морфологічних ознак;
- форма, розміри і колір квіток;
- характер цвітіння рослини, спосіб запилення;
- особливості плодів чи насіння рослини, способи їх поширення;
- особливості життєвого циклу, співвідношення між фазами вегетації, цвітіння та утворення плодів;
- стадія, на якій перебуває рослина на момент досліджень.

3. Екологічні особливості виду:

- едафічні чинники (тип грунту і материнської породи, середня товщина ґрунтових горизонтів, ступінь зволоження і польова вологоємність ґрунту, pH ґрунту та особливості його текстури);
- кліматичні чинники (денні і нічні температури, середня вологість повітря, освітленість);
- топографічні чинники (на схилах якої експозиції трапляється вид, на відкритих чи затінених місцях, чи впливає висота над рівнем моря на поширеність виду).

4. Ценотичні особливості виду:

- рослини ростуть окремо чи куртинами; тип ценозу, в якому трапляється вид; характер популяції;
- набір видів, що ростуть поруч;
- характер конкуренції з іншими видами, чи є рослина хазяїном, паразитом чи симбіонтом;
- як рослина пов'язана з тваринами у трофічних ланцюгах.

До опису виду слід додати гербарій рослин.

Контрольні запитання і завдання

1. Назвіть основні типи кореневої системи рослин.

2. Чому калюжниця, що росте на відкритих болотистих і часто залитих водою луках, має жовтий колір? До чого це є пристосуванням?

3. Яким чином рослини збільшують свій ареал? Як вони поширюють свої плоди та насіння?

5.12. Порівняльний аналіз анатомічних особливостей рослин із різних екотопів

З метою пристосування до різних умов середовища рослини виробили низку анатомічних особливостей: опушення едельвейса в умовах значної сонячної інсоляції; зменшення кількості продихів у рослин пустель; різне положення бруньок; товщина листкової пластинки; здатність змінювати положення стебла, листка чи квітки залежно від освітленості (фототропізм).

Обладнання і реактиви: мікроскопи; предметні стекла і покривні скельця; пінцет; піпетки; гострі леза; смужки фільтрувального паперу; рослинний матеріал: латаття жовте (стебло і листя), конюшина лучна, тонконіг звичайний, очиток їдкий (листя); 0,5%-й розчин флороглюцину у 50%-му етанолі; судан III — барвник для фарбування кутикули; концентрована хлоридна кислота; гліцерин.

Хід роботи

Готують поперечні зрізи листків рослин (по кілька з ділянки) ближче до центру листка. Щоб бульбашки повітря не заважали спостереженням, лезо й листок заздалегідь змочують водою, а готовий зріз швидко переносять у краплю води на предметному склі.

На зріз наносять краплю розчину флороглюцину і залишають на 2 хв, потім відбирають реактив смужками фільтрувального паперу і додають по 1—2 краплі концентрованої хлоридної кислоти. Після появи червоного забарвлення реактив відбирають фільтрувальним папером, наносять на зріз кілька крапель гліцерину і накривають покривним скельцем.

На один із зрізів наносять краплю судану III. Готові препарати розглядають під мікроскопом, звертаючи увагу на особливості тканин різних рослин.

Результати спостережень заносять у таблицю:

Характеристика	Конюшина	Тонконіг	Очисток	Латаття
Товщина епідермісу з кутикулою				
Розвиток механічної тканини				
Розвиток палісадної паренхіми				
Розвиток губчастої паренхіми				
Аеренхіма				
Положення продихів				
Опушення				
Екотоп				
Морфологічна група рослин				

Контрольні запитання і завдання

1. Назвіть анатомічні особливості водяних рослин.

2. Які пристосування виробили рослини в умовах нестачі вологи?

3. Як пристосовуються рослини різних ярусів листопадних лісів для отримання світла?

5.13. Екологічні особливості лишайників і мохів

Лишайники за таломом поділяють на накипні, листуваті та кущисті. Їх використовують для визначення віку археологічних пам'яток завдяки надзвичайно повільному росту, а також для моніторингу (лишайники дуже чутливі до забруднення повітря).

Мохи поглинають величезну кількість води. Крім того, мохи і лишайники мають антибактеріальну дію, накопичують забруднювальні речовини.

Характерною біологічною особливістю лишайників є наявність лишайникових кислот (до 150), які відкладаються на поверхні гіф (гіфи – це окремі переплетені нитки, з яких складається вегетативне тіло грибів — грибниця або міцелій) у вигляді кристалів, паличок, зернят, зумовлюючи колір лишайника (окремі з них мають бактерицидну чи токсичну дію, тобто виконують захисну функцію). Лишайникові кислоти належать переважно до фенольних сполук.

Фенольні сполуки надзвичайно поширені в рослинному світі (їх частка становить 2–3, а в деяких випадках понад 10% маси органічної речовини). До них належать *флавоноїди* – біологічно активні сполуки багатьох рослин, які поділяють на

- катехіни (активні речовини чаю);
- лейкоантоціани (безбарвні попередники флавоноїдних пігментів);
- флавони і флавоноли (жовто-червоні барвники);
- антоціани (сині, червоні і фіолетові пігменти).

Полімерними фенольними сполуками є *дубильні речовини, лігнін, меланіни.*

Дослідженнями показано, що рослини накопичують різноманітні фенольні сполуки за несприятливих умов, при стресі, для боротьби з листогризучими комахами, гоїння ран, з метою захисту від хвороботворних бактерій. Багато фенольних сполук проявляють фітонцидний ефект (ефіри галової кислоти, виділені з клена, пригнічують ріст туберкульозної палички, деяких грибів і вірусів).

Ч.II

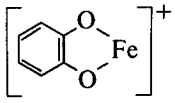
Таким чином, **накопичення рослинами фенольних сполук – захисна реакція на несприятливі умови середовища** і може використовуватися як біоіндикаційна ознака.

Запропонованим нижче методом визначають сумарну кількість фенольних сполук, метод дає наближені результати. Кількісним є екстракційно-фотометричний метод.

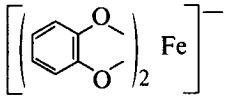
Якісними методами можна виявити окремі фенольні сполуки.

1. Феноли в нейтральному середовищі утворюють комплексні сполуки з солями Fe(III) різного кольору: фенол – фіолетові, резорцин – сині, саліцилова кислота – синьо-фіолетові.

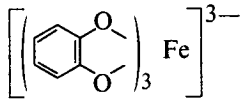
   Пірокатехін залежно від pH середовища утворює три типи комплексів.



pH = 2 (зелений)

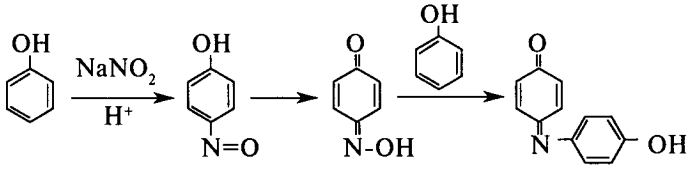


pH = 4,25 (фіолетовий)



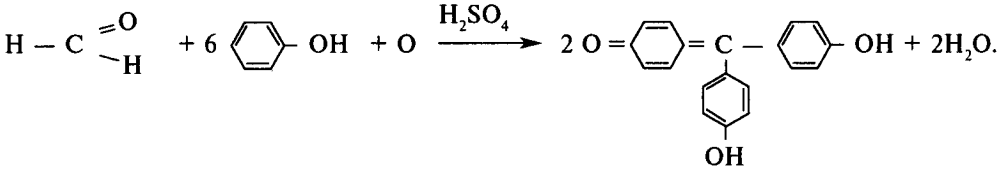
pH = 8,5 (червоний)

2. Індофенольна реакція — феноли при взаємодії з $NaNO_2$ в середовищі концентрованої H_2SO_4 утворюють індофеноли різного кольору, який змінюється при додаванні лугу: фенол дає зелене забарвлення, яке переходить у червоне, резорцин — фіолетове, що змінюється на синє.

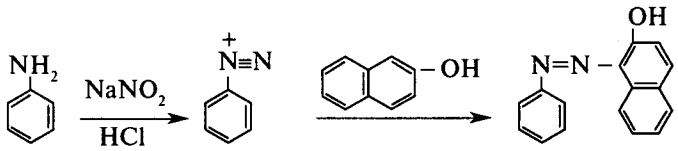


(індофенол)

3. При конденсації з мурашиним альдегідом за наявності концентрованої H_2SO_4 феноли утворюють трифенілметанові барвники (фенол, резорцин, саліцилова кислота – червоні; ацетилсаліцилова кислота – фіолетово-червоний):



4. Утворення азобарвників різного кольору – від жовтого до червоного:



(вишнево-червоний).

Обладнання і реактиви: аналітичні терези; чашки Петрі; термостат; термометр; ступка; хімічні стакани місткістю 100, 500 та 1000 мл; водяні бані; бюретки; піпетки; лійки; мірні циліндри місткістю 25 мл; пісок; фільтрувальний папір; грунт; вода (дистильована, водопровідна); розчин $KMnO_4$, $C(\frac{1}{z}) = 0{,}1$ моль/л; зразки мохів та лишайників; живильне середовище; індигокармін.

Хід роботи

1) Визначення динаміки поглинання води гаметофітом моху і таломом листуватого лишайника.* Талом лишайника зважують і вміщують у чашку Петрі, на дно якої насипаний пісок з вологістю ~ 20%. Наступні зважування виконують через 1, 3, 5, 10, 30 хв.

Роблять розрахунок поглинання води на 1 г сухого талому. Отримані дані оформляють у вигляді таблиці, будують графік залежності маси поглинутої води від часу.

Час, хв	Маса талому, мг	Маса води на 1 г сухого талому, мг
1		
2		
3		
5		
10		
30		

Те саме повторюють для моху, доходять висновку про динаміку поглинання вологи лишайником і мохом.

2) Виявлення антибактеріальних властивостей лишайника і моху. Три менші стерильні чашки Петрі заповнюють живильним середовищем і роблять однаковий посів мікроорганізмів (повітря, води чи грунту). У більші чашки рівномірно розкладають мох (чашка № 1) та лишайник (чашка № 2) і накривають чашками з посівом. Чашка № 3 — контроль, у якому розвиваються мікроорганізми. Всі три чашки витримують впродовж 30—40 хв, перегортають і ставлять у термостат за температури +25° С на 1—2 тижні; після чого

* *Гаметофіт – це листоподібний талом або рослина у вигляді пагона, розчленованого на стебло і листки; функції коренів виконують ризоїди – вирости поверхневих клітин тіла.*

підраховують кількість колоній і роблять висновок про фітонцидну активність мохів та лишайників.

3) *Визначення накопичення фенольних сполук мохами та лишайниками як вияв захисної реакції на несприятливі умови довкілля.* Наважку 1—3 г сухого перемеленого матеріалу нагрівають у стакані на 100 мл з 10 мл дистильованої води на водяній бані 15 хв, інтенсивно перемішуючи. Екстракт охолоджують, фільтрують і доводять об'єм до 50 мл у мірній колбі дистильованою водою.

10 мл одержаного розчину переносять у фарфорову чашку або стакан місткістю 800—1000 мл, додають 750 мл дистильованої води і 25 мл розчину індигокарміну.

Суміш титрують розчином $KMnO_4$ до появи золотисто-жовтого забарвлення. Результат титрування множать на коефіцієнт 4,16 (для переведення 1 мл розчину $KMnO_4$ з $C(\frac{1}{z})$ = 0,1 моль/л в 1 мг фенольних сполук, що містяться в 10 мл взятого екстракту).

Одночасно проводять контрольне титрування, в якому замість екстракту беруть дистильовану воду. Отримані дані віднімають від результатів основного визначення.

Для аналізу чайного листа в Росії використовують коефіцієнт 5,82.

Контрольні запитання і завдання

1. Які властивості мохів і лишайників допомагають їм пристосовуватися до нестачі вологи?

2. Які функції виконують гриб і водорість у лишайнику?

3. Назвіть екологічне значення торфових боліт.

4. Про що свідчить накопичення в лишайниках фенольних сполук?

Ч.II

5.14. Визначення стану дерев на вулицях міста

У містах дерева ростуть в умовах, далеких від оптимальних: механічні пошкодження, осідання пилу, дія газоподібних викидів підприємств і автотранспорту, засолення та забруднення ґрунтів спричинюють передчасне опадання листя, хлороз, стреси і загибель рослин. Оскільки зелені насадження в місті мають велике естетичне й екологічне значення — поглинають шум, пил, забрудники, збагачують повітря фітонцидами та негативно зарядженими йонами, створюють комфортні умови для мешканців — знати їх стан і дбати про його поліпшення конче важливо.

Обладнання, матеріали і реактиви: терези, лінійки, калька, мікроскоп, чашки Петрі, леза, препарувальні голки, джерело ультрафіолетового випромінювання (ультрахеміскоп), 10—20 листків із повною характеристикою місця відбору проби, тепла вода, розчин HCl, C = 0,1 моль/л, розчин метиленового блакитного (100 мг/л), 2,5%-й розчин KH_2PO_4 або акридиновий оранжевий (200 мг/л), 10%-й розчин цукрози.

1. Визначення частки пошкодженої тканини листків

Хід роботи

Зібрані листки розпрямляють, кладуть на аркуш кальки з виміряною довжиною і шириною та розраховують площу $S_к$. Кальку зважують ($P_к$), окреслюють листок, його контури на кальці вирізають і також зважують ($P_л$). Визначають площу листка ($S_л$):

$$S_л = \frac{P_л S_к}{P_к}.$$

Контури листка на кальці суміщають з листком, окреслюють пошкоджені ділянки, вирізають їх і зважують. Визначають частку пошкодженої тканини у відсотках:

$$S_{пошк} = \frac{S_л P_{пошк}}{P_л} \cdot 100\%.$$

2. Діагностика живих і мертвих тканин

1) Хімічний метод. Листки витримують 20—30 хв у теплій воді (35—37° С) для розм'якшення тканин, потім вміщують на 20 хв у розчин HCl. Відмерлі та пошкоджені ділянки стануть бурими внаслідок проникнення кислоти в пошкоджені клітини та феофітинізації хлорофілу.

2) Метод забарвлювання. Готують зрізи з різних частин листка, які вміщують у краплю метиленового блакитного в KH_2PO_4. Через кілька хвилин розчин забарвлює відмерлі та нежиттєздатні клітини в синій колір. Живі клітини набувають забарвлення значно повільніше.

У разі забарвлювання акридиновим оранжевим через 5—10 хв живі клітини починають флуоресціювати зелено-жовтим світлом, а пошкоджені — оранжево-червоним під час дії на них ультрафіолетового випромінювання.

3) Флуорометричний метод. Живі тканини при УФ-опроміненні флуоресціюють менше, ніж пошкоджені (відповідно блакитним та жовтувато-рожевим кольором).

4) Плазмолітичний метод. Зрізи соковитих тканин вміщують на 1—2 год в 10%-й розчин цукрози. У мертвих клітинах плазмоліз не настає, що перевіряють під мікроскопом.

Оцінюють ступінь пошкодження листя дерев у різних екологічних умовах (парк, вулиця з пожвавленим рухом транспорту, територія поблизу ТЕС тощо).

Контрольні запитання і завдання

1. Назвіть механічні, фізичні, хімічні та біологічні чинники, що спричинюють пошкодження листя дерев у місті.

2. Яке значення мають дерева в місті?

3. Що впливає на величину поглинання пилу з повітря рослинами?

5.15. Визначення стійкості рослин до засолення ґрунтів

Найчастіше засолення ґрунтів викликане збільшенням у них концентрації NaCl, $NaSO_4$, Na_2CO_3, $MgCl_2$, $MgSO_4$. Це відбувається у зв'язку з пересиханням солоних морів та озер і рознесенням солей на прилеглі території, підняттям до поверхні солей внаслідок нераціонального поливу земель. Сольового стресу зазнають і рослини, що ростуть на тротуарах, які взимку посипають кухонною сіллю проти ожеледі.

Збільшення в ґрунтовому розчині вмісту солей перешкоджає живленню рослин, викликає вихід води з клітин коріння і загибель.

Обладнання, реактиви, матеріали: великі пробірки або циліндри на 100 мл; штативи для пробірок; мірні пробірки або циліндри; технологічні терези; гостре лезо; солі NaCl і Na_2CO_3 (можна взяти солі важких металів); гілочки різних рослин з 3—4 невеликими листками.

1. Дослід ілюструє вплив еолових відкладів солей на рослини.

Гілочки різних дерев зважують і врівноважують (шляхом підрізання деревини) до однакової маси, витримують у воді до їх насичення вологою, виймають і висушують фільтрувальним папером, обробляють змочувачем (1—2%-м розчином зеленого мила).

Після цього зріз гілки швидко обновляють лезом і ставлять у великі пробірки чи циліндри зі строго дозованою кількістю водопровідної відстояної води. Отвір між водою і гілочкою щільно закривають станіолем, а пробірки нумерують.

Солі розтирають у ступці до дрібного порошку. Шматочки вати вільно накручують на паличку, затягують ниткою і використовують як пензлик, яким рівномірно опудрюють листя, черешки і кору дослідних рослин. Контролем є неопудрені гілочки.

Гілочки виставляють на розсіяне світло на 1—2 тижні, уникаючи сильного їх нагрівання. Згодом фіксують такі ознаки, як втрата тургору, поява інфільтраційних прозорих плям та некрозів, підсихання країв листя та їх скручування тощо. Одночасно визначають поглинання води з пробірки чи циліндра.

Визначають площу некрозів і виражають її у відсотках до загальної площі листків.

Порівнюють ступінь поглинання води рослинами при опудрюванні їх різними солями.

Проводять оцінку солестійкості різних видів дерев.

2. Імітація впливу сольових атмосферних опадів.

Гілочки різних видів дерев з однаковою кількістю листків вирівнюють шляхом зважування, витримують при повному зануренні в 5%-х розчинах NaCl і Na_2CO_3 упродовж 15, 30, 45 хв. Контрольні гілочки витримують у воді.

Для досліду потрібно не менше 4 гілочок кожного виду. Після цього зрізи швидко оновлюють і гілочки ставлять у воду (однакова кількість), закривають отвір станіолем. Через 1—2 тижні проводять оцінку стану рослин і визначають кількість поглинутої води. Доходять відповідних висновків.

3. Імітація поглинання рослинами ґрунтових засолених вод

Готують серії розчинів солей з концентраціями 1, 3, 5, 7, 10, 20%. Наливають однакову їх кількість у великі пробірки. Контролем слугує вода.

Гілочки рослин зважують, врівноважують підрізанням. Пробірки захищають від випаровування води станіолем. Умови досліду і зняття результатів аналогічні попереднім.

Яка сіль найбільше впливає на поглинання розчинів?

Яка рослина більше поглинає розчини?

Які рослини найстійкіші до дії солей?

Контрольні запитання

1. Що, на вашу думку, впливає на солестійкість рослин?

2. Назвіть основні причини засолення ґрунтів.

3. Які типи засолення ви знаєте?

5.16. Визначення фітотоксичності важких металів

Метали надходять у рослини з ґрунтовим розчином. У незначних кількостях (як мікроелементи) вони необхідні рослинам, оскільки входять до складу біологічно активних речовин — ферментів, вітамінів тощо, забезпечуючи нормальне функціонування рослин. Так, зокрема, молібден необхідний для азотфіксуючих бульбочкових бактерій, розміщених на коренях бобових культур. Значні ж концентрації важких металів негативно впливають на ріст і розвиток рослин, змінюючи навіть їхній зовнішній вигляд (розміри й форму стебла, листків, квітів, колір листків і квітів), що використовують у пошуках родовищ корисних копалин.

На думку О.Виноградова, макроелементи містяться в деревині у вигляді "повітряних мігрантів" (98,8%) — 70% O, 18% C, 10,5% H, 0,3% N; "водних мігрантів" (1,2%) — Ca, K, Si, Mo, P, S, Na, Cl, Fe (разом узяті). Мікроелементи (36 "водних мігрантів") становлять соті частки відсотка деревини.

Матеріали і реактиви: чашки Петрі для пророщування насіння; фільтрувальний папір; насіння кукурудзи; розчини солей важких металів: нітрати кадмію, плюмбуму, мангану з концентраціями 1,25 і 2,5 мкмоль/л.

Хід роботи

Насіння кукурудзи пророщують і ставлять рости на розчинах солей важких металів, заздалегідь вимірявши довжину корінців і стебел та пронумеровавши чашки Петрі. Контрольні рослини вирощують на дистильованій (або водопровідній) воді. Через тиждень повторюють вимірювання і заповнюють таблицю:

Характеристика рослин	Контроль	Розчин					
		$Pb(NO_3)_2$		$Cd(NO_3)_2$		$Mn(NO_3)_2$	
		з концентрацією, мкмоль/л					
		1,25	2,5	1,25	2,5	1,25	2,5
Довжина корінців							
Довжина стебла							

Будують криві росту корінців і стебел кукурудзи в розчинах солей різних металів залежно від їх концентрації. Чи є відмінності в рості рослин для різних металів?

Контрольні запитання і завдання

1. *Назвіть механізми токсичної дії металів на рослини.*
2. *Яким чином кислотні дощі можуть посилювати негативний вплив важких металів на рослини?*
3. *В якому вигляді важкі метали містяться в ґрунті і які чинники впливають на їх міграцію та доступність для рослин?*

Тварини

5.17. Життєві форми тварин

З метою пристосування до умов навколишнього середовища тварини виробили численні життєві форми: міцні зуби у хижаків; прудкі довгі ноги у тих, хто рятує своє життя втечею; крила у птахів для польоту; повітряні міхури та плавці у риб тощо.

Обладнання і матеріали: лупа, пінцет, лінійка, колекційний матеріал жуків-жужелиць.

Хід роботи

Аналіз життєвих форм жуків-жужелиць проводять, користуючись класифікацією Шарової (1981).

Для жуків виділяють два великих класи життєвих форм — зоофаги і міксофітофаги, різні типи живлення яких зумовлюють значні відмінності в загальному габітусі* тварин. Жуки-зоофаги — хижаки зі струнким тілом, довгастою головою, довгими мандибулами з гострим ріжучим краєм. Міксофітофаги живляться рослинною їжею, менш рухливі, мають овальне циліндричне тіло, короткі ноги, кулясту голову та масивні мандибули.

Жуки-жужелиці переважно зоофаги. Вирізняють 5 основних життєвих форм їх.

Фітобіонти — хижаки, що полюють у рослинному покриві. Вони характеризуються вузьким тілом і ногами, пристосованими до лазіння. Деякі види мають розширене тіло, подібно до жуків-листоїдів. Типові роди — Drypta, Lebiu, Odacantha.

Епігеобіонти — хижаки, що полюють на поверхні ґрунту, мають опукле тіло, значно склеротизований покрив, довгі, пристосовані до бігу, ноги. Типові роди — Carabus, Cicindela.

Стратобіонти — жуки, що мешкають у підстилці, тріщинах ґрунту, норах великих тварин, печерах. Ці жуки характеризуються сплющеним тілом і ногами, пристосованими до бігу. Типові роди — Calathus, Cymindis, Pterostichus.

Геобіонти — жуки, що живляться мешканцями ґрунту і пристосовані до риття (короткі масивні ноги з міцними шпорами та зубчастими гомілками). Тіло циліндричне, має перетяжку на рівні середньогрудинки. Голова велика. Типові роди — Broscus, Scarites.

Псамоколімбети — мешканці пісків з тілом округлої, опуклої, обтічної форми, що дає їм змогу зариватися в пісок і пересуватися в ньому. Ноги пристосовані до бігу та відгрібання. Типовий рід — Omophron.

---

* *Габітус (лат. хабітус — зовнішність) — зовнішній вигляд організму, сукупність ознак, що характеризують загальний тип будови тіла.*

Розглядають колекцію жуків, звертаючи увагу на морфологічні особливості та місце, де той чи інший екземпляр мешкає.

За результатами спостережень заповнюють таблицю:

Характеристика	Фітобіонти	Епігео-біонти	Страто-біонти	Геобіонти	Псамо-колімбети
Форма голови					
Форма тіла					
Форма ніг					
Розвиток мандибул					
Склеротизація покривів					
Забарвлення					
Представники в колекції					

Контрольні запитання і завдання

1. Назвіть основні екологічні чинники, до яких спостерігається морфологічна адаптація тварин.

2. Які основні морфологічні ознаки мають водоплавні птахи?

3. Які морфологічні ознаки характерні для тварин, зокрема комах, що живуть у ґрунті?

5.18. Аутекологічні дослідження тварин

На підставі спостережень у природі за певними видами тварин дають екологічну характеристику виду та описують його екологічну нішу.

Обладнання і матеріали: пристосування для спостереження та лову тварин: лупа, підзорна труба, фотоапарат, сачок, морилка, посуд для зберігання комах чи дрібних тварин, визначник тварин, блокнот, олівець, ручка.

Хід роботи

Проводять спостереження за певними видами водяних чи наземних членистоногих або дрібних ссавців і складають опис виду за схемою.

1. *Систематичне положення.* Дають повну назву і охарактеризовують систематичне положення виду. Наводять близькі за походженням види, а також ті, що мають морфологічну подібність і трапляються в цьому регіоні.
2. *Біологічні особливості виду:*
   - будова дорослої особини, характерні морфологічні ознаки, розмір, маса;
   - спосіб пересування;
   - спосіб живлення та чим живиться; морфологічні пристосування до цього типу живлення;
   - особливості розмноження, кількість нащадків;
   - особливості життєвого циклу (середня тривалість життя, наявність чи відсутність стадії личинки тощо);
   - особливості поведінки (як реагує на зовнішні подразники, як спілкується з особинами свого чи іншого виду).
3. *Умови місцеперебування виду:* середня температура, умови зволоження (на вологих чи сухих місцях трапляється), яке значення має освітлення (дані наводять на момент дослідження).
4. *Екологічні особливості виду:*
   - спосіб життя (окремо, зграями, сім'ями; денний чи нічний);
   - чисельність на досліджуваній місцевості;
   - види рослин на цій території, які рослини є кормом, схованкою тощо;

- види, що співіснують з досліджуваними; їх стосунки між собою; наявність чи відсутність виду-хазяїна, паразита, симбіонта;
- об'єкти конкуренції та ступінь конкуренції;
- положення виду в трофічних ланцюгах біоценозу; якщо можливо, оцінюють його біологічну продуктивність.

Роботу виконують упродовж усієї практики.

Контрольні запитання і завдання

1. *Що таке екологічна ніша?*
2. *Яке місце посідає досліджуваний вид тварин в екологічній піраміді?*
3. *Які екологічні чинники даної місцевості сприяють збільшенню чисельності досліджуваного виду тварин, а які перешкоджають?*

5.19. Екологічні функції дощових черв'яків

Усього налічується понад 180 видів дощових черв'яків. Біомаса земляних червів у Європі перевищує біомасу людей, що її населяють. Значення дощових черв'яків у забезпеченні родючості ґрунту важко переоцінити: вони поліпшують структуру ґрунту, сприяють проникненню вологи й повітря, збагачують його органічними та неорганічними сполуками. І не дивно, адже ходи черв'яків досягають глибини 1,5 м, а на 1 м^2 площі їх буває понад 1,5 тисяч; через травну систему земляних червів у ґрунті Європи пропускається від 6 до 84 т/га землі.

Чисельність дощових черв'яків у ґрунтах різних типів коливається в широких межах; найбільша вона в чорноземах.

1) Дощові черв'яки в процесах ґрунтоутворення.

Обладнання і матеріали: установка з дерев'яної рами і двох пластин віконного скла розміром 30х40 см *(рис. 5.2)*; 2—3 живих дощових черв'яки; 3—4 зразки ґрунту, бажано різного кольору (чорнозему, глинистого, піщаного тощо); кілька старих, частково згнилих листків дерев (крім дубових); невеликий шматок дротяної чи пластмасової сітки з дрібними вічками; кілька вантажиків (гирьок та ін.).

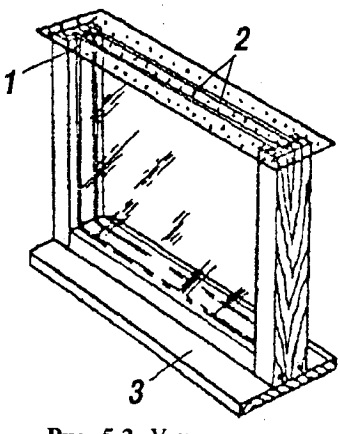


Рис. 5.2. Установка для вивчення участі дощових черв'яків у процесах ґрунтоутворення:
1 — сітка; 2 — скляні пластинки; 3 — дерев'яна рама

Хід роботи

Складають установку, як показано на *рис. 5.2*. На дно насипають рівномірний шар чорнозему завтовшки 5—10 см, а на нього такий самий шар глинистого ґрунту. Продовжують насипати різні шари ґрунту один на другий так, щоб вони чітко розрізнялися крізь скляні стінки установки. Останнім зверху насипають шар чорнозему. Залишають порожніми верхні 10 см установки. Всі шари ґрунту мають бути вологими.

Проводять олівцем-склографом на склі лінію, що позначає верхню межу верхнього шару ґрунту в установці.

Зверху кладуть кілька шматків старого напівзотлілого листя. Вміщують в установку 2—3 живих непоранених дощових черв'яки. Зверху установку накривають сіткою і притискають її вантажиками, щоб черв'яки не могли з неї вилізти.

Спостерігають за поведінкою черв'яків упродовж 10—20 хв. Занотовують свої спостереження в журнал.

Ставлять установку в темне місце за кімнатної температури на добу. Через 24 год занотовують такі зміни в установці:

- рівень поверхні ґрунту в установці порівняно з рискою, нанесеною на склі;
- об'єм ґрунту (зміна за добу);

- довжину ходів, прокладених черв'яками в ґрунті;
- перемішування ґрунту (перенесення його черв'яками з одного шару в інший);
- порівняння довжини ходів у кожному шарі ґрунту;
- що сталося зі шматками листя на поверхні ґрунту.

Дослід можна продовжувати ще кілька діб, спостерігаючи за змінами стану ґрунту в установці. Не слід забувати зволожувати поверхню ґрунту мірою його висихання.

2) Дощові черв'яки і рослини.

Обладнання і матеріали: високий прямокутний акваріум, лист фанери, ґрунт з високим вмістом перегною та опалим листям, 10—12 дощових черв'яків, насіння квасолі, скляні лійки, етикетки з назвою дослідів.

Хід роботи

В акваріум вставляють лист фанери, щоб вона щільно прилягала до протилежних стінок акваріума, розділяючи його на дві половини. В обидві половини насипають приготовлений ґрунт.

На поверхні ґрунту в одній частині випускають дощових черв'яків і обережно присипають їх шаром ґрунту завтовшки 7—8 см. Роблять в обох частинах акваріума ямки завглибшки 4—5 см, зволожують їх, садять по кільку квасолин і загортають. Ставлять таблички з написами "Ділянка з дощовими черв'яками" і "Контрольна ділянка".

Систематично спостерігають за ростом і розвитком рослин і станом ґрунту, заносячи дані в таблицю. Періодично зволожують ґрунт.

Порівнюють результати обох дослідів і доходять висновку.

Дата спостережень	Інтенсивність діяльності дощових черв'яків	Вплив копролітів на ріст і розвиток квасолі

З'ясовують, які чинники діяльності дощових черв'яків сприяли поліпшенню умов росту квасолі: розпушування землі, поліпшення газо- і водопроникності ґрунту, збагачення його поживними речовинами тощо.

Контрольні запитання і завдання

1. *Які функції виконують черви у забезпеченні родючості земель?*
2. *Які ґрунти — чорноземи, глинисті, піщані — найбагатші на дощових червів? Чим живляться дощові черв'яки?*
3. *Як впливають дощові черв'яки на газовий і водний режими ґрунту?*

5.20. Оцінка якості бджолиного меду. Бджоли як біоіндикатор стану довкілля

Мед — це продукт переробки комахами — бджолами нектару квіткової рослини або паді. Збираючи нектар і пилок, бджола запилює рослини, дістаючи за це їжу, якою ділиться і з людиною. В обніжжі, яке бджола приносить до вулика за один раз (16—25 мг), знаходиться 3—4 млн пилкових зерен. Нектар містить воду, фруктозу, глюкозу, невеликі кількості органічних кислот, ефірних олій, азотовмісних сполук, мінеральних речовин тощо*. Кож-

* *До складу пилку входять протеїни, амінокислоти, вуглеводи, вітаміни (B_1, B_2, PP, C, пантотенова та фолієва кислоти, біотин), глікозиди (рутин), антибіотики, стимулятори росту.*

на квітка неповторна за хімічним складом пилку й нектару, тому бджола, перелітаючи з квітки на квітку, щоразу збагачує свою продукцію поживними речовинами і мікроелементами, роблячи її особливою.

Мед — один із найцінніших харчових продуктів, здавна його використовують з лікувальною метою. У меду гинуть дизентерійна та кишкова палички, стрептококи й стафілококи. Медом гоять рани. Властивості меду залежать від квітів, з яких зібраний нектар, тому й мед відрізняється за густиною, кольором, запахом, смаком: прозорий, як вода, — ожиновий; темно-коричневий, найбагатший на білки й ферум, — гречаний; золотистий з ніжним запахом — лавандовий; дуже густий, білуватий з тонким ароматом і приторний на смак — ріпаковий.

Одна квітка софори японської виділяє 0,8—1,0 мг цукру з нектаром, з одного дерева бджола може зібрати до 15 кг меду, медоносність 72—300 кг/га; 1 га білої акації дає 200—500 кг меду, а в найсприятливіші роки — до 1 тис. кг; медопродуктивність соняшнику — 30—75 кг/га, фацелії — 180—1500 кг/га (одна квітка фацелії квітне 1—2 дні і виділяє від 0,15 до 15 мг нектару, даючи світло-зелений з ніжним запахом і смаком мед).

Зважаючи на це, збирачі меду — бджоли — можуть бути екологічними індикаторами. За хімічним складом золи меду і перги можна виявити уранові руди. Мед часто фальсифікують, тому добре самому вміти визначати його якість та біологічну активність.

Обладнання і реактиви: пробірки, мірні циліндри на 10 мл, скляні палички, ложечки, шпателі, хімічний олівець, фільтр, папір, лійки, предметні стекла і покривні скельця, лічильна камера, мікроскоп, проби меду, дистильована вода, 5%-й розчин йоду, ацетатна та хлоридна кислоти, етанол, розчин $AgNO_3$ С = 0,1 моль/л; діетиловий ефір; 1%-й розчин резорцину; розчин гліцерину з желатином, основний фуксин, 10%-й розчин меду.

Хід роботи

1. Визначення механічних домішок у меду

У пробірку наливають 2 мл меду, доливають 5 мл дистильованої води. Мед розчиняється, а домішки осідають на дно або спливають на поверхню.

2. Визначення домішок борошна або крохмалю

У пробірку до 2 мл меду і 5 мл дистильованої води додають розчин йоду. За наявності домішок борошна чи крохмалю розчин забарвлюється в синій колір.

3. Визначення домішки крейди

До водного розчину меду додають кілька крапель ацетатної кислоти або оцту. За наявності крейди мед піниться (виділяється CO_2).

4. Визначення домішки крохмальної патоки

До водного розчину меду (1:2 чи 1:3) додають 96%-й етанол. За наявності патоки розчин набуває молочно-білого кольору, а після відстоювання на дні залишається напіврідка маса декстрину. За відсутності патоки розчин стає прозорим, а на межі мед—спирт утворюється невелика каламуть, яка при збовтуванні зникає.

5. Визначення домішки цукрового сиропу

До 10%-го розчину меду додають $AgNO_3$ або ляпіс. Поява білого осаду свідчить про наявність домішок.

6. Визначення домішки інвертного цукру (реакція Саліванова)

До 5 г меду додають ефір (для зв'язування фруктози). Ефірний розчин профільтровують у фарфорову чашку, випарюють і до залишків додають 1%-й свіжоприготовлений розчин резорцину в концентрованій хлоридній кислоті. Поява оранжево-вишнево-червоного забарвлення свідчить про наявність інвертного цукру.

7. Визначення зрілості меду

Набирають на ложечку мед і обертають її навколо своєї осі. Зрілий мед намотується на ложечку і стікає з неї безперервними нитками; незрілий просто стікає з ложечки. Визначення слід проводити при 20^0 С, оскільки температура впливає на густину меду.

8. Визначення вологості меду (до 21,5% за стандартом)

Наносять краплю меду на папір і занурюють у нього хімічний олівець. Якщо утворюється чорнильна пляма, то вологість меду висока, якщо ні — мед добрий.

Контрольні запитання і завдання

1. Чому бджола може бути екологічним індикатором?

2. Що таке біотестування: тест-об'єкт, тест-реакція, тест-функція, критерій токсичності?

3. Які вимоги висувають до живих організмів з метою використання їх як індикаторів стану навколишнього середовища?

Мікроорганізми

Бактерії — це доядерні організми (прокаріоти), які разом із синьозеленими водоростями (ціанобактеріями) утворюють царство дроб'янок. Більшість із них одноклітинні, але є і нитчаті. Довжина бактерій 1-10 мкм, ширина — 0,2-1 мкм.

За формою бактерії поділяють на коки (кулясті), палички (бацили), вібріони (мають форму коми), спірили (спірально вигнуті палички).

За характером живлення бактерії є

- *автотрофні*, які синтезують органічну речовину з неорганічної в процесі фотосинтезу **(фототрофні)** — пурпурні і сірі сіркобактерії та хемосинтезу **(хемосинтетики)** — нітрифікуючі, залізо- та сіркобактерії;
- *гетеротрофні*, що споживають готову органічну речовину, яких, в свою чергу, поділяють на **сапрофітів** (живляться органічними рештками відмерлих організмів); **паразитів** (живуть за рахунок живих організмів) та **симбіонтів** (здатних до симбіозу з вищими рослинами, наприклад, азотфіксуючі бактерії).

За стосунком до кисню бактерії поділяють на *аеробів*, які для дихання використовують кисень повітря, та *анаеробів* — живуть і розмножуються в середовищі, позбавленому кисню; продуктами їх життєдіяльності можуть бути етиловий спирт, оцтова та молочна кислоти тощо.

Бактерії існують в усіх середовищах, пристосувалися до життя в різних умовах. Ціанобактерії використовують CO_2 для фотосинтезу, O_2 для дихання, N_2 — як азотфіксуючі організми. Вони виявлені через кілька діб в епіцентрі вибуху після випробування ядерної зброї.

В 1 г грунту кількість бактерій досягає сотень мільйонів і навіть кількох мільярдів; в 1 мл води — від 5 до 100 тисяч бактеріальних клітин; в 1 мм^3 закритого приміщення — до 30 тисяч; на шкірі людини — від $85 \cdot 10^6$ до $1212 \cdot 10^6$ екземплярів; з фекаліями дорослої людини щодня видіяється 18 мільярдів ($18 \cdot 10^9$) бактерій.

Мікрорганізми завдяки своїй деструкційній здатності можна назвати санітарами на нашій планеті: вони знешкоджують відходи, забезпечують родючість землі, допомагають людині в багатьох технологічних процесах (виноробство, хлібопекарство, вилучають метали з бідних руд та вуглеводні з нафтових свердловин), лікують.

Для розмноження мікроорганізмів використовують різні живильні середовища, які класифікують

за походженням:

- природні (з молока, яєць, сироватки, крові, жовчі);
- штучні (з настоянок рослин, відварів м'яса з додаванням солей, вуглеводів, сполук нітрогену);
- синтетичні (з хімічно чистих речовин: солей, вуглеводів, амінокислот, вітамінів у певних співвідношеннях);

за призначенням:

- звичайні (м'ясо-пептонний) — для більшості мікроорганізмів;
- спеціальні — для вирощування окремих видів (середовище Чапека для грибів);
- селективні — для одного виду, в яких інші види не існують (середовище Виноградського для більшості мікроорганізмів грунту).

5.21. Екологічні функції мікроорганізмів у ґрунті

1. Сумарна біологічна активність ґрунту

Напрям мікробіологічних процесів у ґрунті можна проаналізувати, визначивши стан окремих мікроорганізмів (дані про дихання ґрунту, його нітрифікаційну здатність, дегідрогеназну активність). Останнім часом біологічну активність ґрунту визначають за кількістю амінокислот, що синтезуються на льняному полотні, вміщеному в ґрунт: чим більше утворюється амінокислот, тим вища активність мікрофлори ґрунту.

Утворення амінокислот і білків відбувається в результаті метаболізму мікроорганізмів, здатних розщеплювати целюлозу, і сапрофітної мікрофлори. Наявність амінокислот встановлюють з допомогою хроматографічних проявників: нінгідрину, бромфенолового синього тощо, а їх кількість — колориметрично.

Обладнання і реактиви: скляні пластини розміром 10х50 см; біла льняна тканина або батист; гумові рукавиці; 0,5%-й розчин нінгідрину; бромфеноловий синій (1 г реактиву розчиняють у 250 мл дистильованої води); 0,2%-й розчин ацетатної кислоти; 75%-й розчин етанолу; 10%-й розчин ізопропанолу; хромова суміш.

Хід роботи

Скляні пластини, добре вимиті в хромовій суміші, обтягують тканиною. Потім їх вертикально встановлюють у ґрунт так, щоб тканина щільно прилягала до рівної вертикальної поверхні ґрунтового розрізу, викопаного на глибину 50 см. З другого боку пластини засипають ґрунтом (підготовку скла до аналізу, обтягування його полотном та інші операції виконують у гумових рукавицях).

Через певний час (5, 10 або 15 діб) пластини виймають з ґрунту, тканину знімають і вирізають з неї ту частину, що контактувала з поверхнею ґрунтового розрізу. Вирізану смугу тканини з прилиплим до неї ґрунтом добре просушують на повітрі і тільки після цього очищають від ґрунту чистою щіткою.

Висушену й очищену від ґрунту тканину обприскують 0,5%-м розчином нінгідрину в ацетоні і знову висушують за кімнатної температури впродовж 24 год. Проявляються плями амінокислот.

Другу висушену смугу тканини обприскують водним розчином бромфенолового блакитного — вся смуга синіє. Далі тканину занурюють у 0,2%-й розчин ацетатної кислоти, після чого тло залишається блідо-блакитним, а білкові плями набувають темно-блакитного забарвлення.

Для точнішого уявлення про інтенсивність забарвлення окремих шарів полотна, проявленого нінгідрином, користуються колориметричним методом. Для цього тканину розрізають на смуги, розміри яких відповідають окремим глибинам орного шару. Потім ці смуги обробляють 75%-м етанолом до повного знебарвлення. Екстракт розбавляють до певного об'єму і встановлюють відносну інтенсивність забарвлення витяжок, взятих з однакових смуг тканини. За 100 беруть забарвлення полотна, що відповідає шару 0—10 см.

Можна проводити також ідентифікацію амінокислот, які нагромаджуються в окремих плямах полотна. Для цього смуги тканини після їх очищення розрізають на клапті однакової маси і площі. Кожний клапоть подрібнюють і екстрагують 20—30 хв 75%-м етанолом. При слабкому нагріванні феном спирт випаровується, сухий залишок розчиняють у 10%-му ізопропанолі. Далі визначення проводять методом паперової хроматографії.

2. Розкладання органічних решток

Джерелом органічної речовини в ґрунті є розкладання рослинних і тваринних решток ґрунтовими мікроорганізмами (бактеріями, грибами тощо). Швидкість цього процесу залежить від кількості й видів мікроорганізмів у ґрунті, фізичних умов (температури, вологості, вмісту повітря тощо), а також складу органічних решток, що потрапляють у ґрунт.

Обладнання і матеріали: 12 глиняних горщиків для кімнатних рослин діаметром 5 см; 6 чашок Петрі з кришками діаметром 4 см; велика таця або пластмасова фотокювета розміром 30х20х5 см; гравій; пісок; ґрунт, багатий на органіку (чорнозем); рослинні рештки (листя,

суха трава, тирса тощо); тваринні рештки (шматочки м'яса, мертві комахи); харчові залишки (сухий хліб, варена картопля, каша), шматочки тканин (з природних матеріалів — вовни, бавовни — і синтетичних волокон — нейлону, поліестеру, капрону), поліетилен.

Хід роботи

Насипають трохи гравію на дно кожного горщика, наповнюють горщики піском (на 2 см нижче від верхнього краю), пісок ущільнюють. Так само наповнюють інші 6 горщиків чорноземом. На поверхню піску або чорнозему кладуть зразки (рослинні й тваринні рештки, шматочки тканин тощо). Накривають кожен горщик чашкою Петрі або її кришкою, втиснувши її краї в ґрунт на кілька міліметрів. Ставлять усі горщики на тацю (в кювету) і наливають у неї води шаром близько 3 см. Регулярно додають воду після її висихання впродовж проведення досліду.

Встановлюють тацю в темне місце за кімнатної температури. Протягом 8 тижнів регулярно (кожні 5 днів) оглядають стан матеріалів, покладених у горщики. Час від часу перевіряють міцність природних і штучних волокон тканин, що знаходяться в горщиках. Фіксують у журналі всі зміни, що відбуваються з матеріалами.

Які з досліджуваних вами зразків розкладаються найшвидше, які — найповільніше? Чи є такі матеріали, що зовсім не розкладаються?

Чи відрізняється швидкість розкладання матеріалів у горщиках з піском і з чорноземом? Яких висновків можна дійти на підставі цього?

3. Азотфіксуючі бактерії і родючість ґрунту

Для забезпечення родючості ґрунту одним із необхідних макроелементів є нітроген. Незважаючи на те, що в повітрі об'ємна частка азоту становить 78%, рослини не здатні його засвоювати; вони споживають цей хімічний елемент з ґрунтового розчину у вигляді солей амонію та нітратів.

Фіксація азоту з повітря здійснюється переважно біологічним шляхом і лише незначна кількість (менш як 35 мг/м^3) — у результаті процесів в атмосфері — електричних розрядів і фотохімічних реакцій.

Нітроген вступає в колообіг через кореневу систему рослин або за допомогою симбіотичного зв'язку через бактерії, гриби, синьозелені водорості, здатні фіксувати атмосферний азот.

Азотфіксуючі бактерії розміщуються і на коренях бобових, збагачуючи ґрунт азотовмісними сполуками, тому бобові культури — чудові попередники, особливо на бідних ґрунтах.

Обладнання і матеріали: мікроскоп; предметні стекла і покривні скельця для мікрооб'єктів; 9 невеликих горщиків для кімнатних рослин, наповнених ґрунтом одного складу; автоклав або піч, здатна розвивати температуру до 100—105° С; барвник метиленовий синій; кілька живих рослин конюшини, обережно викопаних із ґрунту разом з корінням; нітрат натрію; насіння конюшини, вимочене у воді впродовж 24 год.

Хід роботи

Обережно миють водою коріння рослин конюшини, звертаючи увагу на бульбочки на коренях. Це — колонії азотфіксуючих бактерій, що живуть у симбіозі з бобовими рослинами. Відривають кілька бульбочок і розчавлюють їх між двома предметними стеклами. Вміщують тонкий шар розчавленої бульбочки в краплю води на предметному склі. Накривають його покривним скельцем. Наносять піпеткою краплю барвника метиленового синього на край покривного скельця. Спостерігають під мікроскопом за великого збільшення забарвлені азотфіксуючі бактерії.

Стерилізують горщики з ґрунтом в автоклаві або печі. У три горщики додають по 2 г нітрату натрію (азотне добриво). Позначають ці горщики.

Розтирають у ступці 6 бульбочок, відірваних від коренів конюшини. Розбавляють цю масу водою. Додають отриману суспензію порівну в три інших горщики і позначають їх. Три горщики, що залишились, позначають як контрольні. В усі дев'ять горщиків висівають однакову кількість насіння конюшини, вимоченого у воді. Спостерігають за ростом рослин у горщиках упродовж 2 тижнів і фіксують результати спостережень у журналі.

Чи є відмінності у розвитку сіянців у горщиках трьох груп?

В якій групі конюшина почувається найкраще?

Контрольні запитання і завдання

1. Які мікроорганізми населяють ґрунт і які функції вони виконують?

2. Які мікроорганізми ґрунту є учасниками колообігу нітрогену?

3. Чому бобові культури є гарними попередниками зернових?

5.22. Мікроорганізми і фітонциди рослин

Рослини, крім вуглекислого газу і води, виділяють у повітря численні сполуки: фітонциди, ефірні олії, альдегіди, кетони, органічні кислоти, спирти, прості та складні ефіри тощо. Взаємодіючи між собою, з компонентами атмосферного повітря та забруднювальними речовинами, ці сполуки сприяють очищенню атмосфери.

Рослини, завдяки виділенню в повітря і ґрунт численних сполук, створюють сприятливі умови для свого існування: знищують хвороботворні бактерії, пригнічують ріст рослин-сусідів чи поліпшують, коли вони їм корисні. Цю здатність рослин люди помічали здавна і вміли її використовувати, добираючи рослини-сусіди для забезпечення гарних врожаїв, збереження запасів зерна, боротьби з хворобами рослин.

Явище взаємовпливу рослин називається *алелопатією*. Але рослини виробили і низку пристосувань, як механічних (колючки, волосинки тощо), так і хімічних (накопичення токсичних та гірких речовин, які відлякують травоїдних тварин і охороняють себе від винищення).

Ось кілька прикладів.

Біля грецького горіха погано ростуть інші дерева, про що писав ще Теофраст, якого називають батьком ботаніки.

Конвалії пригнічують у букеті інші рослини.

Небажано поряд саджати (або використовувати як попередник) близькоспоріднені культури, наприклад томати і баклажани, оскільки вони мають одні і ті самі хвороби, страждають від одних шкідників.

Добре сусідять морква і цибуля, кукурудза і огірки, чорнобривці і клубника, томати і смородина.

Не варто саджати біля вікна вишню — її листки виділяють синільну кислоту.

Запах чорнокореня і бузини відлякує мишей, тому раніше ними обсаджували клуні, де зберігали збіжжя.

Обладнання і матеріали: бактерицидна лампа; термостат; термометр; пінцет; чашки Петрі; водяна баня; спиртівка; піпетки; олівець по склу; пробірки з м'ясо-пептонним агаром або іншим живильним середовищем; шпатель; молоді пагони хвойних дерев або тополі бальзамічної, поставлені у воду; листки рослин у період їх активної вегетації; стерильні стаканчики з кришками (на 100 мл) або банки; годинникове скло або станіоль, довгий пінцет. Весь посуд стерилізують.

Хід роботи

В лабораторії попередньо проводять вологе прибирання і стерилізацію бактерицидною лампою впродовж 15—20 хв. М'ясо-пептонний агар після автоклавування швидко розливають з пробірок у чашки Петрі. Перед виливанням суміші краї пробірки обпалюють у полум'ї спиртівки. Живильне середовище розподіляють рівним шаром, обережно нахиляючи чашку Петрі в різні боки. Дають охолонути і ущільнитися агару.

1. Визначення кількості мікроорганізмів у повітрі

Відкривають чашки Петрі рівно на 5 хв у забрудненому приміщенні (чашка №1), у лабораторії (чашка №2), у гущі хвої або листя чи на вулиці (чашка №3). Закривають чашки Петрі, перевертають живильним середовищем догори (щоб на агар не капала вода, яка конденсується на кришці) і ставлять в термостат за температури +25° С.

2. Вплив летких виділень рослин на мікроорганізми

Готують дві чашки Петрі з живильним розчином, витримують 5 хв у приміщенні з великою кількістю мікроорганізмів і закривають кришками. Нарізають і швидко розтирають у ступці з товченим склом 1 г молодих листків або бруньок рослин з великою фітонцидною активністю (хвоя, листя черемхи, тополі, горобини). Якщо листя чи хвоя не дуже соковиті, додають таку саму кількість стерильної води. Після розтирання листки швидко переносять шпателем у велику кришку чашки Петрі, розподіливши рівномірно по дну. Вміщують на чашку з рослинною кашкою перегорнуту чашку з агаром і посівом мікроорганізмів забрудненого повітря, витримують упродовж 30—40 хв. Закривають чашки кришкою, перегортають і ставлять у термостат при +25° С. Через 1—2 тижні підраховують кількість колоній, які виросли в чашці.

В обох варіантах (№1 і №2) вимірюють площу чашки і визначають кількість мікроорганізмів у повітрі, виходячи з того, що за 50 хв на 1 дм² горизонтальної поверхні за відсутності вітру осідає стільки мікроорганізмів, скільки їх міститься в 10 л повітря.

Доходять висновку про ступінь забрудненості повітря мікроорганізмами в досліджуваних приміщеннях і вплив на цей процес фітонцидної активності різних рослин відповідно до того, що санітарна норма — 11 тис. мікроорганізмів на 1 м³ повітря. Результати вносять у таблицю:

Місце відбору повітря	Кількість колоній, що виросли	Площа чашки, дм²	Кількість мікроорганізмів	
			у 10 л повітря	у 1 м³ повітря
Забруднене приміщення				
Лабораторія				
Вулиця				
Хвойний ліс				
Повітря під впливом фітонцидів листя тополі бальзамічної (черемхи, горобини)				

Обчислюють зменшення кількості мікроорганізмів внаслідок стерилізації повітря ультрафіолетовим випромінюванням у відсотках.

3. Антимікробні властивості листків різних рослин

У стаканчики наливають однаковий об'єм дистильованої води (контроль), в інші стаканчики — також дистильовану воду, але розбавлену на 1/3 водою із ставка, водосховища, річки з повільною течією, забрудненою органічними речовинами. У разі сильного забруднення розбавляння потрібно збільшити.

Відносно однакові маси зелених листків різних рослин (зірваних безпосередньо перед дослідом із дерев або із заздалегідь поставлених у воду гілочок тополі бальзамічної, липи, верби, берези, ясеня) зважують і кладуть у стерильні стаканчики з аналізованою водою, прикривають кришками або станіолем, вміщують у темне місце з температурою 18—20° С. Упродовж тижня і більше спостерігають за станом листя. Розкладання тканин листків (а значить, і зниження їх біологічної активності) видно за руйнуванням хлорофілу, побурінням (можна подивитися на світло), зменшенням міцності листкової тканини.

Складають ряд витривалості різних видів рослин до розкладання у воді, що зумовлено їх антимікробними (фітонцидними) властивостями.

Контрольні запитання і завдання

1. Які види рослин найбагатші на фітонциди?

2. Чому по сусідству з грецьким горіхом погано ростуть інші дерева?

3. Чому багато санаторіїв для хворих на легені розміщені в соснових борах?

5.23. Біотестування залишкової токсичності рослин

Метод біотестування дає змогу визначити залишки пестицидів та інших токсикантів у біологічному матеріалі, воді та ґрунті. Класичним і зручним для спостереження об'єктом є плодова муха (дрозофіла), яка добре розмножується на живильному середовищі, має короткий (9—12 діб) цикл розвитку.

Обладнання та матеріали: пробірки; компоненти середовища для живлення мух (манна крупа, ізюм чи інші сушені фрукти, дріжджі, агар-агар або желатин, пропіонова кислота-антисептик); плодова муха. Приготування *середовища* і *культури мухи-дрозофіли:*
В 1 л киплячої води вливають попередньо розведені дріжджі (50 г) і додають 36 г манної крупи. 40 г ізюму миють, ріжуть на дрібні шматочки та розтирають із невеликою кількістю цукру у фарфоровій ступці. 6 г агар-агару попередньо заливають водою до стану набрякання, кип'ятять до повного розчинення, виливають у склянку із сумішшю і доводять до готовності під час кип'ятіння. Розтертий ізюм кидають у киплячу суміш, додають підготовлений агар-агар і при безперервному перемішуванні доводять до готовності.
Отриману суміш охолоджують до 75° С, додають 0,1 мл пропіонової кислоти і розливають у пробірки, де вона повністю охолоджується.
На холодну суміш у пробірки наносять суспензію дріжджів (5 г дріжджів змішують з 50 мл води) і через 24 години підсаджують туди мух. Пробірки закривають (не дуже щільно) ватою і залишають у такому стані на 3 доби, після чого з пробірок видаляють вихідних мух, а імаго (молодь) нового покоління використовують для подальших досліджень.

Хід роботи

Беруть рослини, що вирощувалися на обробленій пестицидами ділянці. Для експерименту необхідно 100 г "середньої проби" (суміш тканин кількох рослин), розтертої до однорідної маси, в яку додають 10 г яблучного пюре.

Виготовлена таким чином паста наноситься на дно та стінки циліндричних склянок (об'єм 100 мл) по 10 г в кожну. Склянки ставлять догори дном на лист фільтрувального паперу (щоб запобігти герметизації) і підсаджують в них мух одноденного віку.

Контролем слугують мухи, що живуть у склянці з чистим (без рослинної маси) яблучним пюре. Через 1—2 доби рахують кількість загиблих комах (у % до контролю).

Рівень залишкової токсичності досліджуваного рослинного матеріалу визначають наближено за п'ятибальною шкалою:

1 бал — рослини містять *надзвичайно велику кількість* пестицидів (всі дослідні комахи гинуть менше ніж за 24 години);
2 бали — рослини містять *велику кількість* пестицидів (гине 100% комах упродовж 2 діб);
3 бали — рослини містять *підвищену кількість* пестицидів (гине 70% комах);
4 бали — рослини містять *мало* пестицидів (гине не більше 30% комах);
5 балів — рослини *умовно вільні від пестицидів* (кількість дослідних комах не відрізняється від контролю).

Контрольні запитання і завдання

1. *Які типи пестицидів вам відомі?*
2. *Назвіть напрями розроблення нового покоління засобів боротьби із захворюваннями та шкідниками сільськогосподарських культур.*
3. *Чим зумовлений вибір тест-об'єктом визначення токсичності рослин мухи-дрозофіли?*

Розділ 6

ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ ДОВКІЛЛЯ

6.1. Екологічний стан ділянки території

Кожна територія має свої екологічні умови. Залежно від об'єкта, розташованого на окремій ділянці території (школа, лікарня, промислове підприємство, житловий масив тощо), до екологічних умов навколишнього середовища висувають різні вимоги.

Від місцезнаходження ділянки житлового будинку, школи, дитячого садка залежить самопочуття, працездатність, настрій людей, які там перебувають. Прикладом об'єкта з високими вимогами до якості довкілля є школа. Оскільки школи часто розташовані в центрі міста, поблизу пожвавлених автомагістралей чи промислових підприємств, дуже важливо правильно спланувати їх територію, щоб зменшити вплив негативних чинників і створити сприятливий мікроклімат.

Виконання цієї роботи навчить не лише проводити дослідження екологічного стану певної території, а й знайти реальний шлях для його поліпшення.

1. Планування ділянки

Обладнання і матеріали: компас, рулетка, міліметровий папір, блокнот, ручка.

Хід роботи

Складають карту мікрорайону з близько розташованими житловими будинками, промисловими підприємствами, гаражами, автостоянками, скверами, озерами тощо. Позначають відстані від школи до найближчих об'єктів.

Складають карту пришкільної ділянки, зазначивши розташування приміщення школи, господарських будівель, спортивної зони; результати заносять до ***табл. 6.1.***

Таблиця 6.1. **Санітарно-гігієнічні норми при забудові**

Проведені вимірювання	Одержані результати	Відстань за санітарно-гігієнічними нормами не менше, м
Відстань від межі школи до промислових підприємств, магазинів, підприємств побуту		50
Відстань від школи до житлових будинків		10
Відстань від школи до автостради		25 (оптимальна 100)

Обробка результатів і висновки

1. Аналізують планування пришкільної ділянки та її відповідність санітарно-гігієнічним нормам, використовуючи додаткові дані:

   спортивний майданчик має бути розміщений у глибині ділянки і відділятися від вікон учбових приміщень смугою зелених насаджень;

   господарська зона має бути розміщена з боку входу у виробничі приміщення їдальні і мати окремий в'їзд із боку вулиці.

2. Вносять пропозиції щодо шляхів поліпшення екологічної ситуації пришкільної ділянки.

2. Вивчення зеленої захисної зони ділянки

Обладнання: рулетка, блокнот, ручка.

Хід роботи

Вимірюють рулеткою показники зеленої зони і заносять їх у ***табл. 6.2***; умовними позначеннями відзначають на карті пришкільної ділянки та мікрорайону зелені насадження і газони.

Таблиця 6.2. **Санітарно-гігієнічні норми при озелененні території**

Показник	Результати вимірювань	Санітарно-гігієнічні норми не менше, м
Ширина захисної смуги з дерев і кущів		
на межі території		1,5
з боку автомагістралі		6
Площа дерев і кущів по периметру крон, що припадає на одного учня (включно з розташованими неподалік парками, скверами та ін.), м^2		50
Відстань від школи до дерев, м		10
Відстань від школи до кущів, м		5
Відстань між вузьколистими деревами, м		5—6
Відстань між широколистими деревами, м		8—10
Кількість дерев на 1 га (100 × 100 м)		90—150

3. Вивчення видового складу рослинності ділянки

Обладнання і матеріали: визначник рослин, кілочки, шпагат, лінійка завдовжки 1 м.

Хід роботи

Визначають видовий склад дерев і кущів.

Вибирають кілька майданчиків розміром 1×1 м і визначають видовий склад рослин та загальну кількість видів. Описують стан газонів, клумб, дерев на пришкільній ділянці.

1. Доходять висновку про правильність добирання зелених насаджень за видовим складом, враховуючи, що:

   найстійкішими до забруднення повітря є тополя, верба біла, клен американський, акація біла, бузок, береза бородавчаста, барбарис тощо;

   добрими поглиначами свинцю на узбіччі доріг є акація жовта, липа, береза;

   за літній період на листовій поверхні однієї дорослої рослини осаджується пилу, в кг: верби — до 38, тополі канадської — до 34, клена — до 33, ясеня — до 27, в'яза шорсткого — до 23, бузку — до 1,6, акації — до 0,2.
2. Доходять висновку щодо видової різноманітності трав'яного фітоценозу, якщо на суходольному лузі трапляється до 250 видів рослин.
3. Вносять пропозиції щодо поліпшення планування пришкільної ділянки.
4. Навесні здійснюють екологічну акцію, спрямовану на поліпшення умов відпочинку на пришкільній ділянці.

4. Вивчення запиленості повітря на ділянці

Обладнання: прозора клейка стрічка, листя дерев, папір.

Хід роботи і висновки

Збирають листя з різних ділянок пришкільної території і на різній висоті (в глибині зеленої зони, поблизу автомагістралі, житлових будинків тощо).

Прикладають до поверхні листків прозору клейку стрічку.

Знімають плівку з шаром пилу і наклеюють її на аркуш паперу. Порівнюють відбитки за ступенем запиленості і роблять висновки.

5. Визначення шумового забруднення території

Обладнання: шумометр, рулетка, записник, ручка.

Хід роботи і висновки

Визначають шумометром рівень шуму на пришкільній території з боку житлового масиву, автомагістралі, школи.

Згідно з чинним у світі та в Україні стандартом, рівень шуму, що створюється автотранспортом (акустична характеристика) визначається шумометром на відстані 7 м від першої (ближньої) до розрахункової точки смуги транспортного потоку.

Якщо такого пристрою немає, то для наближеного визначення рівня шуму на вказаній відстані (V_7) користуються формулою Орнатського, яка враховує фізичні закони поширення звукових хвиль у навколоземному просторі:

$$V_7 = 46 + 11{,}8 \lg N + \Sigma n,$$

де N — інтенсивність руху транспортного потоку, авто/год; Σn — сума поправок, яка враховує відхилення умов від типових; поправки визначаються за формулою:

$$\Sigma n = \pm X_N + X_V \pm X_i + X_{тр},$$

де X_N — поправка на співвідношення громадського та вантажного транспорту в транспортному потоці (збільшується на 1 дБ на кожні 10% відхилення від 60%-го співвідношення); X_V — поправка на відхилення швидкості руху (зростає на 1 дБ на кожні 10% відхилення від 40 км/год.); X_i — поправка на схил дороги (зростає на 1 дБ на кожні 2% схилу дороги), можна визначити за ***табл. 6.3***; $X_{тр}$ — за наявності трамваю вподовж вулиці ця поправка становить +3 дБ.

Розраховують рівень шуму від автомагістралі на відстані, що нас цікавить (V_n), за формулою Карагодіна:

$$V_n = V_7 - X_1 - X_2 - X_3 - X_4,$$

де V_n — рівень шуму від джерела на відстані, що цікавить (n метрів); V_7 — рівень шуму на відстані 7 м від джерела; X_1 — зниження шуму внаслідок поширення звукових хвиль в атмосфері; X_2 — зниження шуму під впливом земної поверхні; X_3 — зниження шуму під впливом зелених насаджень; X_4 — поглинальний ефект будівель (умовно приймається за 25 дБ).

Наприклад, на відстані 100 м (P_{100}) рівень шуму знизиться на величину X_1:

$$X_1 = 10 \cdot \lg \frac{P_{100}}{P_7} = 10 \cdot \lg \frac{100}{7} = 11{,}5,$$

де P_{100} — точка за 100 м від джерела; P_7 — точка за 7 м від джерела (тобто, нормативна точка вимірювання шумовимірювачем).

$$X_2 = K_п \cdot X_1,$$

де $K_п$ — коефіцієнт поглинання шуму, який дорівнює для асфальту 0,9, для відкритого ґрунту — 1, для газону — 1,1.

$$X_3 = K_3 \cdot X_1,$$

де K_3 — коефіцієнт зниження звукової енергії зеленими насадженнями, що становить 1,2 смуги з двох рядів дерев з чагарником середньої щільності та шириною 6 і 1,5 м — для тієї самої смуги з чагарником і деревами, що мають висоту не менше 7 м і крони яких уже зімкнулися.

З практичних обставин у годину "пік" рівень шуму становить на відстані 7м (V_7) від краю дороги близько 80 дБ, а тому в нашому прикладі розрахований рівень шуму (V_n) дорівнюватиме на відстані 100 м від дороги:

$$V_{100} = 60 - 11{,}5 - 11{,}58 - 3{,}25 - 25 = 17{,}75 \text{ дБ}.$$

Отримана величина (17,75 дБ) не перебільшує на вказаній відстані допустимий у денні часи рівень шуму (35 дБ) поблизу житлових будинків (***табл. 6.4***). Якщо шумове забруднення вище допустимого, то результати розрахунків можуть бути підставою для прийняття рішень щодо озеленення території чи вжиття інших шумозахисних заходів.

Таблиця 6.3. **Поправка X_1 на схил дороги, дБ**

Схил вподовж дороги, %	Поправка X_1 з урахуванням схилу дороги при даному внеску вантажівок та громадського транспорту (автобуси, трамваї, тролейбуси) в загальний транспортний потік, %						
	0	5	20	30	40	70	100
20	0,5	1,0	1,0	1,0	1,5	1,5	1,5
40	1,0	1,5	2,5	2,5	2,5	3,0	3,0
60	1,0	2,5	3,5	3,5	4,0	4,5	5,0
80	1,5	3,5	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5
100	2,0	4,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0

Таблиця 6.4. **Допустимі рівні шуму на різних за характером територіях**

Характер території	Допустимий рівень шуму, дБ	
	денний час (з 7^{00} до 23^{00})	нічний час (з 23^{00} до 7^{00})
Селітебна зона	55	45
Зона масового відпочинку й туризму	50	40
Санітарно-курортна зона	45	35
Заповідники	25	20
Житлові будинки, розташовані поблизу транспортних магістралей	35	25

Доходять висновків про рівень шумового навантаження та значення зелених насаджень і будівель у його зниженні (норма — 45 дБ).

Об'єднують дані і підсумовують екологічний стан пришкільної території; вносять пропозиції щодо його поліпшення.

Контрольні запитання і завдання

1. *Чи влаштовує вас розташування будинку, в якому ви мешкаєте, а також навчального закладу з екологічної точки зору? Що б ви хотіли змінити?*
2. *Що можна зробити з метою поліпшення звукоізоляції, зменшення запиленості вашого подвір'я?*
3. *Назвіть наслідки негативного впливу шуму на здоров'я людини.*

6.2. Оцінка рівня радіаційного фону та забрудненості води, ґрунту, харчових продуктів

Радіація — це іонізуюче випромінювання, що виникає у процесі самочинного розпаду ядра атома нестабільного нукліда хімічного елемента.

Випромінювання поділяється на корпускулярне (розпад супроводжується виділенням частинок: альфа-, бета-, нейтронів, протонів, мезонів тощо) та фотонне (електромагнітне), за якого виділяється квант енергії, — рентгенівське або γ-випромінювання.

Якісною характеристикою випромінювання є вид та енергія випромінювання, проникна здатність, період піврозпаду, *кількісною* — активність (радіоактивність).

На практиці активність радіонукліда визначають за потоком γ-випромінювання, враховуючи, що одному акту розпаду відповідає висилання одного γ-кванта.

Потужність експозиційної дози γ-випромінювання D описують формулою:

$$D = Kj \cdot \frac{A}{r^2},$$

де A — активність радіонукліда; r — відстань від радіонукліда до детектора; Kj — стала, що визначає тип радіонукліда; для радію-226 вона дорівнює $8{,}4 \cdot 10^6$ (мкР·см²/(год·мКі).

Послаблення потоку γ-випромінювання в речовині описують залежністю:

$$I = I_0 e^{-md},$$

де I та I_0 — інтенсивність γ-випромінювання на вході й виході шару поглинаючої речовини завтовшки d; m — коефіцієнт поглинання.

Оскільки швидкість реєстрації n-імпульсів пропорційна інтенсивності I γ-випромінювання, на практиці використовують залежність кількості імпульсів, що реєструється лічильником за одиницю часу, від товщини поглинаючої речовини. Тоді коефіцієнт поглинання обчислюють за формулою:

$$m = \left(ln \frac{n_0}{n}\right) / d.$$

Еквівалентна доза $H_{екв.}$ — величина поглинутої дози $D_{погл.}$, помножена на коефіцієнт якості конкретного виду випромінювання Q:

$$H_{екв.} = D_{погл.} Q.$$

Системною одиницею поглинутої дози є зіверт (Зв), несистемною — бер — поглинута доза будь-якого йонізуючого випромінювання, що має таку саму біологічну активність, як і 1 рад рентгенівського чи γ-випромінювання (1 Зв = 100 бер).

1. Визначення потужності еквівалентної дози γ-випромінювання

Обладнання: дозиметр — радіометр побутовий ИРД-0251 або "Белла", дозиметр — радіометр "ЭКО" чи інші.

Хід роботи

Встановлюють перемикач режиму роботи в положення "мкЗв/год"; вмикають прилад і дають прогрітися 1 хв.

Встановлюють прилад у місці, де хочуть визначити потужність еквівалентної дози гама-випромінювання. Через 25—30 с дані цифрового табло відповідають цій величині, вираженій у мікрозівертах за годину (мкЗв/год) або мікрорентгенах за годину (мкР/год). Слід брати середнє значення з трьох-п'яти послідовних даних.

Результати заносять у таблицю і доходять висновку про рівень радіаційного фону, користуючись наведеними нижче даними.

Ступені опромінення людини

4,5 Зв (450 бер) — тяжкий ступінь променевої хвороби (вмирає 50% опромінених)
1,0 Зв (100 бер) — нижній рівень розвитку легкого ступеня променевої хвороби
0,75 Зв (75 бер) — короткочасні незначні зміни складу крові
0,30 Зв (30 бер) — опромінення під час рентгеноскопії шлунка (місцеве)
0,25 Зв (25 бер) — допустиме аварійне опромінення персоналу АЕС (разове)
0,10 Зв (10 бер) — допустиме аварійне опромінення населення (разове)
0,05 Зв (5 бер) — допустиме опромінення персоналу АЕС за нормальних умов за рік
0,03 Зв (3 бер) — опромінення під час рентгенографії зубів
0,005 Зв (500 мбер) (0,06 мбер/рік) — допустиме опромінення населення за нормальних умов за рік
0,001 Зв (100 мбер) (0,011 мбер/рік) — фонове опромінення за рік
0,0001 Зв (1 мкбер) — перегляд одного футбольного матчу по телебаченню

Дози опромінення, що їх отримує людина

При кількох рентгенівських обстеженнях за рік — до 0,004 Зв (400 мбер).
При постійному тривалому щоденному перегляді телепередач — до 0,0002—0,0005 Зв (2—5 мбер/рік).
При тривалому перебуванні на сонці, особливо на пляжі, — 0,01—0,05 Зв (100—500 мбер/рік).

№ досліду	Дані приладу	Потужність дози		Середнє значення	
		мкЗв/год	мкР/год	мкЗв/год	мкР/год
1					
2					

2. Визначення рівня забрудненості проб води, ґрунту, харчових продуктів за гамма-випромінюванням

Обладнання (див. роботу 1).

Хід роботи

Готують пробу (в скляні банки місткістю від 0,5 до 3л або в поліетиленові пакети вносять рідину чи тонко подрібнений продукт так, щоб їх кількість не досягала краю горловини на 3—5 мм).

Не знімаючи екран з детектора, перемикач встановлюють у положення "мкЗв/год", вмикають прилад і через 60 с встановлюють його чутливою поверхнею впритул до горловини. Через 25—30 с записують середнє значення з 3—5 послідовних даних.

Приймають пробу і, встановивши прилад на те саме місце, вимірюють фоновий показ приладу, значення якого віднімають від попереднього ("ЭКО" робить це автоматично). Отриману різницю множать на 800 для банки місткістю 3 л, на 1000 (2 л), 1200 (1 л), 1500 (0,5 л). Результат відповідатиме об'ємній активності проби в беккерелях на літр (Бк/л). Роблять висновок про рівень забрудненості проб, оформивши результати спостережень у таблицю:

№ досліду	Досліджуваний об'єкт	Середнє значення, мкЗв/год	Фонове значення, мкЗв/год	Об'ємна активність проби, Бк/л

3. Визначення активності радіонуклідів та коефіцієнта поглинання γ-випромінювання

Обладнання: радіометр СРП-68, джерело живлення.

Хід роботи

1. Підключають радіометр до джерела живлення. Переводять перемикач «ІП» в положення «БА», а через 1—3 хв. — в положення «2.5».
2. Визначають природний радіаційний фон, обчислюють середнє арифметичне $D_ф$ і похибки вимірювань.
3. Вимірюють потужність експозиційної дози D', починаючи з відстані 10—15 см, і зменшують цю відстань щоразу на 2 см.
4. Визначають потужність експозиційної дози D з урахуванням фону за формулою:

$$D = D' - D_ф.$$

5. Будують за експериментальними даними графік залежності D від r^2.
6. За кутовим коефіцієнтом $B = (y_2 - y_1)/(x_2 - x_1)$ визначають середнє значення активності радіонукліда $A = B/Kj$.
7. Визначають похибки вимірювань:

$$\varepsilon_A = \varepsilon_D + \varepsilon_K + \varepsilon_r; \qquad \Delta A = A\varepsilon_A.$$

8. Розміщують між джерелом радіонуклідів і детектором поглинальні пластини різної товщини d зі свинцю, дерева, алюмінію, заліза, пластмаси і вимірюють потік γ-випромінювання n.
9. Будують графік залежності $ln(n_0/n)$ від d, за яким визначають середнє значення коефіцієнта поглинання:

$$m = B = (y_2 - y_1)/(x_2 - x_1).$$

Контрольні запитання і завдання

1. *Назвіть природні джерела радіоактивності.*
2. *Від яких чинників залежить небезпечність радіоактивного забруднення довкілля?*
3. *Якими шляхами радіонукліди потрапляють в організм людини?*
4. *Назвіть види радіоактивного випромінювання. Якою є природа їх?*

6.3. Складання геоекологічних карт

Геоекологічні карти — спосіб відображення у зменшеному й узагальненому вигляді стану екологічних умов і взаємозв'язків у системі "природа — суспільство".

Геоекологічні карти поділяють на три групи:

- карти природи (ландшафтні, кліматичні, грунтові, тваринного світу);
- карти антропогенних навантажень (ступінь використання території у промисловості, сільському господарстві, житловому будівництві);
- карти наслідків впливу людської діяльності на природу (карти забруднення повітря, вод, ґрунтів, стану рослинного й тваринного світу) і карти впливу природного середовища на людину (карти захворюваності тощо).

Основою геоекологічних карт є топографічні, на які наносять додаткову інформацію про стан довкілля.

Мета роботи. Одержання даних про екологічну обстановку території, виявлення основних забрудників навколишнього середовища.

Обладнання і матеріали: карта чи картосхема місцевості, визначники рослин і тварин, олівці, гумка, лінійка, трафарет, блокнот, транспортир, ручка, мікрокалькулятор.

Хід роботи

Підготовчий етап. Збирання й систематизація потрібної інформації згідно із завданням дослідження.

Проектування. Вибір географічної і математичної основи карти, умовних позначень.

Складання карти. Нанесення зібраної інформації на географічну основу (обробка інформації і нанесення її на карту у вигляді умовних позначень, стовпчастих чи кругових діаграм).

Під час складання карт зважають на наведені нижче рекомендації.

1. Карта ландшафтів. Ландшафт — це генетично однорідний природно-територіальний комплекс, що характеризується відносною єдністю рельєфу і геологічної будови, ґрунту, клімату, вод.

Потрібно нанести на карту урочища, промислові підприємства, сільськогосподарські угіддя, забудови, звалища відходів, дороги тощо.

2. Карта рослинності. Вивчають видовий склад рослинності на досліджуваній території, на картографічну основу наносять інформацію у вигляді умовних позначень.

3. Карта тваринного світу. Для її складання використовують власні спостереження, дані з літератури, експозиції музеїв, доробок наукових інститутів, наносять на карту умовне позначення виду і приблизне місце його існування.

4. Ґрунтова карта місцевості. На конкретній території потрібно визначити тип ґрунтів, їх кислотність; за характерними видами рослин з'ясувати глибину залягання ґрунтових вод. Набуті дані наносять на карту місцевості.

5. Карта екологічного стану водних об'єктів. Визначають хімічний склад води (кислотність, вміст кисню, твердість тощо) і наносять отримані результати на карту.

6. Карта викидів у повітря. Збирають дані про кількість і хімічний склад викидів шкідливих речовин, звернувшись у відділи екології адміністрації району чи безпосередньо до інженера-еколога на підприємстві. Дані заносять у таблицю:

Джерело забруднення	Загальний валовий викид, т/рік	Шкідливі речовини	Кількість викинутих шкідливих речовин, т/рік

Основні джерела забруднення можна позначити крапкою в центрі промислової зони і вказати назву. Для показу кількості й складу токсичних речовин найкраще використати метод кругової діаграми, де коло відповідає загальному валовому викиду підприємства (в тоннах за рік), а сектор — частці кожного виду забруднення.

Види забруднення (доцільно вибрати 5 найпоширеніших і 5 — найнебезпечніших для здоров'я забрудників) бажано показати кольором чи штриховкою.

7. Карта викидів промислових стічних вод. Цей вид карти складають аналогічно карті викидів у повітря. Бажано показати ступінь очищення вод: ті, що скидаються без очищення, умовно очищені.

8. Карта гігієнічної оцінки стану атмосферного повітря і поверхневих вод. Збирають дані про викиди за сезон, максимальні і середні, наведені в абсолютних одиницях чи кратності перевищення *ГДК*:

$$k = C_i \cdot ГДК_i,$$

де k — кратність перевищення $ГДК_i$, C_i — концентрація забруднювальних речовин (у повітрі чи воді), $ГДК_i$ — гранично допустимі концентрації.

9. Карта внесення добрив і пестицидів у ґрунт. Кількість внесених добрив чи пестицидів позначають у вигляді стовпчастих діаграм. Зазначте, в якому напрямі спостерігатиметься вимивання хімічних сполук з полів, беручи до уваги ухил місцевості.

10. Рекреаційна карта. Рекреаційні ресурси визначають за даними про організований (санаторії, турбази, табори) та неорганізований (збирання ягід, риболовля тощо) види відпочинку.

11. Карта природокористування. Позначають на карті всі об'єкти господарської діяльності людини, розподіливши їх за належністю до певної галузі: промислові, сільськогосподарські, лісогосподарські, рекреаційні райони, місця неорганізованого відпочинку, житлові райони.

12. Карта звалищ. Поряд із власними дослідженнями, потрібно використати інформацію санітарно-епідеміологічних станцій. На карті позначають місце звалища, тип (звалище побутових чи промислових відходів), узаконене воно чи ні, зазначають речовини, що містяться у відходах, способи утилізації (звалювання, накопичення, засипання ґрунтом тощо).

Обробка результатів і висновки

Дають комплексну оцінку екологічного стану території.

Вносять пропозиції щодо поліпшення екологічної ситуації.

Контрольні запитання і завдання

1. Які характеристики відбивають екологічні карти?

2. Завдяки чому екологічні карти дають можливість виконувати рекреаційні роботи на певній території?

Ч.І

6.4. Оцінка побутових і промислових відходів

1. Вивчення складу побутових відходів

Побутові відходи — це все те, що викидають із житлових будинків і установ: харчові відходи, старий одяг і взуття, спрацьована техніка, посуд, газети тощо. Кількість побутових відходів та їх склад може коливатись у широких межах не лише для різних країн, а й для сусідніх кварталів одного міста.

Основну частину побутових відходів становлять папір, залишки харчових продуктів, скло, залізо та його сплави. У промислово розвинених країнах витрати на упаковку — потенційний відход — досягають 2—3% національного доходу.

Кількість відходів щороку зростає, сміттєзвалища забирають дедалі нові території, від спалювання забруднюється повітря, експорт сміття в слаборозвинені країни — теж не найкращий вихід.

Нові технології використання побутових відходів передбачають сортування сміття; ущільнення органічних компонентів; спалювання їх з подальшим використанням добутої енергії у вигляді теплової чи електричної та очищення димових газів; виплавляння металів та скла після попереднього відбору метало- та скловмісних матеріалів.

Рециклізація — це включення відходів у колообіг (переробка металобрухту на метал, макулатури на папір чи картон тощо).

Хід роботи

Розсортовують відходи, що накопичилися вдома за тиждень (день, кілька діб) за категоріями: папір, метал, харчові відходи, пластмаса, скло, тканина та ін. Складають перелік основних продуктів та матеріалів кожної категорії.

Визначають масу відходів кожної категорії та сукупну масу. Обчислюють масову частку кожної категорії відходів у відсотках:

$$\omega = \frac{\text{Маса певної категорії відходів}}{\text{Сукупна маса відходів}} \cdot 100\%.$$

Встановлюють середній показник відходів на одного мешканця квартири (будинку).

Вносять пропозиції щодо

- зниження кількості відходів кожної категорії завдяки зменшенню споживання того чи іншого продукту;
- використання певних категорій відходів (кольорових металів, харчових відходів, пластмаси тощо);
- рециклізації відходів.

2. Вивчення складу промислових відходів

Відходи виробництва — це залишки сировини, матеріалів та напівфабрикатів, що утворюються в процесі виробництва, частково або повністю втратили свою якість і не відповідають стандартам виробництва. Найбільше відходів утворюється на підприємствах гірничо-добувної та гірничо-збагачувальної, металургійної, хімічної та енергетичної галузей промисловості.

Кількість відходів залежить від вмісту цінного компонента в сировині, технологічного процесу, обсягів виробництва тощо.

Накопичення відходів спричинює забруднення повітря, вод, ґрунтів, рослинної й тваринної продукції, призводить до отруєння тварин і людей.

З метою зниження обсягів промислових відходів впроваджують менш енерго- й матеріаломісткі технології, переробляють відходи, використовують їх на інших підприємствах як сировину тощо.

Є два типи методів знешкодження відходів: *рекуперацiйні*, що передбачають виділення з відходів цінних компонентів з подальшою їх переробкою, та *деструкційні*, за якими компоненти відходів руйнують.

Для оцінки ефективності використання відходів використовують коефіцієнт заміни первинної сировини, який обчислюють за формулою:

$$K_з = H_п/H_0,$$

де $H_п$ — питома витрата (чи норма витрати) первинної сировини на виробництво основної продукції; H_0 — питома витрата вторинної сировини на виробництво аналогічної продукції.

У разі використання вторинної сировини (відходів) як домішок до первинної сировини коефіцієнт заміни дорівнює:

$$K_з = [H_п - H_{сум} (1-H_0)] /(H_{сум} H_0),$$

де $H_{сум}$ — питома витрата суміші на одиницю основної продукції; H_0 — частина використаної вторинної сировини в суміші.

Обладнання і матеріали: літературні дані про рекуперацiйні методи знешкодження відходів, характеристики та кількості відходів промислових підприємств міста, калькулятор.

Хід роботи

Складають список підприємств міста, робота яких вивчатиметься, проводять екскурсію на підприємства, зустрічаються з головним інженером чи технологом виробництва та з'ясовують, у яких технологічних циклах утворюються відходи і які саме.

Здійснюють облік відходів та їх кількості для кожного підприємства, встановлюють, які відходи знешкоджуються рекуперацiйними, а які деструктивними методами. Пропонують можливі шляхи подальшого застосування речовин, виділених із відходів.

Отримані дані занотовують за схемою:

- назва підприємства;
- класифікація відходів за способом знешкодження: рекуперацiйні, деструктивні;
- назви речовин, їх застосування.

Порівнюють ефективність використання відходів у повторних циклах виробництва чи в інших галузях промисловості на різних підприємствах.

Контрольні запитання і завдання

1. *Як впливають звалища промислових відходів на стан повітря, ґрунтів, поверхневих і ґрунтових вод?*
2. *Від яких чинників залежить міграція важких металів поблизу звалищ відходів гальванічних цехів?*
3. *Які критерії враховують у разі використання побутових відходів як палива? Чи впливають сміттєспалювальні заводи на стан довкілля? Як саме?*

6.5 Визначення ртуті у змивах зі стін приміщень і обладнання

Ртуть, що належить до надзвичайно небезпечних речовин, потрапляє в організм людини не лише перорально та інгаляційно, а й через шкіру, тому робота в приміщеннях із підвищеним вмістом цього елемента несприятливо впливає на здоров'я людей. До таких приміщень належать гальванічні цехи, де застосовуються ртутні електроди, виробництва хімічних джерел струму, хімічні лабораторії тощо. З метою запобігання отруєнням вміст ртуті у повітрі, на стінах та обладнанні постійно контролюють.

Ч.І

Метод визначення ртуті базується на утворенні подвійної солі – $CuJ \cdot HgJ_2$ цегляно-червоного кольору:

поглинання ртуті: $J_2 + Hg = Hg^{2+} + 2J^-$

$Hg^{2+} + 2J^- = HgJ_2\downarrow$ (цегляно-червоний);

відновлення Cu^{2+} до Cu^+: $H_2O + 2Cu^{2+} + SO_3^{2-} = 2Cu+ + SO_4^{2-} + 2H^+$;

кінцева (кольорова) реакція: $HgJ_2\downarrow + Cu^+ + J^- = CuJ \cdot HgJ_2\downarrow$ (оранжевий).

Обладнання і реактиви: шаблон для відбору проб (рамка 10×10 см); мірні колби на 100 і 1000 мл; піпетки градуйовані місткістю 1, 2, 5, 10 мл; циліндри місткістю 10, 25, 100 мл; пробірки колориметричні; вата; скляночки з-під пеніциліну з пробками; йод кристалічний; йодид калію; розчин сульфіту натрію $Na_2SO_3 \cdot 9H_2O$, C $(\frac{1}{z}) = 2,5 - 3$ моль/л (19 г Na_2SO_3 або 31,5 г $Na_2SO_3 \cdot H_2O$ розчиняють у дистильованій воді; переносять у мірну колбу на 100 мл і доводять об'єм до 100 мл); хлорид меркурію (сулема) $HgCl_2$; хлорид купруму $CuCl_2$, 7%-й розчин; сульфат купруму $CuSO_4 \cdot 5H_2O$, 10%-й розчин; *поглинальний розчин:* 2,5 г очищеного сублімацією йоду і 30 г KJ розчиняють у невеликій кількості дистильованої води в мірній колбі на 1000 мл і доводять об'єм до риски; *складовий розчин:* у мірний циліндр до одного об'єму розчину хлориду чи сульфату купруму додають 5 об'ємів розчину сульфіту натрію, перемішують до розчинення утвореного осаду; розчин готують перед аналізом; *стандартний розчин №1* (100 мкг/мл меркурію) готують розчиненням 0,0135 г $HgCl_2$ в мірній колбі на 100 мл в невеликому об'ємі поглинального розчину на ртуть, а потім доводять об'єм тим самим розчином до риски (розчин стійкий упродовж 6 місяців); *стандартний розчин №2* (10 мкг/мл меркурію) готують розбавленням попереднього розчину в 10 разів поглинальним розчином.

Хід роботи

Ватним тампоном, змоченим поглинальним розчином, за прикладеним шаблоном проводять змивання ртуті з поверхні площею 100 см^2.

Тампон кладуть у пляшечку з-під пеніциліну, заливають 10 мл поглинального розчину і залишають на 3 год, час від часу струшуючи її вміст. Згодом пробу фільтрують.

До фільтрату (5 мл) додають 1 мл складового розчину і перемішують. Через 20—30 хв. після повного осадження суспензії на дно пробірок порівнюють інтенсивність забарвлення проби зі шкалою, яку готують згідно з таблицею:

Номер стандартної проби	Стандартний розчин №2, мл	Стандартний розчин №1, мл	Поглинальний розчин, мл	Вміст ртуті, мкг
1	0	-	5,0	0
2	0,05	-	4,95	0,5
3	0,1	-	4,90	1,0
4	0,2	-	4,80	2,0
5	0,4	-	4,60	4,0
6	0,6	-	4,40	6,0
7	0,8	-	4,20	8,0
8	1,0	-	4,0	10,0
9	-	0,2	4,8	20,0
10	-	0,3	4,7	30,0
11	-	0,4	4,6	40,0
12	-	0,5	4,5	50,0
13	-	0,6	4,4	60,0

Концентрацію ртуті в змиві X, мг/дм^2, розраховують за формулою:

$$X = \frac{a \cdot V_1}{V_2 \cdot 1000},$$

де a — кількість ртуті, знайдена в аналізованому об'ємі проби, мкг; V_1 — об'єм рідини в усій пробі, мл; V_2 — об'єм рідини, взятої на аналіз, мл; 1000 — коефіцієнт для переведення мкг в мг.

Більш точно вміст ртуті можна визначити, підготувавши аналогічно пробу і стандартні розчини і вимірявши їх оптичну густину (світлопоглинання) на фотоелектроколориметрі (після попереднього фільтрування) з синьо-зеленим світлофільтром (λ = 590 нм) та побудувавши градуювальну криву.

Іноді в лабораторіях для виявлення ртуті в повітрі розкладають невеличкі шматки фільтрувального паперу з нанесеною суспензією CuJ — поява оранжевого відтінку свідчить про її наявність.

Контрольні запитання і завдання

1. *Що зумовлює надзвичайну небезпеку сполук меркурію?*
2. *За допомогою яких хімічних реакцій визначають пари ртуті у повітрі?*
3. *Назвіть основні джерела ртуті в атмосферному повітрі та в повітрі приміщень.*

Розділ 7

РОЗРАХУНКИ ЕКОНОМІЧНИХ ЗБИТКІВ ВІД ЗАБРУДНЕННЯ ДОВКІЛЛЯ

Обчислення розміру збору за забруднення природного середовища та компенсації за шкоду, заподіяну знищенням тварин і рослин

З метою зменшення негативного впливу людської діяльності на стан природного середовища та відшкодування збитків за знищення представників рослинного і тваринного світу, занесених до Червоної книги України, встановлені нормативи, наведені в поданому нижче списку. Слід зважати на те, що з часом вони змінюються або доповнюються.

1. Інструкція про платежі за забруднення навколишнього природного середовища комунальними та відомчими водопроводами та каналізаціями населених пунктів України. КДІ 204-12. Укр. 217-92. К.: Держжитлокомунгосп України, 1992.
2. Базові нормативи плати за забруднення навколишнього природного середовища України. Методика визначення розмірів плати і стягнення платежів за забруднення навколишнього природного середовища України, — К.: Мінприроди України, 1993.
3. Методика розрахунку збитків, заподіяних рибному господарству внаслідок порушення законодавства про охорону навколишнього природного середовища (Затверджено наказом Мінекобезпеки від 18.05.1995 р., № 36) // Бюл. нормат. актів міністерств і відомств України, 1995, № 10. — С. 107—118.
4. Методика розрахунку розмірів відшкодування збитків, заподіяних державі внаслідок порушення законодавства про охорону та раціональне використання водних ресурсів (Затверджено наказом Мінекобезпеки від 18.05.1995 р., № 37 // Там же, №11. — С. 3—28).
5. Методика розрахунку розміру відшкодування збитків, які заподіяні державі в результаті наднормативних викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря (Затверджено наказом Мінекобезпеки від 18.05.1995 р., № 38 // Там же, № 10. — С. 129—144).
6. Законодавство України про охорону навколишнього природного середовища (за станом на 1 квітня 2000 р.). — К.: Парламентське вид-во, 2000. — 144 с.
7. Інструкція про порядок обчислення та сплати збору за забруднення навколишнього природного середовища (Затверджено наказом Мінекобезпеки та ДПА від 19.07.1999 р., №162/379) // Офіційний вісник України, 1999, № 32. — С. 148.
8. Постанова Кабінету Міністрів України від 28.03. 2003 р., № 402. Про внесення змін у додаток 1 до порядку встановлення нормативів збору за забруднення навколишнього природного середовища і стягнення цього збору // Там же, 2003, № 14. — С. 15—19.
9. Бюлетень законодавства і юридичної практики України. — 2001. — № 4: Екологічне законодавство України. — К.: Юрінком Інтер, 2001. — 416 с.

Для стаціонарних джерел забруднення встановлюються ліміти викидів забруднюючих речовин, для пересувних джерел — не встановлюються.

Щорічні ліміти скидів у водні об'єкти загальнодержавного значення для первинних водокористувачів визначаються у дозволах на спеціальне водокористування, які видають органи Мінекоресурсів.

Установлення та стягнення збору, що здійснюється за скиди промислових та інших стічних вод у системи каналізації, регулюється нормативно-правовими актами Державного комітету будівництва, архітектури та житлової політики.

Ліміти на розміщення відходів установлюються терміном на один рік згідно з Постановою Кабінету Міністрів України від 3 серпня 1998 року № 1218.

За понадлімітні обсяги викидів, скидів забруднюючих речовин та розміщення відходів збір обчислюється і сплачується в п'ятикратному розмірі. Такий же збір встановлюється і для платника у разі відсутності в нього затверджених лімітів викидів від стаціонарних джерел забруднення, скидів і розміщення відходів.

Нижче наведені розрахунки суми збору за забруднення атмосферного повітря, поверхневих водойм та розміщення відходів.

7.1. Розрахунок обсягу позалімітного викиду забруднюючих речовин в атмосферне повітря

Розрахунки обсягів понадлімітного викиду (M_{ni}) в тоннах здійснюється шляхом визначення різниці між фактичними і дозволеними обсягами викидів з урахуванням тривалості роботи джерела в режимі понадлімітного викиду. Розрахунок виконується за формулою *7.1*:

$$M_{ni} = 0{,}0036\ (V_i C_i - M_{gi})T, \qquad (7.1)$$

де: V_i — об'ємна витрата газопилового потоку на виході з джерела, м³/с; C_i — середня концентрація *i*-ої забруднюючої речовини, г/м³ (розрахована як середнє арифметичне із серії відібраних проб); M_{gi} — потужність дозволеного викиду *i*-ої забруднюючої речовини по даному джерелу, встановлена дозволом на викид, г/с; T — тривалість роботи джерела в режимі понадлімітного викиду, год.

7.2. Розрахунок суми збору за викиди в атмосферне повітря забруднюючих речовин стаціонарними джерелами

Суми збору, що нараховується за викиди стаціонарними джерелами забруднення ($П_{вс}$), обчислюються платниками самостійно щокварталу на підставі затверджених лімітів, згідно з фактичними обсягами викидів, нормативів збору (***табл. 7.1—7.3***) та коригувальних коефіцієнтів і відповідно до постанови Кабінету Міністрів України від 1 березня 1999 р. № 303 "Про затвердження Порядку встановлення нормативів збору за забруднення навколишнього природного середовища і стягнення цього збору". Вони визначаються за формулою:

$$П_{вс} = \sum_{i=1}^{n} (M_{лі} \cdot H_{бі} \cdot K_{нас} \cdot K_{ф}) + (M_{пі} \cdot H_{бі} \cdot K_{нас} \cdot K_{ф} \cdot K_{п}), \qquad (7.2)$$

де: $M_{лі}$ — обсяг викиду *i*-ої забруднюючої речовини у межах ліміту, т; $M_{пі}$ — обсяг позалімітного викиду (різниця між обсягами фактичного виходу і ліміту) *i*-ої речовини, т; $H_{бі}$ — норматив збору за 1 т *i*-ої забруднювальної речовини, грн/т; $K_{нас}$ — коригувальний коефіцієнт, який враховує чисельність жителів населеного пункту ***(табл. 7.4)***; $K_{ф}$ — коригувальний коефіцієнт, який враховує народногосподарське значення населеного пункту ***(табл. 7.5)***; $K_{п}$ — коефіцієнт кратності за понадлімітний викид в атмосферу забруднюючих речовин, який дорівнює 5.

Таблиця 7.1. **Нормативи збору, який справляється за викиди основних забруднюючих речовин від стаціонарних джерел забруднення**

Назва забруднюючої речовини	Норматив збору, грн/т	Назва забруднюючої речовини	Норматив збору, грн/т
Аміак	15	Оксид карбону (II)	3
Ацетон	30	Оксиди нітрогену	80
Бензпірен	101807	Оксид сульфуру (IV)	80
Бутилацетат	18	Ртуть та її сполуки	3390
Вуглеводні	4,5	Свинець та його сполуки	3390
Газоподібні сполуки флуору	198	Сірковуглець	167
Гідрогенсульфур	257	Спирт Н-бутиловий	80
Гідрогенхлорид	3	Стирол	584
Кадмій та його сполуки	633	Тверді речовини	3
Марганець та його сполуки	633	Фенол	363
Нікель та його сполуки	3225	Формальдегід	198
Озон	80	Хром та його сполуки	2147
Оксид ванадію (V)	300		

Для забруднюючих речовин, що не ввійшли до ***табл. 7.1***, нормативи збору слід застосовувати залежно від установленого класу небезпечності забруднюючої речовини згідно з ***табл. 7.2.***

Таблиця 7.2. **Нормативи збору, який справляється за викиди забруднюючих речовин стаціонарними джерелами забруднення залежно від класу небезпечності**

Клас небезпечності	Норматив збору, грн/т	Клас небезпечності	Норматив збору, грн/т
I	572	III	19,5
II	131	IV	4,5

Для забруднюючих речовин, які не ввійшли до ***табл. 7.1*** та для яких не встановлено класу небезпечності, нормативи збору застосовуються залежно від установлених орієнтовно-безпечних рівнів впливу згідно з ***табл. 7.3.***

Таблиця 7.3. **Нормативи збору, який справляється за викид забруднюючих речовин стаціонарними джерелами забруднення залежно від установлених орієнтовно-безпечних рівнів впливу**

Орієнтовно-безпечний рівень впливу сполук, мг/м^3	Норматив збору, грн/т
Менше 0,0001	24 078
0,0001 — 0,001 (включно)	2063
0,001 — 0,01 (включно)	285
0,01 — 0,1 (включно)	80
0,1 — більше 10	3

Для забруднюючих речовин, на які не встановлено клас небезпечності та орієнтовно-безпечний рівень впливу, нормативи збору встановлюються як за викиди забруднюючих речовин I класу небезпечності.

Таблиця 7.4. **Коефіцієнт, який встановлюється залежно від чисельності жителів населеного пункту**

Чисельність населення, тис. чоловік	Коефіцієнт
До 100	1
100,1—250	1,2
250,1—500	1,35
500,1—1000	1,55
понад 1000	1,8

Таблиця 7.5. **Коефіцієнт, який встановлюється залежно від народногосподарського значення населеного пункту**

Тип населеного пункту	Коефіцієнт
Організаційно-господарські та культурно-побутові центри місцевого значення з перевагою аграрно-промислових функцій (районні центри, міста районного значення, селища та села)	1
Багатофункціональні центри, центри з перевагою промислових і транспортних функцій (республіканський* та обласні центри, міста державного, республіканського*, обласного значення)**	1,25
Населені пункти, віднесені до курортних	1,65

* Автономної Республіки Крим;

** Якщо населений пункт одночасно має промислове значення та віднесений до курортних, застосовується коефіцієнт 1,65.

7.3. Розрахунок суми збору за викиди в атмосферне повітря забруднюючих речовин пересувними джерелами

Суми збору, який справляється за викиди пересувними джерелами забруднення ($П_{вп}$), обчислюються платниками щокварталу наростаючим підсумком з початку року виходячи з обсягу фактично використаного пального та його виду, на підставі нормативів збору за ці викиди ***(табл. 7.6—7.8)*** і коригувальних коефіцієнтів, визначаються за формулою:

$$П_{вп} = \sum_{i=1}^{n} M_i \cdot Н_{бі} \cdot K_{нас} \cdot K_{ф}, \qquad (7.3)$$

де: M_i — обсяг використаного пального i-го виду, т; $Н_{бі}$ — норматив збору за 1 т i-го виду пального, грн/т; $K_{нас}$ — коригувальний коефіцієнт, що враховує чисельність жителів населеного пункту ***(табл. 7.4)***; $K_{ф}$ — коригувальний коефіцієнт, який враховує народногосподарське значення населеного пункту ***(табл. 7.5)***.

Таблиця 7.6. **Нормативи збору, який справляється за викиди в атмосферу забруднюючих речовин пересувними джерелами забруднення**

Вид пального	Норматив збору, грн/т
Дизельне пальне	4,5
Бензин: етиловий неетиловий	 6 4,5
Зріджений нафтовий газ	6
Стиснений природний газ	3

Таблиця 7.7. **Нормативи збору, який справляється за викиди в атмосферу забруднюючих речовин морськими та річковими суднами**

Вид пального	Норматив збору, грн/т
Бензин	9
Дизельне пальне	6
Мазут	4,5

Таблиця 7.8. **Нормативи збору, який справляється за викиди в атмосферу забруднюючих речовин залізничним транспортом**

Вид пального	Норматив збору, грн/т
Дизельне пальне	4,5

7.4. Розрахунок суми збору за скиди забруднюючих речовин

Суми збору, який справляється за скиди ($П_c$), обчислюються платниками самостійно щоквартально наростаючим підсумком з початку року на підставі затверджених лімітів відповідно до фактичних обсягів скидів, нормативів збору ***(табл. 7.9*** та ***7.10)*** та коригувального коефіцієнта, і визначаються за формулою:

$$П_c = \sum_{i=1}^{n} (M_{лі} \cdot H_{бі} \cdot K_{рб}) + (M_{пі} \cdot H_{бі} \cdot K_{рб} \cdot K_п), \qquad (7.4)$$

де: $M_{лі}$ — обсяг скиду *і*-ої забруднюючої речовини в межах ліміту, т; $M_{пі}$ — обсяг позалімітного скиду (різниця між обсягами фактичного скиду і ліміту) *і*-ої забруднюючої речовини, т; $H_{бі}$ — норматив збору за 1 т *і*-ої забруднюючої речовини, грн/т; $K_{рб}$ — регіональний (басейновий) коригувальний коефіцієнт, який враховує територіальні екологічні особливості, а також еколого-економічні умови функціонування водного господарства, наведеного в ***табл. 7.11***; $K_п$ — коефіцієнт кратності збору за понадлімітні скиди забруднюючих речовин, який дорівнює 5.

Таблиця 7.9. **Нормативи збору, який справляється за скиди основних забруднюючих речовин у водні об'єкти, в тому числі у морські води**

Назва забруднюючої речовини	Норматив збору, грн/т	Назва забруднюючої речовини	Норматив збору, грн/т
Нітроген амонійний	52,5	Нітрати	4,5
Органічні речовини (за показниками $БСК_5$)	21	Нітрити	258
		Сульфати	1,5
Завислі речовини	1,5	Фосфати	42
Нафтопродукти	309	Хлориди	1,5

Для забруднюючих речовин, що не ввійшли до ***табл. 7.9***, за нормативи беруться наведені в ***табл. 7.10.***

Таблиця 7.10. **Нормативи збору, який справляється за скиди забруднюючих речовин у водні об'єкти залежно від концентрації забруднюючих речовин**

Концентрація забруднюючих речовин	Норматив збору, грн/т
Забруднюючі речовини з гранично допустимою концентрацією у воді рибогосподарських водойм (мг/л):	
до 0,001	4128
0,001—0,09	2993
0,1—1 (включно)	516
1—10	52,5
вище 10	10,5

Стосовно скидів забруднюючих речовин, на які не встановлено гранично допустиму концентрацію або орієнтовно-безпечний рівень впливу, за гранично допустиму концентрацію береться найменша величина гранично допустимої концентрації, наведена у ***табл. 7.10.***

У разі скидання забруднюючих речовин в озера, ставки нормативів збору за скид забруднюючих речовин у ці водні об'єкти, збільшуються у 1,5 рази.

Норматив збору за захоронення забруднюючих рідинних речовин, відходів виробництва та стічних вод у глибокі підземні водоносні горизонти, що не містять прісних вод, береться відповідно до ***табл. 7.9*** чи ***табл. 7.10*** з коефіцієнтом 10.

Таблиця 7.11. **Регіональні (басейнові) коефіцієнти**

Басейни морів і річок	Коефіцієнт
1	2
Азовське море	2
Чорне море	2
Дунай	2,2
Тиса	3

Продовження табл. 7.11

1	2
Прут	3
Дністер	2,8
Дніпро (кордон України — до м. Києва)	2,5
Дніпро (м. Київ включно — до Каховського гідровузла)	2,2
Дніпро (Каховський гідровузол включно — до Чорного моря)	1,8
Прип'ять	2,5
Західний Буг та ріки басейну Вісли	2,5
Десна	2,5
Південний Буг та Інгул	2,2
Ріки Кримського півострова	2,8
Сіверський Донець	2,2
Міус	2,2
Кальміус	2,2

7.5. Розрахунок суми збору за розміщення відходів

Суми збору за розміщення відходів ($П_{рв}$), обчислюються платниками щоквартально на підставі затверджених лімітів відповідно до фактичних обсягів розміщених відходів, нормативів збору ***(табл. 7.12)*** та коригувальних коефіцієнтів ***(табл. 7.13*** та ***7.14)***, і визначаються за формулою:

$$П_{рв} = \sum_{i=1}^{n} (Н_{бі} \cdot М_{лі} \cdot К_т \cdot К_о) + (К_п \cdot Н_{бі} \cdot М_{пі} \cdot К_т \cdot К_о), \qquad (7.5)$$

де: $М_{лі}$ — обсяг відходів i-го виду в межах ліміту, т; $М_{пі}$ — обсяг позалімітного розміщення відходів (різниця між обсягом фактичного розміщення відходів і лімітом) i-го виду, т; $Н_{бі}$ — норматив збору за 1 т відходів i-ого виду в межах ліміту, грн/т; $К_т$ — коригувальний ко-ефіцієнт, який враховує розташування місця розміщення відходів; $К_о$ — коригувальний коефіцієнт, який враховує характер обладнання місця розміщення відходів; $К_п$ — коефіцієнт кратності збору за позалімітне розміщення відходів, що дорівнює 5.

Таблиця 7.12. **Норматив збору, який справляється за розміщення відходів**

Клас небезпеки відходів	Рівень небезпечності відходів	Норматив збору, грн/т
I	Надзвичайно небезпечні*	82,5
II	Високонебезпечні	3
III	Помірно небезпечні	0,75
IV	Малонебезпечні, у тому числі нетоксичні відходи гірничодобувної промисловості	0,3

* Норматив збору для: обладнання та приладів, що містять ртуть, елементи з іонізуючим випромінюванням, — 83 грн/1 одиницю; люмінесцентних ламп — 1,5 грн/1 одиницю.

За розміщення відходів, клас небезпеки яких не встановлено, за норматив збору береться норматив, встановлений за розміщення відходів I класу небезпеки.

Нормативи збору за забруднення навколишнього природного середовища у 2003 році розраховуються з коефіцієнтом 0,8.

Таблиця 7.13. **Коефіцієнт, який встановлюється залежно від місця (зони) розміщення відходів у навколишньому природному середовищі**

Місце (зона) розміщення відходів	Коефіцієнт
В адміністративних межах населених пунктів або на відстані менше 3 км від них	3
За межами населених пунктів (на відстані більше 3 км від їх меж)	1

Таблиця 7.14. **Коефіцієнт, який встановлюється залежно від місця розміщення відходів**

Характер місця розміщення відходів	Коефіцієнт
Спеціально створені місця складування (полігони), що забезпечуються захист атмосферного повітря та водних об'єктів від забруднення	1
Звалища, які не забезпечують повного виключення забруднення атмосферного повітря або водних об'єктів	3

Такса для обчислення розміру компенсації за шкоду, заподіяну знищенням тварин з числа видів, занесених до Червоної книги України, шляхом погіршення їх середовища перебування, якщо абсолютну кількість загиблих тварин підрахувати неможливо

(У редакції постанови Кабінету Міністрів України від 16 березня 1999 р. №398)

Вид тварин та їх категорія	Розмір компенсації за категоріями тварин (у гривнях за один екземпляр)				
	I	II	III	IV	V
1	2	3	4	5	6
За 1 гектар пошкоджених угідь Безхребетні, Гідрозої, Черви круглі, Черви кільчасті					
меризія азовська (II), оліндіас несподіваний (III), аксонолайм замковий (III), хромадорина двоока (II), ейзенія Гордєєва (I)	2500	1500	1000		
жабоп'явка алжирська (III), п'явка медична (II), глотківка Щоголєва (III), археобдела каспійська (III), псевдотрохета п'ятикільчаста (II), трохета потайна (I)	1700	1500	1000		
Клас Ракоподібні					
бранхінекта лякаюча (IV), бранхінекта маленька (III), бранхінекта східна (I), танімастикс ставковий (I), бранхіпус Шаффера (I), бранхінела колюча (I), бранхінектела середня (I), дрепанозурус дволикий (IV), гемідіаптом Рилова (I)	2500		2000	1700	

Продовження табл.

1	2	3	4	5	6
морський кріт (I), широкопалий рак (III), трав'яний краб (I), волохатий краб (I), кам'яний краб (I), ксанто пореса (I), мармуровий краб (I), прісноводний краб (I), мізида аномальна (I), мізида зубчаста (I), мізида Варпаховського (I)	2700		2500		
ніфарг середній (III), іфігенела колючконога (II), іфігенела шаблінська (III), іфігенела Андрусова (III), гмеліна маленька (III), гмеліна Кузнєцова (III)		1700	1500		
Тип Молюски					
ставковик булавоподібний (III), ставковик потовщений (III), турикаспія лінкта (III), оксихілюс Кобельта (II), гранарія зернова (I), хондрина вівсяна (III), перистома мердвенева (I), серуліна зубчаста (I), трихія опушена (III), простеномфалія карпатська (II), дробація банатська (II), устриця їстівна (II)	1500	1000	900		

Примітка:

I категорія — зникаючі: види, що знаходяться під загрозою зникнення і збереження яких є малоймовірнм, якщо продовжиться згубна дія факторів, що впливають на їхній стан;

II категорія — вразливі: види, які у найближчому майбутньому можуть бути віднесені до категорії "зникаючих", якщо продовжиться дія факторів, що впливають на їхній стан;

III категорія — рідкісні: види, популяції яких невеликі і які у даний час не належать до категорії "зникаючих" чи "вразливих", хоч їм і загрожує небезпека;

IV категорія — невизначені: види, про які відомо, що вони належать до категорії "зникаючих", "вразливих" чи "рідкісних", однак достовірна інформація, яка б давала змогу визначити, до якої із зазначених категорій вони належать, — відсутня; недостатньо відомі: види, які можна було б віднести до однієї з вищеперелічених категорій, однак у зв'язку з відсутністю достовірної інформації питання залишається невизначеним;

V категорія — відновлені: види, популяції яких завдяки вжитим заходам щодо їхньої охорони не викликають стурбованості, однак не підлягають використанню і потребують постійного контролю.

Такса для обчислення розміру компенсації за шкоду, заподіяну незаконним збиранням або знищенням чи пошкодженням рослин з числа видів, занесених до Червоної книги України, Європейського червоного списку тварин і рослин що перебувають під загрозою зникнення у світовому масштабі, та знищенням їх місцезростання

(У редакції постанови Кабінету Міністрів України від 16 березня 1999 р. №398)

Група рослин	Розмір компенсації за категоріями рослин (у гривнях за один екземпляр)		
	I	II	III
1	2	3	4
За знищення кожного дерева залежно від його діаметра (біля шийки кореня, сантиметрів): до 6	70	40	20
6,1—10	120	70	30

Продовження табл.

1	2	3	4
10,1—14	140	90	50
14,1—18	160	110	70
18,1—22	270	220	180
22,1—26	380	330	290
26,1—30	490	440	500
30,1—34	695	645	620
34,1—38	900	850	800
38,1—42	1105	1055	950
42,1—46	1500	1300	1100
46,1—50	1700	1500	1400
За кожний кущ або ліану віком понад три роки	150	100	70
За кожну трав'янисту рослину, незалежно від розміру	15	12	9
За кожне плодове тіло гриба	12	10	7
За кожний квадратний метр субстрату (ґрунту, каменів, дерева тощо), на якому ростуть мохи, лишайники, водорості	25	20	15
За кожний кілограм водоростей (у сирому вигляді)	17	12	9

Примітки:

1. За знищення дерев із діаметром стовбура понад 50 сантиметрів такса збільшується на 40 гривень за кожний сантиметр діаметра. За знищення чи пошкодження кущів або ліан у віці до трьох років включно розмір нарахувань зменшується вдвічі від такси за цілу рослину.
2. За збір плодів, насіння, квіток відшкодування нараховується в розмірі 20 відсотків такси за цілу рослину. За збір бруньок, кори, частин кореня, інших частин рослини, якщо такий збір не призводить до її загибелі, відшкодування нараховується в розмірі 50 відсотків такси за цілу рослину.
3. За знищення природних луків, сіножатей, пасовищ, боліт та інших місцезростань рослин, занесених до Червоної книги України, унаслідок переорювання, затоплення, відведення під забудову, розробку корисних копалин, садово-городні ділянки, залісення, а також у разі різкої зміни гідрологічного режиму чи забруднення хімічними речовинами, яке призвело до загибелі рослин, відшкодування нараховується в сумі 1500 гривень для видів рослин першої категорії, 1000 гривень — для видів рослин другої категорії і третьої категорії за один гектар площі.
4. Ця такса не поширюється на рослини, які культивуються і вирощуються у розсадниках, а також на присадибних та садово-городніх ділянках.

ДОДАТКИ

та

ПРИКЛАДИ КОНТРОЛЬНИХ ТЕСТОВИХ ЗАВДАНЬ

Додаток № 1

Закони та законодавчі акти в галузі охорони довкілля, що діють в Україні

Конституція України. Прийнята 28.06.98.

Закон України "Про охорону навколишнього природного середовища" (25.06.91, № 1264-XII). Зміни внесені згідно з Законами і Постановами Верховної Ради України № 3180-XII від 05.05.93, ВВР, 1993, т. 26, ст. 277; № 81/96-ВР від 06.03.96, ВВР, 1996, № 15, ст. 70; № 650-97-ВР від 19.11.97, ВВР, 1998, № 11-12, ст 41; № 186/98-ВР від 05.03.98, ВВР, 1998, № 34, ст. 230; № 783-XIV від 30.06.99, ВВР, 1999, № 34, ст. 274; № 934-XIV від 14.07.99, ВВР, 1999, № 38, ст. 338; № 1287-XIV від 14.12.99, ВВР, 2000, № 4, ст. 26; № 1288-XVI від 14.12.99, ВВР, 2000, № 5, ст. 34.

Закон України "Про природно-заповідний фонд України" (16.06.92, № 2456-XII). Зміни внесені згідно з Постановами Верховної Ради України № 3180-XII від 05.05.93, ВВР, 1993, № 26, ст. 277; № 1287-XIV від 14.12.99, ВВР, 2000, № 4, ст. 26; Декретом № 12-92 від 26.12.92, ВВР, 1993, № 10, ст. 76.

Закон України "Про охорону атмосферного повітря" (16.10.92).

Зміни внесені згідно з Постановами Верховної Ради України № 75/95-ВР від 28.02.95, ВВР, 1995, № 13, ст. 85.

Закон України "Про тваринний світ" (03.03.93, № 3041-XII).

Зміни внесені згідно з Постановами Верховної Ради України № 81/96-ВР від 06.03.96, ВВР, 1996, № 15, ст. 70.

Закон України "Про екологічну експертизу" (09.02.95).

Закон України "Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку" (08.02.1995, № 40/95-ВР).

Закон України "Про пестициди і агрохімікати" (2.03.95, № 86/95-ВР).

Закон України "Про поводження з радіоактивними відходами" (30.06.95, № 255/95-ВР).

Закон України "Про видобування і переробку уранових руд" (09.11.97, № 645/97-ВР).

Закон України "Про відходи" (05.03.98, № 187/98-ВР).

Закон України "Про захист рослин" (14.10.98, № 180-XIV).

Закон України "Про рослинний світ" (09.04.99, № 591-XIV).

Закон України "Про забезпечення санітарного та епідідемічного благополуччя населення" (30.06.99, № 783-XIV).

Закон України "Про загальнодержавну программу поводження з токсичними відходами" (14.09.2000, № 1947-III).

Закон України "Про тваринний світ" (13.12.2001, № 2894-III). Офіц. вісник України, 2002, № 21. — С. 40—64 (№ 47).

Закон України "Про питну воду та питне водокористування" (10.01.2002, № 2918-III). Офіц. вісник України, 2002, № 6. — С. 1—22. (№ 223).

Закон України "Про рибу, інші водні живі ресурси та харчову продукцію з них" (6.02.2003, № 486-IV). Офіц. вісник України, 2003, № 10 (№ 430).

Закон України "Про альтернативні джерела енергії" (20.02.2003 № 555-IV). Офіц. вісник України, 2003, № 12. — С. 73—78 (№ 522).

Земельний кодекс України (13.03.91, № 2196-XII).

Лісовий кодекс України (21.01.94, № 3852-XII).

Кодекс України про надра (27.07.94, № 133/94-ВР).

Водний кодекс України (06.06.95, № 213/95-ВР).

Постанова Верховної Ради "Про основні напрями державної політики України в області охорони навколишнього природного середовища, використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки" (05.03.98, № 188/98-ВР, ВВР, 1998, № 38-39).

Національна програма екологічного оздоровлення басейну Дніпра та поліпшення якості питної води (Затверджено Постановою Верховної Ради України від 27.02.1997, № 123/97-ВР).

Національний план дій з гігієни довкілля на 2000—2005 роки (Схвалено постановою Кабінету Міністрів України від 13.10.2000, № 1556).

Комплексна програма реалізації на національному рівні рішень, прийнятих на Всесвітньому саміті зі сталого розвитку, на 2003—2005 роки (Постанова Кабінету Міністрів України від 26.04.2003, № 634).

Україна є Стороною, що бере участь у 70 міжнародних двосторонніх та багатосторонніх угодах, пов'язаних з охороною довкілля.

Додаток № 2

Міжнародні угоди в галузі охорони довкілля

Конвенція "Про водно-болотні угіддя, що мають міжнародне значення, головним чином як середовища існування водоплавних птахів" (1971 р.).

Конвенція "Про охорону всесвітньої культурної і природної спадщини" (1972 р.).

Конвенція "Про міжнародну торгівлю рідкісними видами дикої фауни і флори" (1973 р.).

Конвенція "Про запобігання та контроль професійного ризику, викликаного канцерогенними речовинами і агентами" (1974 р.).

Конвенція "Про запобігання професійному ризику робітників у зв'язку з небезпекою забруднення робочих місць шумом, вібрацією і забрудненням повітря" (1977 р.).

Конвенція "Про охорону дикої флори і фауни та природних середовищ їх існування в Європі" (1979 р.).

Конвенція "Про збереження мігруючих видів диких тварин" (1979 р.).

Конвенція "Про захист Чорного моря від забруднення" (1992 р.).

Конвенція "Про захист озонової оболонки" (1985 р.).

Конвенція "Про раннє повідомлення про ядерні аварії" (1986 р.).

Конвенція "Про допомогу у випадку ядерної аварії або витоку радіоактивних речовин" (1986 р.).

Конвенція "Про контроль над трансграничним переміщенням небезпечних відходів і їх розміщенням" (1989 р.).

Конвенція "Про охорону біологічного різноманіття" (1994 р.).

Конвенція "Про охорону та відтворення транскордонних водотоків та міжнародних озер" (1999 р.).

Додаток № 3

Державні стандарти України

13. Навколишнє середовище. Захист довкілля та здоров'я людини. Безпека

13.020. Охорона навколишнього середовища. Загальні положення.

ДСТУ 3041-95. Система стандартів у галузі охорони навколишнього середовища та раціонального використання ресурсів. Гідросфера. Використання і охорона води. Терміни та визначення.

ДСТУ ISO 14010-97. Настанови щодо екологічного аудиту. Загальні принципи.

13.030. Тверді відходи.

ДСТУ 2195-99 (ГОСТ 17.9.0.2-99). Охорона природи. Поводження з відходами. Технічний паспорт відходу. Склад, вміст, викладення і правила внесення змін. — На заміну ДСТУ 2195-93 (ГОСТ 17.0.0.05-93).

ДСТУ 3910-99. Охорона природи. Поводження з відходами. Класифікація відходів за генетичним принципом і віднесення їх до класифікаційних категорій.

ДСТУ 3911-99 (ГОСТ 17.9.0.1-99). Охорона природи. Поводження з відходами. Виявлення відходів і подання інформаційних даних про відходи.

13.040. Якість повітря.

13.040.20. Атмосфера навколишнього середовища.

ДСТУ 2608-94. Аналізатори газів для контролю атмосфери.

13.040.40. Викиди стаціонарних джерел.

ДСТУ 2603-94. Аналізатори газів для контролю викидів промислових підприємств.

13.040.50. Викиди двигунів транспортних засобів.

ДСТУ 2501-94. Аналізатори газів для контролю викидів транспортних засобів. Загальні технічні вимоги і методи випробування.

13.060. Якість води.

13.060.01. Якість води взагалі.

ДСТУ 3041-95. Система стандартів у галузі охорони навколишнього середовища та раціонального використання ресурсів. Гідросфера. Використання і охорона води. Терміни та визначення.

ДСТУ 3913-99. Охорона довкілля та раціональне поводження з ресурсами. Пробовідбірники автоматичні для відбору усереднених проб природних та стічних вод. Загальні технічні умови та методи випробувань.

ДСТУ 3920-99. Охорона довкілля та раціональне поводження з ресурсами. Пробовідбірники автоматичні природних та стічних вод. Загальні технічні умови та методи випробувань.

ДСТУ 4004-2000. Охорона довкілля та раціональне поводження з ресурсами. Сигналізатори токсичності природних та стічних вод біологічні. Загальні технічні умови та методи випробувань.

ДСТУ 2928-99. Охорона природи. Гідросфера. Токсикологія води. Терміни та визначення.

13.060.10. Вода природних джерел.

ДСТУ 878-93. Води мінеральні питні. Технічні умови. — На заміну РСТ УССР 878-88.

13.060.25. Вода на промислові потреби.

ДСТУ 3831-98. Охорона навколишнього природного середовища. Автоматизовані системи контролю якості природних вод. Типи та основні вимоги.

ДСТУ 2730-94. Єдина система стандартів у галузі охорони навколишнього середовища та раціонального використання природних ресурсів. Якість природної води для зрошення. Агрономічні критерії.

13.060.30. Стічні води.

ДСТУ 3013-95. Система стандартів у галузі охорони навколишнього середовища та раціонального використання ресурсів. Гідросфера. Правила контролю та відведення дощових і снігових стічних вод з території міст і промислових підприємств.

ДСТУ 3812-98. Система стандартів у галузі охорони навколишнього середовища та раціонального використання ресурсів. Контроль оперативний стічних вод очисних споруд міст і промислових підприємств. Загальні положення.

ДСТУ 3832-98. Охорона навколишнього середовища. Автоматизовані системи контролю стічних вод. Типи та основні вимоги.

13.060.40. Аналіз води, стічної води і мулу.

ГСТУ 34.004-96. Води виробничі теплових електростанцій. Метод відбору проб.

ДСТУ 3920-99. Охорона довкілля та раціональне поводження з ресурсами. Пробовідбірники автоматичного відбору природних та стічних вод. Загальні технічні вимоги і методи випробувань.

ДСТУ 3940-99. Охорона довкілля та раціональне поводження з ресурсами. Аналізатори складу та властивостей води. Загальні технічні вимоги і методи випробувань.

13.060.70. Дослідження біологічних властивостей води.

ДСТУ 3959-2000. Охорона довкілля та раціональне поводження з ресурсами. Методика біотестування води. Настанови.

13.080. Якість ґрунту. Ґрунтознавство.

13.080.01. Якість ґрунту та ґрунтознавство взагалі.

ДСТУ 3866-99. Ґрунти. Класифікація ґрунтів за ступенем вторинної солонцюватості.

ДСТУ 3980-2000. Ґрунти. Фізико-хімія ґрунтів. Терміни та визначення.

ДСТУ ISO 10381-6-2001. Якість ґрунту. Відбір проб. Частина 6. Настанови щодо відбору, оброблення та зберігання ґрунту для дослідження аеробних мікробіологічних процесів у лабораторії (ISO 10381-6:1993, ІДТ).

13.080.30. Біологічні властивості ґрунтів.

ДСТУ ISO 11266-2001. Якість ґрунту. Настанови щодо лабораторного випробування біодеградації органічних хімічних речовин у ґрунтів в аеробних умовах (ISO 11266:1994, ІДТ).

13.140. Шум та його вплив на людину.

ДСТУ 2325-93. Шум. Терміни та визнання.

ДСТУ 2867-94. Шум. Методи оцінювання виробничого шумонавантаження. Загальні вимоги.

13.160. Вібрація та її вплив на людину.

ДСТУ 2300-93. Вібрація. Терміни та визначення.

ДСТУ 3160-95. Компресорне обладнання. Визначення вібраційних характеристик. Загальні вимоги.

13.200. Попередження аварій та катастроф.

ДСТУ 3891-99. Безпека у надзвичайних ситуаціях. Терміни та визначення основних понять.

ДСТУ 3900-99. Безпека у надзвичайних ситуаціях. Основні положення.

ДСТУ 3970-2000. Безпека у надзвичайних ситуаціях. Надзвичайні ситуації на акваторіях. Терміни та визначення.

ДСТУ 3994-2000. Безпека у надзвичайних ситуаціях. Надзвичайні ситуації природні. Чинники природного походження. Терміни та визначення.

Додаток № 4

Загальна земельна площа та розподіл сільськогосподарських угідь землевласникам і землекористувачам на 1 січня 2002 р.

(тис. га)

	Загальна земельна площа (територія)	Всього сільськогосподарських угідь	рілля	багаторічні насадження	сіножаті і пасовища
Всього земель	**60 354,8**	**41 817,0**	**32 537,1**	**924,4**	**7924,3**
у тому числі: землі сільськогосподарських підприємств і господарств	27 207,3	25 660,6	21 838,3	375,5	3181,9
громадяни, яким надані землі у власність і користування	12 958,6	12 489,7	9521,1	485,9	2396,7
заклади, установи, організації	733,4	158,2	143,2	4,3	10,7
промислові та інші підприємства	665,6	191,1	172,1	3,0	16,0
підприємства та організації транспорту, зв'язку	664,0	60,1	24,1	0,8	34,9
частини, підприємства, організації, установи, навчальні заклади оборони	451,2	59,7	15,4	0,1	43,8
організації, підприємства, установи природоохоронного, оздоровчого, рекреаційного та історико-культурного призначення	414,1	17,0	1,4	0,2	15,0
лісогосподарські підприємства	8173,5	125,7	34,1	2,1	89,5
водогосподарські підприємства	456,0	16,1	6,4	0,1	9,6
спільні підприємства, міжнародні об'єднання і організації за участі українських та іноземних юридичних і фізичних осіб	53,0	50,5	48,5	0,3	1,7
підприємства, що повністю належать іноземним інвесторам	1,5	1,0	1,0	—	—
землі запасу та землі, не надані у власність та постійне користування в межах населених пунктів (які не надані у тимчасове користування)	8576,6	2987,3	731,5	52,1	2124,2

Додаток № 5

Заповідники і національні природні парки України

Природно-заповідні установи		Природно-заповідні території			
Назва	Область	Рік створення	Площа, га	Кількість видів Червоної книги України	
				Флора і мікробіота	Фауна
1	2	3	4	5	6
	Біосферні заповідники				
Асканія-Нова	Херсонська	1985	33 307	18	41
Чорноморський	Херсонська	1985	87 348	15	59
Карпатський	Закарпатська	1993	57 880	92	74
Дунайський	Одеська	1998	46 403	14	112
	Національні природні парки				
Карпатський	Івано-Франківська	1980	50 303	78	18
Шацький	Волинська	1983	32 515	32	33
Синевир	Закарпатська	1989	40 400	40	11
Азово-Сиваський	Херсонська	1993	52 154	7	18
Вижницький	Чернівецька	1995	7928,4	31	19
Подільські Товтри	Хмельницька	1996	261 316	60	79
Святі Гори	Донецька	1997	40 589	48	50
Яворівський	Львівська	1998	7078,6	40	5
Деснянсько-Старогутський*	Сумська	1999	16 215	20	—
Сколівські Бескиди*	Львівська	1999	35 684	50	—
Ужанський*	Закарпатська	1999	43 000	—	—
Гуцульщина	Закарпатська	2002	32 271	—	—
	Природні заповідники				
Кримський	Автономна Республіка Крим	1923	44 175	76	53
Канівський	Черкаська	1923	2049,3	28	41
Український степовий	Донецька	1961	2768,4	46	25
Луганський	Луганська	1968	1575,5	31	19

Д

Продовження додатка № 5

1	2	3	4	5	6
Поліський	Житомирська	1968	20 097	17	53
Ялтинський гірсько-лісовий	Автономна Республіка Крим	1973	14 584	80	36
Мис Мартьян	Автономна Республіка Крим	1973	240	36	35
Карадазький	Автономна Республіка Крим	1979	2874,17	66	83
Дунайські плавні	Одеська	1981	14 851	5	61
Розточчя	Львівська	1984	2080	32	19
Медобори	Тернопільська	1990	10 455	27	4
Дніпровсько-Орільський	Дніпро-петровська	1990	3766,2	10	24
Єланецькнй степ	Миколаївська	1996	1675,7	5	8
Горгани Франківська	Івано-	1996	5344,2	15	20
Казантипський	Автономна Республіка Крим	1998	450	27	28
Опукський	Автономна Республіка Крим	1998	1592,3	23	32
Рівненський*	Рівненська	1999	47 046,8	—	—

*Дані відсутні

Додаток № 6

*Індекс інтенсивності біологічного колообігу (ІБК)**

(за Д.Степановських, 2001)

Тип екосистеми	Індекс швидкості колообігу	Тип екосистеми	Індекс швидкості колообігу
Заболочені ліси	>50	Широколистяні ліси	3—4
Чагарникові тундри	20—50	Савани	не більше 0,2
Темнохвойні ліси	10—17	Вологі тропічні ліси	не більше 0,1

*ІБК — величина відношення маси підстилки до тієї частини опадів, що її формує.

Додаток № 7

Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в атмосферному повітрі населених пунктів

Речовина	ГДК, мг/м³	
	максимальна разова	середньодобова
Аміак	0,02	0,004
Ацетон	0,35	0,35
Гексахлоран	0,03	0,003
Гідрогенсульфур	0,005	0,005
Гідрогенфлуорид	0,02	0,005
Метафос	0,001	—
Нафталін	0,003	0,003
Нікель	—	0,0002
Нітробензол	0,008	0,005
Оксид нітрогену	—	0,04
Оксид карбону (II)	3,0	1,0
Оксид селену (IV)	—	0,00005
Оксид сульфуру (IV)	0,5	0,05
Оксид телуру (IV)	—	0,00001
Оцтова кислота (пари)	0,2	0,06
Пеніцилін	0,05	0,002
Пил бавовни	0,5	0,04
Пил нетоксичний	0,5	0,15
Ртуть (пари)	—	0,0003
Сульфатна кислота (пари)	0,3	0,1
Фенол	—	0,003
Формальдегід	—	0,003
Фосфорний ангідрид	0,15	0,05
Хлор	0,1	0,03
Хлорид феруму (III)	—	0,004
Хлороформ	—	0,03
Хром (VI)	0,0015	0,0015

Д

Додаток № 8

Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у ґрунтах

Речовина	ГДК, мг/кг	Речовина	ГДК, мг/кг
Атразин	0,01	Манган	1500
Бензол, толуол	0,3	Меркурій	2,1
Бензпірен	0,02	Метафос	0,1
Бромофос, метилстирол	0,4	Нікель	4
Ванадій	150	Нітрати	130
Гексахлоран	1	Плюмбум	20
Гетерофос	0,005	Поліхлорпропілен	0,5
Гідрогенсульфур	0,4	Сульфур	160
Кадмій	1	Флуор	10
Карбофос	2	Хлорамін	2
Кельтін, ліндан	1	Хлорофос	0,5
Кобальт	5	Хром (VI)	0,05
Купрум	3	Цинк	23

Додаток № 9

Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у воді водойм господарсько-питного та культурно-побутового призначення

Речовина	ГДК, мг/л	Речовина	ГДК, мг/л
1	2	3	4
За санітарно-токсикологічним лімітуючим показником шкідливості			
Анілін	0,1	Нітрити, нітрати (за нітрогеном)	10,0
Арсен	0,03	Нітрохлорбензол	0,05
Бензол	0,5	Піридин	0,2
Берилій	0,0002	Плюмбум	0,03
Гексаметилендіамін	0,01	Поліакриламід	2,0
Гексахлорбензол	0,05	Роданіди	0,1
Гексоген	0,01	Тетраетилплюмбум	0
Меркурій	0,0005	Формальдегід	0,01

Продовження додатка № 9

1	2	3	4
За загальносанітарним лімітуючим показником шкідливості			
Аміак (за нітрогеном)	2,0	Тетрахлорид карбону	0,3
Диметилформамід	10,0	Тринітротолуол	0,5
Кадмій	0,001	Фенол (карболова кислота)	0,001
Капролактам	1,0	Хлор активний	0
Кобальт	0,1	Хлорбензол	0,02
Купрум	1,0	Хлорофос	0,05
Нікель	0,1	Хром (III)	0,5
Тіофос	0,003	Хром (VI)	0,1
Толуол	0,5	Цинк	1,0
За органолептичним лімітуючим показником шкідливості			
Бензин	0,1	Нафта з високим вмістом сірки	0,1
Гас	0,1	Нафта інша	0,3
Гексахлоран	0,02	Нафтенові кислоти	0,3
Динітробензол	0,5	Пікринова кислота	0,5
Дихлорбензол	0,002	Пропілен	0,5
Дихлорфенол	0,002	Сірковуглець	1,0
Дихлоретан	2,0	Скипидар	0,2
ДДТ	0,1	Ферум	0,5

Додаток № 10

Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у питній воді

Речовина	ГДК, мг/л	Речовина	ГДК, мг/л
Арсен (загальний)	0,05	Ферум	0,5
Ацетати	45	Флуориди	0,75
Дихлорфенолоцтова кислота	1	Форміати	45
Ефіророзчинні речовини	0,1	Фосфати	1
Купрум	0,1	Фосфорорганічні пестициди	0,03
Нафтопродукти	0,1—0,3	Хлориди	100
Нітрати	45	Хром (загальний)	0,5
Нітрити	0	Хром (VI)	0,01
Сульфати	500	Ціаніди	0
Феноли	0,001		

Д

Додаток № 11

Шкала інтенсивності шуму, дБ

Неприпустимі рівні шуму	150	Смертельно для людини
	130	Поява больового відчуття, сильний негативний вплив на здоров'я
	120	Гучна музика (рок-ансамблі), рев реактивних літаків, постріли гармат, робота відбійних молотків на близьких відстанях (25—30 м)
	110	Значно шкодить слухові й здоров'ю при тривалому впливі
	100	Шум поїздів метро, дробильних машин і потужних пресів на виробництвах, автомобільні сирени, вуличний шум при інтенсивному русі транспорту
	90 80	Товарний поїзд, вантажний автотранспорт (на відстані 30—50 м), будильники, пилососи, компресори, рев трибун на стадіонах
Припустимі рівні шуму	70 60	Автомобільний рух на трасах, друкарські бюро, шум на вокзалах, в універмагах
	50 40	Малоінтенсивний вуличний рух, розмова кількох осіб
	20	Шелест листя дерев
	10	Дихання людини

Примітки. 1. Шум має акумулятивний ефект, тобто акустичні подразнення, накопичуючись в організмі, дедалі пригнічують нервову систему. Це спричинює розвиток нервово-психічних хвороб, функціональні порушення серцево-судинної системи, зорового й вестибулярного аналізаторів, зниження рефлекторної діяльності.

2. Особливо несприятливу дію на людину (її психіку) справляють інфразвук і ультразвук.

Акустичні коливання (шум) залежно від частоти поділяють на ультразвук ($\nu > 20\,000$ Гц), звук ($\nu = 16$—$20\,000$ Гц), який людина сприймає органами слуху, та інфразвук ($\nu < 16$ Гц). Частота інфразвукових коливань збігається з частотою коливань у людському мозку, тому вони надзвичайно небезпечні для здоров'я. Їх джерелами є транспорт, турбіни, вони виникають під час шторму, виверження вулканів, роботи вітряків; практично не поглинаються, обходячи перешкоди.

Звук може і лікувати, що використовували лікарі і жерці ще в Стародавньому Китаї, Греції, Римі. Шум морського прибою чи легіт листя заспокоює, повертає втрачену рівновагу.

Додаток № 12

Список термінів

(згідно із ДСТУ 2439-94. Елементи хімічні та речовини прості. Терміни та визначення основних понять. Умовні позначення)

Назви хімічних елементів (відповідно: згідно з ДСТУ — загальновживані):

As	арсен	— миш'як	Hg	меркурій	— ртуть
Bi	бісмут	— вісмут	N	нітроген	— азот
H	гідроген	— водень	Pb	плюмбум	— свинець
C	карбон	— вуглець	Sb	стибій	— сурма
Cu	купрум	— мідь	S	сульфур	— сірка
Mn	манган	— марганець	F	флю(у)ор	— фтор

Назви хімічних сполук

H_2S	гідрогенсульфур	— сірководень
H_2O_2	пероксид гідрогену	— пероксид водню
$Pb(C_2H_5)_4$	тетраетилат плюмбуму	— тетраетил свинець
HCl	гідрогенхлорид	— хлороводень

Додаток № 13

Перелік

видів діяльності та об'єктів, що становлять підвищену екологічну небезпеку

1. Атомна енергетика і атомна промисловість (у тому числі видобування і збагачення руди, виготовлення тепловидільних елементів для атомних електростанцій, регенерація відпрацьованого ядерного палива, зберігання чи утилізація радіоактивних відходів).
2. Біохімічне, біотехнічне і фармацевтичне виробництво.
3. Збір, обробка, зберігання, поховання, знешкодження та утилізація всіх видів промислових і побутових відходів.
4. Видобування нафти, нафтохімія і нафтопереробка (враховуючи усі види продуктопроводів).
5. Добування і переробка природного газу, будівництво газосховищ.
6. Хімічна промисловість (разом із виробництвом засобів захисту рослин, стимуляторів їх росту, мінеральних добрив), текстильне виробництво (з фарбуванням тканин і обробкою їх іншими хімічними засобами).
7. Металургія (чорна і кольорова).
8. Вугільна, гірничовидобувна промисловість, видобування і переробка торфу, сапропелю.
9. Виробництво, зберігання, утилізація і знищення боєприпасів усіх видів, вибухових речовин і ракетного палива.
10. Виробництво електроенергії і тепла на базі органічного палива.
11. Промисловість будівельних матеріалів (виробництво цементу, асфальтобетону, азбесту, скла).
12. Целюлозно-паперова промисловість.

13. Деревообробна промисловість (хімічна переробка деревини, виробництво деревостружкових і деревоволокнистих плит та інше з використанням синтетичних смол, консервування деревини просочуванням).
14. Машинобудування і металообробка (з литтям із чавуну, сталі, кольорових металів та хімічною обробкою).
15. Будівництво гідроенергетичних та гідротехнічних споруд і меліоративних систем, разом зі хвостосховищами та шлаконакопичувачами.
16. Будівництво аеропортів, залізничних вузлів і вокзалів, автовокзалів, річкових і морських портів, залізничних і автомобільних магістралей, метрополітену.
17. Тваринництво (тваринницькі комплекси продуктивністю понад 5000 голів і птахофабрики).
18. Виробництво харчових продуктів (м'ясокомбінати, молокозаводи, цукрозаводи, спиртозаводи).
19. Обробка продуктів і переробка відходів тваринного походження (переробка шкіри, виготовлення клею і технічного желатину, утильзаводи).
20. Будівництво каналізаційних систем і очисних споруд.
21. Будівництво водозаборів поверхневих і підземних вод для централізованих систем водопостачання населених пунктів, водозабезпечення меліоративних систем, окремих промислових підприємств.
22. Інші окремі об'єкти, будівництво й експлуатація яких можуть негативно впливати на стан навколишнього природного середовища, які у кожному конкретному випадку визначаються Мінекобезпеки або його органами на місцях.

Додаток № 14

Перелік рослин і тварин — індикаторів чистоти водойм

Рослини	**Тварини**	**Безхребетні**
Латаття біле	Окунь	Личинки волохокрильця
Латаття жовте (глечики жовті)	Судак	Личинки беззубки
Вільха чорна	Йорж	Личинки перлівниці
Верба	Щука	Перлівниця
Водокрас	Головень	
Тілоріз	Підуст	
	Жерех	

Додаток № 15

Значення припустимих рівнів радіонуклідів ^{137}Cs та ^{90}Sr у харчових продуктах і питній воді (Бк/кг, Бк/л)

Назва продукту	^{137}Cs	^{90}Sr
Хліб, хлібопродукти	20	5
Картопля	60	20
Овочі	40	20
Фрукти	70	10
М'ясо і м'ясні продукти	200	20
Риба і рибні продукти	150	35
Молоко і молочні продукти	100	20
Яйця (шт.)	6	2
Вода	2	2
Молоко згущене й концентроване	300	60
Молоко сухе	500	100
Свіжі дикорослі ягоди і гриби	2500	250
Лікарські рослини	600	200
Продукти дитячого харчування	40	5
Інші продукти	600	200

Додаток № 16

Чинники, які негативно впливають на здоров'я людини у побуті

Діючий чинник	Фізіологічна дія
Тютюновий дим	рак легенів, ураження легенів і мозку, нервові хвороби та ін.
Метиленхлорид — від фарб і лаків	нервові хвороби, головний біль, діабет
Хлороформ — від гарячого душу	рак
Стірен — від штучних килимів	ураження нирок, легенів
Трихлоретан — від аерозольних балонів	ураження органів дихання і мозку
Бактерії, віруси, грибки — від зволожувачів, кондиціонерів, домашніх тварин, людей	грип, "хвороба легіонерів"
Електромагнітні хвилі — від побутових електро- і електронних приладів	ушкодження нервової системи, зору
Метан — від газових приладів	отруєння, пожежі, вибухи
Оксиди нітрогену — від плит, камінів, печей	ураження легенів, головний біль, хвороби дітей
Азбест — ізоляція теплооб'єктів, вінілові покриття як наповнювач	рак, ураження легенів
Шум від гучномовців, телевізорів, побутових приладів	неврози, деградація слуху

Додаток № 17

Сучасні максимальні показники біорізноманіття (кількість видів)

Країна	Савці	Птахи, що гніздуються	Земно-водні	Амфібії	Прісно-водні	Безхребетні	Судинні рослини
Україна	117	270	21	17	184	44 371	5101
Білорусь	70	208	7	—	58	10 000	1720
Болгарія	94	383	36	16	207	25 761	3583
Угорщина	72	203	15	17	81	41 460	2214
Польща	85	224	9	18	66	28 384	2300
Румунія	84	249	25	19	—	—	3350
Туреччина	116	284	102	18	175	—	8579

Додаток № 18

Одиниці вимірювання твердості води

В Україні за одиницю твердості води вважають моль/м³ (ммоль/л).

1 моль/м³ відповідає масовій концентрації іонів кальцію ($1/2\ Ca^{2+}$) 20,04 г/м³ і іонів магнію ($1/2Mg^{2+}$) 12,153 г/м³.

1 моль/м³ = 1 ммоль/л = 1 мг-екв/л =1 мг-екв/дм³.

Співвідношення між одиницями твердості, прийнятими в різних країнах, наведені нижче.

Моль/м³ 1 мг-екв/л	Німецький градус, d°	Французький градус, t°	Американський градус	ppm (мг/л) $CaCO_3$
1,000	2,804	5,005	50,050	50,050

Один німецький градус відповідає 10 мг/л CaO або 17,86 $CaCO_3$ у воді.

Один французький градус відповідає 10 мг/л $CaCO_3$ у воді.

Один американський градус відповідає 1 мг/л $CaCO_3$ у воді.

Додаток № 19

Лісистість України

Природна зона	Лісистість		
	Минулого	Нинішня	Оптимальна
Україна	44,4	15,6	20—22
в тому числі: Полісся	72,8	26,8	32
Лісостеп	52,0	13,0	18
Степ	20,0	5,3	9
Карпати	76,0	42,0	45
Крим	14,2	10,4	19

Додаток № 20

Обсяги токсичних промислових відходів у шламосховищах та на території підприємств України (кінець 2001 р.)

Клас небезпечних відходів	Обсяги відходів, тис. т, за роками					
	1995	1997	1998	1999	2000	2001
Всього	4 706 880,1	4 158 636,6	4 210 564,5	4 366 206,0	2 969 939,1	23 008,3
в тому числі: I класу	28,9	34,5	35,3	147,8	149,1	157,3
II класу	16 499,1	1382,7	1398,1	1386,4	1685,2	1851,7
III класу	38 313,0	32 576,9	32 904,0	35 564,8	24 409,8	20 999,3
IV класу	4 652 039,1	4 124 642,5	4 176 227,1	4 329 107,0	2 943 695,0	

Додаток № 21

Надходження забруднюючих речовин у довкілля

	1985	1990	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Надходження забруднюючих речовин, тис. т:										
в атмосферу	18 777	15 549	8347	7484	6342	5966	6041	5853	5909	4055
у поверхневі водойми	8956	9706	12 386	12 282	11 895	9541	9181	8917	9108	8678
в земельні ресурси	...	...	75 670	75 605	75 677	60 773	60 136	57 704	49 420	45 928
Надходження забруднюючих речовин у розрахунку на душу населення, кг:										
в атмосферу	369	300	161	145	124	118	120	117	119	83
у поверхневі водойми	176	187	239	238	233	188	183	179	184	178
в земельні ресурси	...	...	1457	1956	1481	1186	1195	1156	998	944

Додаток № 22

Сучасна позиція і стратегія Європейської комісії, ООН та Світового Банку у сфері охорони довкілля.

Вибіркові матеріали 5-ої Всеєвропейської конференції "Довкілля для Європи"

1. Цілі розвитку людства на нове тисячоліття (Матеріали з "Декларації тисячоліття", 2000 р.)

"Ціль 1: викоренити крайню бідність і голод"

Скоротити вдвічі (за період з 1990 р. по 2015 р.) частку людей, прибуток яких складає менш ніж 1$ у день.

За цей же період удвічі зменшити частку населення, що потерпає від голоду.

"Ціль 2: досягнути загальної навчальної освіти"

Забезпечити усім дітям (як хлопцям, так і дівчатам) можливість отримання нормальної початкової шкільної освіти.

"Ціль 3: сприяти рівності чоловіків і жінок та розширенню прав і можливостей жінок"

Усунення нерівності чоловіків і жінок у сфері початкової і середньої освіти (бажано до 2005 р.) та на всіх рівнях освіти не пізніше 2015 р.

"Ціль 4: зменшення дитячої смертності"

Зменшити показник смертності дітей до 5 років на дві треті за період з 1990 р. по 2015 р.

"Ціль 5: покращити здоров'я матері"

Протягом 1990—2015 рр. зменшити коефіцієнт материнської смертності на три чверті.

"Ціль 6: боротьба з ВІЛ/СНІД, малярією та іншими хворобами"

До 2015 р. припинити поширення захворювання ВІЛ/СНІД та покласти початок тенденції до скорочення масштабів цих захворювань.

Припинити, до 2015 р., та покласти початок тенденції до припинення розповсюдження малярії та інших небезпечних хвороб.

"Ціль 7: забезпечити екологічну сталість"

Ввести принципи сталого розвитку в політику і програми держав та покласти початок тенденції до покращення витрат екологічних ресурсів.

До 2015 р. вдвічі скоротити частку людей, що не мають сталого доступу до безпечної питної води.

До 2020 р. досягнути значного прогресу в піднесенні рівня життя не менш ніж 100 мільйонам мешканців найбідніших кварталів міст.

"Ціль 8: розвивати глобальне партнерство в цілях розвитку"

Розвивати далі відкриту, регульовану, передбачувану, недискримінаційну торгівлю і фінансову систему.

Вирішувати проблему особливих потреб найменш розвинутих країн.

Вирішувати проблему особливих потреб країн, що не мають виходу до моря, і малих острівних держав, що розвиваються.

Повністю урегулювати проблеми заборгованості країн, що розвиваються, за допомогою національних і міжнародних заходів, спрямованих на те, щоб ці країни могли погасити заборгованість у довгостроковій перспективі.

У співпраці з країнами, що розвиваються, розробити і здійснити стратегію гідної та продуктивної праці для молоді.

У співпраці з фармацевтичними компаніями забезпечити доступ до основних ліків у країнах, що розвиваються.

У співпраці з приватним сектором зробити доступними переваги нових технологій, особливо у сфері інформаційних і комунікаційних технологій.

2. Пріоритетні загальноєвропейські проблеми і завдання

Із початком розвитку загальноєвропейського процесу в останнє десятиріччя XX століття в природоохоронній сфері важливі перехідні явища економічного й соціального характеру привели до того, що екологічна ситуація в одних областях покращилась, а в інших, навпаки, погіршилась. Так, у країнах Центральної і Східної Європи, Кавказу, Центральної Азії з переходом до ринкової економіки і відмови від централізованої планової економіки зменшився шкідливий вплив на водні ресурси з боку промисловості і сільського господарства, скоротилася кількість забруднювачів, які надходять у ґрунти й повітря. З іншого боку, негативним результатом економічних і соціальних змін стало залишання оброблюваних сільськогосподарських угідь, поява великої кількості залишених земель, що почало сприяти втраті біорізноманіття та виникненню інших проблем.

Розвиток транспортних інфраструктур і розростання міст почали завдавати все більшої шкоди ґрунтам, лісам і лісопарковим зонам, браконьєрство стало справжньою бідою як на суші, так і на морі, а бідність переважної кількості населення стала причиною активізації розвитку злочинності, зловживань у сфері природокористування.

Збалансоване, **екологічно** виправдане використання природних ресурсів є найважливішим питанням з тих пір, як ця проблема була означена на всесвітньому Самміті у Ріо-де-Жанейро (1992) і нещодавно знову обговорювалась як одна з пріоритетних на Самміті у Йоганнесбургу (2002) та на 5-й конференції міністрів навколишнього середовища (Київ, 2003).

Останні 20 років економічні системи країн Західної, Центральної та Східної Європи все більше використовували імпортну сировину. А це означає, що вплив на довкілля, пов'язаний з видобуванням корисних копалин, продовжував збільшуватися в інших регіонах світу. Тому **необхідно, щоб усі країни розуміли, який саме вплив вони справляють на навколишнє середовище як на своїй землі, так і в інших регіонах світу** в результаті економічної діяльності. Тобто оцінка сталості (еколого-збалансованого розвитку) повинна виконуватися не на регіональному рівні чи рівні окремих країн, а на глобальному рівні. Тільки тоді результати оцінки будуть об'єктивними і змістовними.

Енергетика залишається тією галуззю, яка найбільш негативно впливає на навколишнє се-редовище і на зміни клімату. Тому стратегічно важливою є реалізація в цих країнах заходів щодо якомога повнішого використання відновлювальних, альтернативних джерел енергії — сонячної, вітрової, енергії біомаси та води та ін., зменшення негативного впливу на довкілля теплової енергетики, підвищення безпеки атомної енергетики.

У Західній Європі **транспорт** став другим за величиною споживачем енергії і, одночасно, найпотужнішим джерелом забруднень повітря, особливо — викидів парникових газів в атмосферу. Тому одна з найважливіших екологічних проблем, яку необхідно вирішувати у XXI столітті спільно всім країнам Європи, — це оцінка всіх видів впливу транспорту на довкілля, організація системи спеціального екологічного моніторингу у транспортній галузі, розробка відповідних інтегрованих політичних заходів, спільної нормативно-правової бази і заходів ефективного екологічного контролю.

Необхідно ввести в дію більш жорсткі правила проведення інспекційних перевірок, профілактичних оглядів та технічного обслуговування і технічного огляду засобів транспорту в усіх країнах. Важливим є вирішення стратегічного питання розділення процесів розвитку транспорту і забезпечення економічного зростання.

Планується продовження будівництва на схід загальноєвропейської транспортної мережі: залізниць — довжиною близько 21 тис. км і автомагістралей — довжиною 19 тис. км з загальною вартістю будівельних робіт близько 91,5 млрд. євро.

Туризм, який є одним з найбільш швидко зростаючих секторів економіки у країнах Центральної і Східної Європи, значною мірою сприятиме розвитку транспорту. Одночасно він створюватиме додаткові навантаження на довкілля в зонах відпочинку, історико-культурних районах та ін. (збільшення відходів, забруднень, споживання води тощо).

В Центральній і Східній Європі необхідно здійснити значні капіталовкладення, направлені на підвищення рівня виконання національних і міжнародних екологічних вимог **у промисловості** і на виведення цього рівня на загальноєвропейські стандарти.

Значні зміни необхідно здійснити **у галузі сільського господарства** Центральної та Східної Європи, щоб екологічна політика цієї галузі була узгоджена з політикою країн Європейської співдружності (перегляд методів господарювання, всебічна їх екологізація, впровадження вже апробованих агро-екологічних схем господарювання, вирішення проблем з добривами і пестицидами тощо).

У найближче десятиріччя Західна Європа планує здійснити допомогу країнам, що розвиваються, у скороченні виробництва речовин, які руйнують **озоновий шар** (у Західній Європі на початок XXI ст. виробництво речовин — руйнівників озонового шару скоротилось майже на 90%). Одночасно планується допомога у вирішенні проблеми забруднення повітря у великих містах. Для цього необхідне використання гнучких механізмів реалізації у всіх країнах рішень Кіотського протоколу.

Однією з найсерйозніших проблем сьогоднішньої Європи, особливо її центральної і східної часин, є **проблема відходів**, кількість яких неухильно зростає. ЄС не змогла домогтися виконання поставлених цілей із стабілізації кількості відходів. Тому одним із найпріоритетніших завдань залишається вирішення проблеми зменшення відходів у виробництвах і ефективні утилізація та захоронення відходів (Базельська конвенція).

3. Стратегічна екологічна оцінка

Що таке Стратегічна екологічна оцінка?

Стратегічна екологічна оцінка (СЕО) є систематичним процесом аналізу та вирішення питань, пов'язаних із наслідками впливу політики, впровадження тих чи інших планів, програм та інших стратегічних ініціатив на навколишнє середовище та здоров'я.

СЕО, як інструмент, можна використовувати на усіх стадіях прийняття рішень на місцевому, регіональному та загальнонаціональному рівнях При систематичному впровадженні СЕО допомагає вдало виконати цілу низку важливих екологічних цілей та задач і досягти сталого розвитку.

СЕО допоможе всім зацікавленим особам

✓ оцінювати можливі суттєві екологічні наслідки впливу на навколишнє середовище у результаті стратегічних альтернатив та запропонованих дій;

✓ створити умови для екологічно сприятливого впровадження стратегічних рішень;

✓ зберегти час та гроші за рахунок уникання помилок, що дорого коштують;

✓ покращити якість структури управління та вселити у населення надію та довіру по відношенню до процесу прийняття рішень.

У чому полягають особливості екологічних проблем?

Екологічні проблеми відрізняються декількома специфічними особливостями:

✓ *Ефект відстрочки.* Наслідки багатьох потенційних змін у навколишньому середовищі виявляються не одразу, а через доволі значний проміжок часу. Необхідно враховувати цю обставину при здійсненні відповідних заходів, спрямованих на те, щоб запобігти чи пом'якшити негативні процеси.

✓ *Ефект географічної розосереджуваності.* Джерело забруднення та місце, де виявляється його вплив, часто бувають віддаленими одне від одного (наприклад, верхня та нижня течія річки, пагорби, та долини), що потребує створення механізму, який врахує потреби різних зацікавлених сторін.

✓ *Кумулятивний ефект.* Окремі дії часто не виявляють скільки-небудь примітного впливу на навколишнє середовище, проте кумулятивний ефект цілої низки таких дій може бути значним.

✓ *Незворотня шкода.* Значна кількість змін у навколишньому середовищі носить у цілому незворотній характер, а їх наслідки важко пророкувати .

- ✓ *Необхідність державного втручання.* Екологічні проблеми часто є наслідком неадекватного ринкового регулювання. Без державного втручання у формі законодавчого регулювання та створення ринків там, де їх не існує, приватний сектор самотужки не зможе знайти оптимальних екологічних рішень.
- ✓ *Взаємозв'язок між секторами.* Екологічні проблеми притаманні тією чи іншою мірою цілій низці секторів і вимагають погодженої політики та спільних дій.
- ✓ *Регіональні та глобальні наслідки.* Багато екологічних проблем носять транснаціональний та глобальний характер, що вимагає створення міжнародних механізмів та підписання відповідних міжнародних угод, направлених на їх вирішення.

Від протекціонізму до сталого управління екосистемами

Якщо раніше охорона природних ресурсів головним чином полягала у збереженні видів та суворому виконанні природоохоронних заходів, то зараз наголос робиться на сталому використанні біоресурсів та охороні й сталому відтворенні екосистем.

Охорона і раціональне використання екосистем являють собою екологічну основу сталості, але з практичної точки зору для цього необхідні підходи, що характеризуються різним ступенем інтенсивності. Сучасні підходи до охорони навколишнього середовища включають створення районів, що охороняються і, які підрозділяються Міжнародною спілкою охорони природи та природних ресурсів (МСОП) на різні категорії — починаючи з тих, що суворо охороняються, і закінчуючи тими, що передбачають інтенсивне стале використання. До них можуть також належати біологічні коридори, агробіорізноманітні та пасовищні системи і дуже змінені ландшафти — за умови, що їх конфігурація та вплив відповідають намірам охорони та раціонального використання більш широких екосистем.

4. Глобальні екологічні проблеми

Глобальні екологічні проблеми поділяють на дві категорії.

1. До проблем глобального навколишнього середовища, які виявляють безпосередній вплив на найважливіші компоненти систем планети, відносяться:
   - ✓ зміна клімату;
   - ✓ виснаження озонового шару;
   - ✓ акумуляція стійких органічних забруднюючих речовин (СОЗ);
   - ✓ втрата деяких елементів біологічного різноманіття, таких як мігруючі види, які перетинають державні кордони, та генетичні ресурси, які мають глобальне значення.

   Для успішного вирішення цих проблем усім країнам необхідно прикласти координовані зусилля.
2. Деградація природних ресурсів у світовому масштабі, у тому числі:
   - ✓ більшість не вказаних вище проблем, які стосуються скорочення біологічного різноманіття;
   - ✓ деградація міжнародних вод та морських екосистем;
   - ✓ деградація ґрунту та опустелювання;
   - ✓ виродження та втрата лісних ресурсів.

Не зважаючи на те, що ці проблеми здебільшого носять внутрішньодержавний або регіональний характер, та з огляду на їх гостроту часто вимагаються координовані зусилля багатьох країн.

(Із розробок Регіонального екологічного центру для Центральної Східної Європи, Проект розвитку Організації Об(єднаних Націй, 2002)

І. Основні заходи Комплексної програми впровадження на національному рівні рішень Всесвітнього саміту зі сталого розвитку

№ з/п	Рішення Всесвітнього саміту зі сталого розвитку	Заходи для впровадження рішень Всесвітнього саміту зі сталого розвитку	Відповідальні виконавці	Термін виконання
1	2	3	4	5
		В соціальній сфері		
1.	До 2015 р. вдвоє зменшити питому вагу населення, чий дохід становить менше ніж 1 долар на день	Реалізація Стратегії подолання бідності, затвердженої Указом Президента України № 637 від 15.08.01 р., що дасть змогу до 2015 р. зменшити вдвоє питому вагу населення, вартість добового споживання якого не перевищує 4,3 долара США за паритетом купівельної спроможності	Мінпраці, інші центральні органи виконавчої влади	2003—2015 роки
2.	Створити спільний світовий фонд для ліквідації бідності та сприяння соціальному і людському розвитку країн, що розвиваються	Підготовка пропозицій щодо участі України у створенні спільного світового фонду для ліквідації бідності та сприяння соціальному і людському розвитку	Мінпраці, Мінфін, МЗС, Мінекономіки	2003 р.
3.	До 2015 р. вдвоє зменшити питому вагу населення, яке не має доступу до ресурсів безпечної питної води	Виконання положень Комплексної програми першочергового забезпечення сільських населених пунктів, що користуються привізною водою, централізованим водопостачанням на 2001-2005 рр. і прогноз до 2010 р. (Постанова Кабміну № 1735 від 23.11.2000 р.), згідно із Загальнодержавною програмою розвитку водного господарства України	Держводгосп, Держжитлокомунгосп	2001—2010 роки
4.	До 2015 р. вдвоє зменшити питому вагу населення, яке не має доступу до санітарного забезпечення	Виконання положень Програми розвитку водопровідно-каналізаційного господарства (Постанови Кабміну № 1269 від 17.11.97 р. та № 721 від 01.06.02 р.)	Держжитлокомунгосп, Рада Міністрів АР Крим, обласні, Київська та Севастопільська міські держадміністрації	2003—2010 роки
5.	До 2015 р. реалізувати програми й ініціативи щодо зниження смертності немовлят, дітей до п'яти років та материнської смертності на 75% порівняно з базовим показником у 2000 р.	Подальша реалізація заходів щодо зниження дитячої та материнської смертності, передбачених Указом Президента № від 24.01.01 р. "Про додаткові заходи щодо забезпечення виконання Національної програми "Діти України" на період до 2005 р." та Указом № 203 від 26.03.01 р. "Про Національну програму "Репродуктивне здоров'я 2001—2005 рр.", таким розпорядженням Кабміну № 161-р від 29.03.02 р. "Про затвердження Концепції безпечного материнства", що	МОЗ, Академія медичних наук України	2003—2005 роки

1	2	3	4	5
		дасть змогу до 2006 р. знизити рівень дитячої смертності на 12%, материнської смертності — на 18% порівняно з базовим показником 2000 р.		
6.	До 2005 р. зменшити процес поширення ВІЛ/СНІДу серед молоді віком 15—24 роки на 25% у найбільш вражених країнах та до 2010 р. — в усьому світі	Виконання заходів Програми профілактики ВІЛ-інфекції/СНІДу в Україні на 2001—2003 рр. (Постанова Кабміну № 790 від 11.07.01 р.). Розробка проекту відповідної програми на 2004—2008 рр. До 2005 р. стабілізувати поширення ВІЛ/СНІДу серед уразливих груп населення (особливо серед споживачів ін'єкційних наркотиків), а до 2010 р. знизити масштаби його поширення серед молоді віком 15—24 роки на 25%	МОЗ, Академія медичних наук України	2003—2010 роки
7.	Зміцнити зв'язки між наукою та освітою в інтересах сталого розвитку на всіх рівнях з метою обміну знаннями, досвідом та передовою практикою	Забезпечення організаційно-правових передумов організації науково-освітніх центрів	НАНУ, МОН	2003 р.
8.	Підтримувати державні науково-дослідні організації в розробці нових, більш чистих видів продукції та виробничих технологій	Реалізація державних наукових і науково-технічних програм з пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки на 2002—2006 рр. (Постанова Кабміну № 1716 від 24.12.01 р.)	МОН, НАНУ, Мінекономіки, Мінфін	2003—2006 роки
9.	Сприяти рівноправній участі жінок в процесі прийняття рішень на всіх рівнях, інтеграції гендерних аспектів в національні програми і стратегії	Реалізація Національного плану дій щодо поліпшення становища жінок та сприяння впровадженню гендерної рівності у суспільстві (Постанова Кабміну № 479 від 06.05.01 р.). Розробка та прийняття проекту Закону України "Про державні гарантії рівних прав і можливостей жінок і чоловіків". Реалізація Указу Президента України № 283 від 25.04.01 р. "Про підвищення соціального статусу жінок в Україні"	Держкомсім'я-молодь	2003—2005 роки
10.	Сприяти розширенню можливостей для продуктивної зайнятості з урахуванням Декларації про найважливіші принципи і права у сфері праці Міжнародної організації праці	Виконання завдань Державної програми зайнятості населення на 2001—2004 рр. (Закон України № 3076 від 07.03.02 р.) та Національної програми професійної реабілітації і зайнятості осіб з обмеженими фізичними можливостями на 2001—2005 рр. (Указ Президента України № 519 від 13.06.01 р.)	Мінпраці	2003—2005 роки

Д

1	2	3	4	5
11.	Сприяти сталому розвитку туризму шляхом формування на місцевому рівні відповідної інфраструктури	Виконання заходів Державної програми розвитку туризму на 2002—2010 рр. (Постанова Кабміну № 583 від 29.04.02 р.)	Держтурадміністрація, інші центральні органи виконавчої влади, Рада Міністрів АР Крим, обласні, Київська та Севастопільська міські держадміністрації	2003—2010 роки
		В економічній сфері		
1.	Розширити доступ до сучасних систем енергозабезпечення населенню, яке його не має	Розробка "Енергетичної стратегії України на період до 2030 р. та подальшу перспективу" (розпорядження Президента України № 42 від 27.02.01 р., Постанова Верховної Ради України № 2455 від 24.05.02 р.)	НАНУ, Мінпаливенерго	2003 р.
2.	Ввести в дію програми, спрямовані на підвищення енергоефективності та збільшення використання відновлюваних джерел енергії	Реалізація Комплексної державної програми енергозабезпечення України (Постанова Кабміну № 148 від 05.02.97 р.), розробка та реалізація заходів щодо використання відновлюваних джерел енергії біологічного походження	Держкоменергозбереження, Мінекономіки, інші центральні органи виконавчої влади, обласні, Київська та Севастопільська міські державні адміністрації	2003—2010 роки
3.	До 2015 р. відновити продуктивність рибних ресурсів до їх максимально сталого значення	Реалізація Концепції розвитку рибного господарства України (Постанова Верховної Ради України № 1885 від 13.07.2000 р.)	Мінагрополітики, Мінекоресурсів	2015 р.
4.	Здійснення допомоги та мобілізація ресурсів для підвищення продуктивності та конкурентоспроможності промисловості, активізація трансферу екологічно чистих технологій на взаємоузгоджених преференційних умовах	Розробка та прийняття проекту Закону України "Про державне регулювання трансферу технологій" та відповідних підзаконних актів	МОН	2003 р.

1	2	3	4	5
5.	До 2002 р. досягти такого виробництва і використання хімічних речовин та небезпечних відходів, яке дало б змогу мінімізувати їх шкідливий вплив на довкілля і здоров'я людини	Реалізація "Загальнодержавної програми поводження з токсичними відходами", затвердженої Законом України № 1947I від 14.09.2000 р.	Мінекоресурсів, Держбуд, НАНУ, МОЗ, Мінпромполітики, Мінагрополітики	2003—2020 роки
6.	Здійснювати фінансування заходів у рамках Конвенції з питань боротьби з опустелюванням через Глобальний екологічний фонд	Реалізація Комплексної програми розвитку меліорації земель і поліпшення екологічного стану зрошуваних та осушених угідь у 2001—2005 рр. та прогноз до 2010 р. (Постанова Кабміну № 1704 від 16.11.2000 р.)	Держводгосп	2003—2010 роки
7.	Поповнити Глобальний екологічний фонд до рівня 2,92 млрд дол.	Підготовка пропозицій щодо можливих форм участі країни в Глобальному екологічному фонді	Мінекоресурсів, Мінекономіки, Мінфін	
8.	Запровадити екологічно чисті, ефективні та дієві методи підвищення родючості грунтів та боротьби з сільськогосподарськими шкідниками	Розробка та затвердження Комплексної інноваційної програми підвищення родючості грунтів та боротьби з сільськогосподарськими шкідниками	Мінагрополітики	2003—2005 роки 2003 р.
		В екологічній сфері		
1.	Запровадити інтегроване управління водними ресурсами та здійснити плани щодо ефективного водозабезпечення до 2005 р. з підтримкою в цій сфері дій країн, що розвиваються	Активізація реалізації Національної програми екологічного оздоровлення басейну Дніпра та поліпшення якості питної води (Постанова Верховної Ради України № 123 від 27.02.97 р.), запровадження басейнового принципу управління в галузі використання, охорони та відтворення водних ресурсів України	Мінекоресурсів	2003—2005 роки
2.	На національному і регіональному рівнях забезпечити виконання міжнародного плану дій щодо управління рибними запасами до 2005 р. і міжнародного плану дій із запобігання, стримування і ліквідації нелегального рибальства до 2004 р.	Реалізація Комплексної програми діяльності з припинення незаконного вилову риби іноземними суднами в територіальному морі та винятковій (морській) економічній зоні України на 2002—2006 рр. (Постанова Кабміну № 1353 від 12.09.02 р.)	Мінекоресурсів, Мінагрополітики	2003—2005 роки
3.	До 2012 р. організувати зразкову мережу захищених морських акваторій	Реалізація Загальнодержавної програми охорони та відтворення довкілля Азовського і Чорного морів (Закон України № 2333 від 22.03.01 р.)	Мінекоресурсів	2001—2010 роки

Д

1	2	3	4	5
4.	Організувати до 2004 р. під проводом ООН регулярний процес глобальної звітності та оцінювання стану морського середовища, включаючи соціально-економічні аспекти, як поточні, так і прогнозні, на основі існуючих регіональних даних	Створення національної регулярної системи екологічної звітності щодо оцінки стану акваторій Чорного та Азовського морів у контексті збалансованого екологічного розвитку	МОН, Мінекоресурсів	2003—2004 роки
5.	Здійснити модернізацію муніципальних очисних споруд у період 2003—2010 рр. у рамках Глобальної програми дій щодо захисту морського середовища від наземних джерел забруднення	Реалізація Програми розвитку водопровідно-каналізаційного господарства (Постанови Кабміну № 1269 від 17.11.97 р. та № 721 від 01.06.02 р.)	Держжитлокомунгосп, Рада міністрів АР Крим, обласні, Київська та Севастопільська міські держадміністрації	2003—2010 роки
6.	Виконання зобов'язань за Рамковою конвенцією ООН про зміну клімату	Підготовка до ратифікації Кіотського протоколу до Рамкової конвенції ООН про зміну клімату	Мінекоресурсів	2003 р.
7.	До 2010 р. поліпшити доступ країн, що розвиваються, та країн з перехідною економікою до екологічно ефективних замінників речовин, що руйнують озоновий шар	Підготовка та реалізація проекту нової редакції Програми припинення в Україні виробництва та використання озоноруйнуючих речовин з метою забезпечення Україною вимог Монреальського протоколу	Мінекоресурсів	2003 р.
8.	Вжити негайних дій щодо нагляду за виконанням лісового законодавства і міжнародною торгівлею лісоматеріалами	Реалізація Державної програми "Ліси України" на 2002—2015 рр. (Постанова Кабміну № 581 від 29.04.02 р.)	Держкомлісгосп, Мінагрополітики, Мінекоресурсів, Міноборони, МНС, АР Крим, обласні, Київська та Севастопільська міські держадміністрації	2003—2015 роки
9.	Зниження до 2010 р. існуючих темпів втрати біологічного різноманіття	Реалізація Загальнодержавної програми формування національної екологічної мережі України на 2000-2015 рр. (Закон України № 1989 від 14.09.2000 р.)	Мінекоресурсів	2003—2010 роки

II. Орієнтовні показники збалансованого природно-ресурсного розвитку України в період до 2020—2025 рр. за балансом основних природних ресурсів

№ п/п	Вид природного ресурсу	Рівень використання		Заходи щодо збалансованого розвитку
		Нинішній	Оптимальний	
1.	Сільськогосподарські землі (площа, млн га), в т.ч. орні	43,5 32,9	36,5—37,5 26,6—27,2	Зміна виду використання землі; лісонасадження на еродованих землях; використання прогресивних технологій
2.	Водні ресурси (структура водокористування): • підземні води (млрд м³/рік)	4,4	7,0—8,0	Зниження водоємності у промисловості, сільському господарстві і житловому секторі. Покращення екологічного стану поверхневих і підземних об'єктів; розвиток технологій водопідготовки та систем водопостачання
	• поверхневі води (млрд м³/рік)	21,0	12,0—15,0	
	• відсоток вод у системах питногосподарського водопостачання, які відповідають вимогам Державного стандатру "Вода питна"	40—50%	90—100%	
3.	Мінерально-сировинні ресурси	Втрати вод з 25—40% до 70% і незворотні порушення стану надр в усіх гірничо-видобувних регіонах; погіршення стану ґрунтів, водних ресурсів, скорочення біорізноманіття	Впровадження технологій з підвищенням рівня використання сировини до 50—70%; комплексне використання і переробка відходів; збереження стану надр та ландшафтів	Стабілізація і поступове скорочення видобутку основних видів мінерально-сировинних ресурсів (вугілля, залізних, титанових, марганцевих руд), зниження енергоємності гірничо-видобувних робіт
4.	Лісові ресурси (млн га): • середовищно-захисні;	4,00	6,5	Лісорозведення на низькопродуктивних та еродованих землях, створення цілісних систем полезахисних смуг, включення до екологічної мережі разом із заповідно-генетичними середовищно-захисних та рекреаційних лісів; створення екомережі та збереження біорізноманіття
	• полезахисні лісосмуги;	0,45	1,1	
	• ліси екологічної мережі;	0,9	7,0	
	• ліси, що є перспективними для господарського використання;	5,7	9,9	
	• Заповідний фонд рослинності	2,4	6,5	

Д

III. Основні показники використання і відведення води

(млн куб. м)

	1990	1995	1997	1998	1999	2000	2001
Забрано води із природних водних об'єктів (всього)	35 615	25 852	21 091	19 027	19 748	18 282	17 577
в тому числі: для використання*	31 293	19 174	15 491	13 935	14 561	13 302	12 558
Спожито свіжої води (включаючи морську)	30 201	203	15 623	13 836	14 285	12 991	12 168
з неї на: виробничі потреби	16 247	10 421	7666	6794	7304	6957	7033
господарсько-питні потреби	4647	4404	3929	3812	3566	3311	3041
зрошення	6959	3469	2444	2168	2327	1699	1158
сільськогосподарські потреби	1697	1331	949	635	641	513	381
Загальне водовідведення	20 261	14 981	12 534	11 040	11 488	10 964	10 569
у тому числі: забруднених зворотних вод	3199	4652	4233	4228	3920	3313	3008
із них без очищення	470	912	763	813	748	758	746
нормативно очищених	3318	1936	1798	1644	1743	2100	2188
Обсяг оборотної і послідовно використаної води	67 661	51 054	45 927	42220	40 969	41 523	41 334
Потужність очисних споруд	8131	8419	8271	8284	8018	7992	7790

* В заборі води для використання не враховано воду із каналів

IV. Викиди шкідливих речовин в атмосферне повітря від автотранспорту в Україні, областях і в Автономній Республіці Крим

	1985	1990	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Україна	6613,9	6110,3	1796,5	1578,5	1433,0	1884,5	1747,0	1949,2
Автономна Республіка Крим	362,3	335,2	67,2	60,8	55,3	99,0	92,4	89,9
Вінницька	281,3	248,5	74,4	7,56	58,3	80,7	71,4	65,5
Волинська	142,9	134,5	33,6	38,4	36,1	41,9	37,5	24,9
Дніпропетровська	273,1	358,3	75,5	66,7	58,5	152,4	156,8	155,9
Донецька	570,3	550,9	157,8	135,5	119,9	205,6	197,2	205,3
Житомирська	205,9	192,4	37,2	52,3	46,7	61,0	55,0	49,5
Закарпатська	132,9	106,3	23,5	20,4	18,0	38,9	37.7	33,0
Запорізька	305,9	299,6	77,3	67,1	56,7	52,7	46,6	102,1
Івано-Франківська	101,1	146,2	54,0	41,7	41,1	47,1	48,3	43,8
Київська	358,2	289,2	86,5	85,7	64,5	72,9	53,6	86,7
Кіровоградська	204,5	166,3	49,4	42,1	36,2	55,9	54,6	35,7
Луганська	174,5	308,2	92,4	78,6	72,5	103,1	93,8	100,2
Львівська	320,7	295,4	115,0	74,7	107,1	97,5	88,1	84,3
Миколаївська	222,5	201,7	50,7	41,7	36,1	32,8	26,7	42,8
Одеська	354,2	297,1	84,2	72,2	70,0	103,5	98,8	90,3
Полтавська	324,9	279,8	107,4	99,9	89,4	106,3	101,0	91,5
Рівненська	161,2	141,4	39,3	35,1	30,5	24,0	20,6	35,6
Сумська	183,5	179,6	57,8	52,7	46,2	42,2	35,4	54,8
Тернопільська	183,0	148,6	43,4	37,1	31,3	26,4	20,5	34,1
Харківська	434,7	318,6	126,2	108,5	92,4	147,6	134,9	124,9
Херсонська	236,9	189,1	51,9	47,0	44,4	60,5	55,1	52,7
Хмельницька	214,6	183,4	57,0	49,8	43,7	37,9	30,1	51,6
Черкаська	286,0	213,2	69,3	62,5	52,4	47,3	40,1	64,3
Чернівецька	121,4	107,3	24,7	20,3	17,6	15,0	27,4	31,0
Чернігівська	186,8	174,7	63,2	5,25	46,3	62,9	56,8	44,0
м. Київ	231,3	218,3	69,8	57,0	55,1	54,7	52,3	137,8
м. Севастополь	39,3	26,5	7,8	8,0	6,7	14,7	14,3	17,0

ПРИКЛАДИ КОНТРОЛЬНИХ ТЕСТОВИХ ЗАВДАНЬ

1. Що ви розумієте під сталим розвитком (Sustainable development)?

а) розвиток цивілізації на основі технологічного прогресу й розвитку економіки, що супроводжується постійним нарощуванням валового продукту;

б) розвиток, за якого відбувається постійний перерозподіл у світі між країнами, що розвиваються, і високо індустріальними країнами мінеральних, біологічних, трудових, земельних, водних і матеріальних ресурсів;

в) розвиток, в основу якого покладено ідею "виживає мудріший і сильніший";

г) розвиток з урахуванням господарської ємності біосфери за принципами еколого-економічної збалансованості людської діяльності.

2. Якою, на вашу думку, є основна особливість життя?

а) конкурентоспроможність;

б) стійкість до змін кліматичних умов;

в) здатність еволюціонувати і безперервно адаптуватися до зовнішніх умов, що змінюються;

г) здатність активно мігрувати.

3. Яке з наведених нижче визначень сучасної екології ви вважаєте правильним?

а) розділ біології, що вивчає живі системи планети у їх взаємодії;

б) наука, що вивчає роль людського суспільства в біосфері;

в) комплексна наука, яка вивчає будову, функціонування і взаємозв'язки екосистем усіх рівнів, а також методи і шляхи збереження біосфери та цивілізації;

г) наука про сучасні методи охорони і відтворення довкілля.

4. Чим, на ваш погляд, є ноосфера?

а) сферою нових відносин людини і довкілля;

б) сферою інтелектуальної діяльності людини;

в) вищою стадією розвитку біосфери ("сферою розуму"), в якій розумна людська діяльність стає головним чинником розвитку;

г) стадією переходу до остаточного підкорення людиною природи.

5. Що ви вважаєте головною причиною розвитку глобальної екологічної кризи?

а) негативні кліматичні зміни на планеті під впливом космічних сил;

б) технічний прогрес і виснаження природних ресурсів;

в) вирубування лісів;

г) низьку екологічну культуру людини та її намагання панувати над природою.

6. Які з видів альтернативної енергетики є найперспективнішими для використання в Україні?

а) геотермальна енергетика;

б) геліоенергетика;

в) біо- та вітроенергетика;

г) енергія припливів і відпливів.

7. Що таке "екологічний паспорт?"

а) посвідчення еколога-експерта;

б) дозвіл на певні обсяги скидів і викидів об'єкту-забруднювачу довкілля;

в) комплексний документ, у якому чітко викладено аспекти взаємовідносин (будь-якого об'єкта людської діяльності) із довкіллям;

г) документ, у якому висвітлено план природоохоронної діяльності.

8. Визначте, які види вартості пов'язані з екологічними проблемами і враховані чинним законодавством?

а) вартість утримання територій заповідного фонду;

б) вартість створення природоохоронних програм;

в) вартість руйнування, відновлення і охорони довкілля;

г) вартість утримання всіх підрозділів природоохоронної служби.

9. Що, на вашу думку, є "екологічним коридором" ("зеленим коридором")?

а) лісосмуги;

б) природно-ландшафтні смуги (ділянки, території), які з'єднують "екологічні ядра" (заповідні території) і сприяють збереженню біорозмаїття та підтриманню природного каркасу територій;

в) ділянки між екотопами;

г) ландшафти, вкриті деревами і чагарниками.

10. Яке з наведених визначень екологічного збитку є найповнішим?

а) витрати підприємства на охорону природи;

б) втрати суспільства від змін корисності навколишнього середовища у зв'язку з його забрудненням і необхідністю витрат на відновлення довкілля, компенсацію ризиків, компенсацію за погіршення здоров'я людей, ресурсів тощо;

в) збитки від зниження і втрати працездатності внаслідок погіршення екологічних умов праці і проживання;

г) втрати від екологічних катастроф.

11. Що таке вторинні енергоресурси?

а) енергоресурси, які за значенням посідають друге місце в регіоні;

б) енергія різних видів, яка виділяється при здійсненні технологічних процесів та використанні устаткування і не є головною в технології виробництва, але може бути ефективно використана для енергопостачання завдяки інноваціям;

в) втрати тепла на електростанціях;

г) втрати тепла у промисловості.

12. Виберіть із наведених варіантів правильне визначення екологічної ліцензії:

а) право на виконання екологічної експертизи;

б) право на проведення екологічного менеджменту;

в) документ, який дає право на забруднення довкілля певним токсикантом на конкретний проміжок часу;

г) документ, що дає право на видобуток природних ресурсів із перевищенням чинних нормативів.

13. Що таке рекультивація земель?

а) удобрення ґрунту;

б) штучне відновлення родючості ґрунту та рослинного покриву після техногенного порушення або руйнування об'єктів природи;

в) спеціальне оброблення ґрунту;

г) створення заповідних зон і ділянок.

14. Що таке "демографічний вибух"?

а) різке зростання населення у високорозвинених країнах;

б) різке, неконтрольоване зростання кількості населення на планеті за рахунок країн, що розвиваються;

в) перевищення кількості народжень над кількістю смертельних випадків у тій чи іншій країні;

г) різке підвищення народжуваності.

15. Що спричинило кризовий екологічний стан у середньому Придніпров'ї?

а) створення каскаду Дніпровських водосховищ;

б) інтенсивний розвиток металургійної, хімічної, нафтодобувної і нафтопереробної промисловості;

в) розвиток енергетики і транспортної мережі;

г) розвиток цементної, машинобудівної та легкої промисловості.

16. Від чого найбільше потерпають сільськогосподарські угіддя півдня України?

а) від вітрової ерозії ґрунтів;

б) від засолення ґрунтів;

в) від осушення земель;
г) від транскордонних забруднень повітря.

17. Назвіть основні екологічні функції редуцентів:
а) конструкція органічних речовин у ґрунті;
б) перетворення органічних решток на неорганічні речовини;
в) окиснення органічних речовин;
г) відтворення живої речовини у ґрунті.

18. Що таке урбанізація?
а) перетворення села на місто;
б) зростання і розвиток міст, зміна значення останніх у житті біосфери і цивілізації;
в) міграція сільського населення в міста;
г) розвиток техногенної діяльності людини.

19. Назвіть варіант правильного визначення явища сукцесії:
а) вимирання продуцентів в екосистемі;
б) безперервна спрямована послідовність змін видового складу організмів у конкретному місці їх існування;
в) розширення екологічної ніші;
г) деградація біоценозів.

20. Що таке парниковий ефект?
а) ефект пари в екосистемі;
б) температурний показник у штучних закритих екосистемах;
в) зростання температури гідросфери ґрунтового покриву;
г) зростання температури атмосфери та внаслідок збільшення в ній вмісту парникових газів.

21. Виберіть варіант правильного визначення екологічних чинників:
а) чинники екологічного ризику;
б) біохімічні умови природного середовища;
в) умови середовища, на які живі істоти реагують реакціями пристосування;
г) техногенні умови, що впливають на функціонування екосистем.

22. Які дощі називаються "кислими"?
а) з pH < 5,8;
б) з pH 7,8—8,2;
в) з pH 3,2—2,8;
г) в яких міститься азотна кислота.

23. Що таке аутекологія?
а) екологія рослинного світу;
б) розділ біоекології, що вивчає взаємовідносини окремого організму (виду) з довкіллям;
в) розділ екології, що вивчає процеси саморегуляції біоценозів;
г) розділ екології, що вивчає взаємовідносини з довкіллям.

24. Що ви розумієте під явищем гомеостазу?
а) найвищий рівень організації природної системи;
б) стан внутрішньої динамічної рівноваги природної системи завдяки саморегуляції;
в) порушення рівноваги між енергією та речовиною в системі;
г) здатність живих організмів підтримувати температуру тіла незалежно від температури навколишнього середовища.

25. Яка концентрація забруднюючої речовини в довкіллі вважається гранично допустимою (ГДК)?
а) за якої настає смерть людини;
б) за якої починається деградація екосистеми;
в) дозволена екологічним стандартом;
г) максимальна концентрація забруднюючої речовини в природному середовищі, яка не шкодить здоров'ю людини.

26. Який із наведених варіантів визначення раціонального природокористування ви вважаєте правильним?

а) природокористування, що дає найбільший прибуток;

б) яке передбачає відтворення природного ресурсу;

в) яке не призводить до зміни природно-ресурсного потенціалу, підтримує і підвищує продуктивність та красу природних комплексів;

г) таке, що відповідає програмі економічного розвитку агропромислового комплексу.

27. Які основні причини розвитку екологічної кризи в Україні?

а) недосконаліть законів про охорону природи і кризовий економічний стан держави;

б) низька екологічна культура населення, хибна державна екологічна політика;

в) надмірна індустріалізація та хімізація сільського господарства;

г) неконтрольовані урбанізаційні процеси.

28. Виберіть правильний варіант визначення біологічного землеробства:

а) застосування як органічних, так і мінеральних добрив;

б) застосування органічних і невеликої кількості хімічних добрив;

в) застосування тільки органічних добрив і незначної кількості пестицидів;

г) підтримання родючості ґрунту винятково за рахунок органічних добрив, без використання мінеральних добрив та пестицидів.

29. Якою має бути мета екологічної експертизи?

а) визначення екологічних збитків від забруднення довкілля;

б) виявлення причин і обсягів забруднень навколишнього середовища;

в) запобігання негативному впливу антропогенної діяльності на стан довкілля та здоров'я людей, оцінка ступеню екологічної безпеки господарської діяльності окремих об'єктів, районів, регіонів;

г) виявлення об'єктів забруднювачів навколишнього середовища.

30. До чого призвело будівництво каскаду Дніпровських водосховищ (вкажіть найголовніше)?

а) до значного поліпшення екологічних умов і біопродуктивності дніпровських вод;

б) до зростання економічних показників завдяки виробництву дешевої електроенергії ГЕС і прибутків від рибництва;

в) до зниження економічних результатів внаслідок діяльності ГЕС і розвитку рибальства;

г) до втрати через затоплення 700 тис. га родючих заплавних земель, підтоплення значних площ прибережних територій, значного погіршення екологічного стану водного середовища і, як результат, до великих економічних втрат держави.

31. Чим, на Вашу думку, є гранично допустимий викид (ГДВ)?

а) викидом газових забруднень, який підприємству дозволено здійснювати 1 раз на місяць;

б) державний норматив, встановлений з міркувань, що вміст забруднень у повітрі від джерела не перевищує нормативу якості повітря для населення, тваринного і рослинного світу;

в) рівень викиду у повітря забруднень, вище якого починається деградація екосистеми;

г) верхня межа вмісту забруднювачів від будь-якого джерела, яка не завдає шкоди людині і довкіллю.

32. Що таке гранично допустимий скид (ГДС)?

а) вміст речовин у стічних водах, максимально допустимий для відведення з установленим режимом у даному пункті водного об'єкта за одиницю часу з метою забезпечення нормативної якості води;

б) ліміт на щомісячний скид стічних вод об'єктом-забруднювачем;

в) скид стічних вод за рік, який не перевищує встановленої норми;

г) загальний обсяг стічних вод, які може скинути об'єкт-забруднювач за місяць.

33. Який із наведених варіантів визначення екосистеми є правильним?

а) система функціонування живих істот у літосфері;

б) система розподілу енергії у біогеоценозах;

в) елементарна структурна одиниця сучасної біосфери, в межах якої всі живі істоти еволюційно поєднані між собою і неживою природою обміном речовини, енергії та інформації;

г) системи обміну в біотопі речовин та енергії.

34. Що ви розумієте під евтрофікацією?

а) передачу енергії трофічними ланцюгами;

б) здатність організмів виживати за екстремальних умов;

в) зниження екологічної якості водних об'єктів внаслідок їх забруднення органічними речовинами;

г) незмінність властивостей автотрофів.

35. Що означає поняття "екологічна піраміда"?

а) графічне зображення екологічних законів;

б) графічне зображення співвідношень між продуцентами і консументами різного рівня;

в) піраміду екологічних показників;

г) нагромадження решток консументів.

36. Що слід вважати екологічними чинниками?

а) чинники життєвого ризику;

б) біохімічні умови довкілля;

в) техногенні умови навколишнього середовища;

г) комплекс умов навколишнього середовища, які впливають на функціонування екосистем.

37. Виберіть з наведених варіантів правильне визначення сучасної екології:

а) наука, що вивчає вплив зовнішніх умов на живі організми і взаємовідносини між ними;

б) комплекс наук про Землю і життя на Землі;

в) біологія Землі;

г) комплексна фундаментальна наука про будову, функціонування, взаємозв'язки складних багаторівневих систем у Природі і Суспільстві та засоби кореляції взаємовпливу техносфери і біосфери з метою збереження людства і життя на Землі.

38. Хто й коли ввів термін "ноосфера"?

а) Ю.Одум (1975); б) В.Вернадський (1940);

в) Л.Гумільов (1935); г) Е.Леруа (1927).

39. Які з екологічних проблем мають найбільш негативне інтернаціональне значення?

а) аварії на великих ГЕС;

б) аварії на АЕС;

в) кислотні дощі і парниковий ефект;

г) аварії на танкерах і нафтопромислах у морі.

40. Які з напрямів екополітики України відповідають стратегії ресурсозбереження і природоохорони:

а) розвиток міжнародної співпраці у сфері екології;

б) екологізація всіх видів людської діяльності та розвиток екологічної культури;

в) активний розвиток аграрного сектора з урахуванням екологічних вимог;

г) впровадження і жорсткий контроль ефективного ресурсокористування на підставі нових законів і нормативів.

41. Які енергетичні джерела найменш негативно впливають на довкілля:

а) АЕС; б) ГЕС;

в) ТЕС; г) вітрові та геліостанції.

42. Розвиток приватного транспорту в Україні зумовить:
а) зменшення енергоспоживання і розвантаження державного транспорту;
б) збільшення забруднення довкілля;
в) розв'язання транспортних проблем у містах і поліпшення урбанізаційних ситуацій;
г) поліпшення економічного стану транспортної галузі.

43. Екологічна ліцензія — це:
а) документ на дозвіл заготівлі тваринних або рослинних ресурсів;
б) документ-дозвіл на викиди конкретного забрудника у довкілля;
в) документ, що дозволяє без обмежень забруднювати довкілля;
г) документ-замінник податків за користування ресурсами.

44. Біомаса в регіоні різко зменшується, коли:
а) різко змінюється один з екологічних чинників;
б) змінюються всі екологічні чинники поступово;
в) частково змінюється частина екологічних чинників;
г) різко змінюється більшість екологічних чинників.

45. Суттєве зменшення біорозмаїття на планеті призведе:
а) до деградації біосфери;
б) до розквіту окремих видів і популяцій організмів;
в) до стабілізації екосистем;
г) до розквіту і стабілізації біосфери.

46. Що є головною причиною зменшення народжуваності населення в Україні?
а) підвищення культурного рівня свідомості жінок;
б) погіршення добробуту населення;
в) погіршення екологічних умов регіонів держави;
г) зменшення біопродуктивності екосистем.

47. Екологічні проблеми сучасності можна розв'язати завдяки:
а) розвитку й комп'ютеризації усіх сфер діяльності людини;
б) кардинальній зміні свідомості й ставлення людей до природи;
в) зменшення забруднення води і харчових продуктів;
г) зменшення забруднень атмосфери.

48. Кислотні дощі формуються у районах:
а) інтенсивного розвитку сільського господарства;
б) розвитку гірничо-видобувної промисловості, будівельних матеріалів та машинобудування;
в) мегаполісів;
г) розвитку металургійної, хімічної та нафтопереробної промисловості.

49. Значне зростання шумових та вібраційних забруднень у містах є причиною:
а) деградації водних екосистем;
б) формування локальних атмосферних газових аномалій;
в) підвищення захворюваності населення та поширення пригніченого стану фауни і флори;
г) погіршення інженерно-геологічних умов;
д) укріплення фундаментів будівель і споруд.

50. Найголовнішими екологічними проблемами України є:
а) відсутність ефективних екологічних законів;
б) розвиток енергетики;
в) розвиток промислового виробництва й енергетики без урахування екологічних можливостей (витривалості) регіонів;
г) розвиток військово-промислового комплексу.

Список основної рекомендованої літератури

Агроэкология / В.А. Черников, А.И.Чекерес. Учебник для ВУЗов. — М.: Колос, 2000. — 534 с.

Агрохімічний аналіз. Практикум / М.М.Городній, А.В.Копілевич, А.Г.Сердюк та ін. — К.: Вища шк., 1995. — 319 с.

Алексеенко В.А. Экологическая геохимия: Учебн. для вузов (для XXI в.) — М.: Логос, 2000. — 625 с.

Анализ объектов окружающей среды. Инструментальные методы / Под ред. Р.Сониасси. — М.: Мир, 1993. — 78 с.

Андрейцев В.І., Пустовой М.А. Екологічна експертиза, право і практика. — К.: Наук. думка, 1992. — 152 с.

Барановський В.А. Екологічний атлас України. — К.: Географіка, 2000. — 41 с.

Беспамятнов Г.П., Кротов Ю.А. Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде. — Л.: Химия, 1985. — 375 с.

Білявський Г.О., Падун М.М., Фурдуй Р.С. Основи загальної екології: Підручник для вузів. Вид. 2-е. — К.: Либідь, 1995. — 308 с.

Білявський Г.О., Фурдуй Р.С. Практикум із загальної екології: Навч. посібник. — К.: Либідь, 1997. — 160 с.

Білявський Г.О., Фурдуй Р.С., Костіков І.Ю. Основи екологічних знань: Підручник. — К.: Либідь, 2000. — 320 с.

Гирусов Э.В. Основы социальной экологии. — М.: МНЭПУ, 1998. — 260 с.

Гайнріх Д., Гердт М. Екологія: dtv-Atlas: Пер. з 4-го нім. вид. — К.: Знання-Прес, 2001. — 287 с.

Данилов-Данильян В.И., Лосев К.С. Экологический вызов и устойчивое развитие: Учебн. пособие. — М.: Прогресс-Традиция, 2000. — 418 с.

Дідух Я.П. Популяційна екологія. — К.: Фітосоціоцентр, 1998. — 192 с.

Довідник з агрохімічного та агроекологічного стану ґрунтів України / Б.С.Носко, Б.С.Прістер, М.В.Лобода та ін. — К.: Урожай, 1994. — 334 с.

Доусон Р., Эллиот Д., Джонс К. Справочник по биохимии: Пер. с англ. — М.: Мир, 1991. — 544 с.

Экологическая фармакология: Учебник / В.Н.Шумейко, В.М.Овруцкий, И.С.Чекман и др. — К.: Фитосоциоцентр, 1998. — 269 с.

Экология города / Под ред. Ф.В.Стольберга. — К.: Лібра, 2000. — 468 с.

Злобін Ю.А. Основи екології. — К.: Лібра, 1998. — 248 с.

Кораблева А.И., Чесанов Л.Г., Шапарь А.Г. Введение в экологическую токсикологию. — Днепропетровск: Центр эконом. образования, 2001. — 308 с.

Корзун В.Н., Недоуров С.И. Радиация. Защита населения. — К.: Наук. думка, 1995. — 112 с.

Кукурудза С.І., Гурій С.М. Аналіз якості природних вод: Лаб. практикум. — Львів, 1990. — 90 с.

Кульский Л.А., Левченко Т.М., Петрова М.В. Химия и микробиология воды. — К.: Вища шк., 1987. — 175 с.

Лабораторний та польовий практикум з екології / За ред. В.П.Замостяна і Я.П.Дідуха. — К.: Фітосоціоцентр, 2000. — 216 с.

Лабораторный практикум по улавливанию и утилизации пылей и газов / Ю.П.Павленко, В.М.Билюшов, В.Д.Овсяник и др. — М.: Металлургия, 1996. — 189 с.

Лурье Ю.Ю. Аналитическая химия промышленных сточных вод. — М.: Химия, 1982. — 448 с.

Лурье Ю.Ю. Справочник по аналитической химии. — М.: Химия, 1994. — 485 с.

Марчук Є. Україна: нова парадигма поступу. — К.: Аваллон, 2001. — 350 с.

Моисеев Н.Н. Судьба цивилизации (Путь разума). — М.: МНЭПУ, 1998. — 260 с.

Моисеев Н.Н. Человек и ноосфера. — М.: ЮНИСАМ, 1990. — 310 с.

Мороз А.С. Історія біосфери Землі: Навч. посібник: У 2-х книгах. — К.: Заповіт, 1996.

Небел Б. Наука об окружающей среде. Как устроен мир: В 2-х томах: Пер. с англ. — М.: Мир, 1993. — Т. 1 — 424 с.; Т. 2 — 340 с.

Новиков Ю.В. Экология, окружающая среда, человек: Учебн. пособие для вузов. — М.: Агентство "ФАИР", 1998. — 320 с.

Новиков Ю.В., Ласточкина К.О., Болдина З.Н. Методы исследования качества воды водоемов. — М.: Медицина, 1990. — 399 с.

Одум Ю. Основы экологии. — М.: Мир, 1975. — 436 с.

Окружающая среда и здоровье: Учебн. для вузов / Под ред. Л.Хенса, Л.Мельника, Э.Буна. — К.: Наук. думка, 1998. — 325 с.

Основи акустичної екології / В.С.Дідковський, В.Я.Акименко, О.І.Запорожець та ін. — Кіровоград: Імекс ЛТД, 2002. — 520 с.

Петров К.М. Общая экология: Взаимодействие общества и природы. — Изд. 2-е. — СПб: Химия, 1998. — 352 с.

Практикум по экологии / С.В.Алексеев, Н.В.Груздева, А.Г.Муравьев., Э.В.Пущина. — М.: АО МДС, 1996. — 190 с.

Радов А.С., Пустовой И.В., Корольков А.В. Практикум по агрохимии. — М.: Агропромиздат, 1985. — 312 с.

Реймерс Н.Ф. Природопользование: Словарь-справочник. — М.: Мысль, 1990. — 637 с.

Руководство по контролю вредных веществ в воздухе рабочей зоны / С.И.Муравьева, М.И.Буковский, Е.К.Прохорова и др. — М.: Химия, 1991. — 367 с.

Степановских А.С. Экология. — М.: ЮНИТИ, 2001. — 704 с.

Сытник К.М., Брайон А.В., Гордецкий А.В., Брайон А.П. Словарь-справочник по экологии. — К.: Наук. думка, 1994. — 664 с.

Федорова А.И., Никольская А.И. Практикум по экологии и охране окружающей среды: Учебн. пособие. — Воронеж: Воронеж. ун-т, 1997. — 305 с.

Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод / А.К.Запольський, Н.А.Мішкова-Клименко, І.М.Астрелін та ін. — К.: Лібра, 2000. — 552 с.

Чернобаев И.П. Химия окружающей среды. — К.: Вища шк., 1990. — 191 с.

Шевчук В., Пилипчук М., Карпенко Н., Кулик О., Саталкін Ю, Навроцький В., Мазуркевич О. Довідник з питань економіки та фінансування природокористування і природоохоронної діяльності. К.: Геопринт, 2000.

Шевчук В., Саталкін Ю., Навроцький В. Екологічний аудит: Підручник. — К.: Вища шк., 2000.

Шевчук В., Білявський Г., Саталкін Ю., Навроцький В. Ноосферогенез і гармонійний розвиток. — К.: Геопринт, 2002.

Шевчук В., Саталкін Ю., Білявський Г., Медведенко І., Навроцький В. Порядок денний на XXI століття: національний шлях до гармонійного розвитку. — К.: Літсофт, 2002.

Шевчук В., Білявський Г., Саталкін Ю., Навроцький В., Мазуркевич О. Основи професійного навчання державних службовців і управлінського персоналу з екологічної політики і управління. — К.: Геопринт, 2002.

Шевчук В., Саталкін Ю., Навроцький В. та ін. Модернізація виробництва: системно-економічний підхід. — К.: Символ-Т, 1997.

Шевчук В., Саталкін Ю., Навроцький В. Екологічне підприємництво. Навч. посібник. — К.: Мета, 2001.

Яцик А.В. Экономические основы рационального водопользования. — К.: Генеза, 1997. — 640 с.

Список допоміжної рекомендованої літератури

Агрохимия в вопросах и ответах / А.А.Каликинский, И.Ф.Виндфлуш, В.А.Ионас и др. — Мн.: Ураджай, 1991. — 240 с.

Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в почве и растениях. — М.: Агропромиздат, 1987. — 140 с.

Алексеенко И.Р., Кейсевич Л.В. Последняя цивилизация? — К.: Наукова думка, 1997. — 410 с.

Биоиндикация загрязнений наземных экосистем / Под ред. Р.Шуберта: Пер. с англ. — М.: Мир, 1988. — 280 с.

Бронштейн Д.Л. Современные средства измерения загрязнений атмосферы. — Л.: Гидрометеоиздат, 1989. — 325 с.

Вадковская И.К., Лукашев К.И. Химические элементы и жизнь в биосфере. — Минск: Вышэйш. шк., 1981. — 175 с.

Викторов С.В., Ремезова Г.Л. Индикационная геоботаника. — М.: Изд-во МГУ, 1988. — 167 с.

Воронков И.А. Экология общая, социальная, прикладная. — М.: Агар, Рандеву—АМ, 1999. — 347 с.

Гідроекологічна токсиметрія та біоіндикація забруднень: Теорія, методи, практика, використання / За ред. І.Т.Олексіва, Л.П.Бражинського. — Львів: Світ, 1995. — 437 с.

Голубець М.А. Від біосфери до соціосфери. — Львів: Поллі, 1997. — 28 с.

Губский Ю.И., Долго-Сабуров В.Г., Храпак В.В. Химические катастрофы и экология. — К.: Здоровье, 1993. — 220 с.

Дерій І.С., Ілюха В.О. Екологія. — К.: Фітосоціоцентр, 1998. — 196 с.

Дмитриев М.Т., Казнина Н.И., Пингина Н.А. Санитарно-химический анализ загрязняющих веществ в окружающей среде. — М.: Химия, 1989. — 367 с.

Екологічна експертиза та екологічна інспекція / А.І.Корабльова, Л.Г.Чесанов, Т.І.Долгова та ін. — Дніпропетровськ: Поліграфіст, 2002. — 220 с.

Екологія: Навч.-метод. посіб. для самост. вивч. дисципліни / І.С.Дорогунцов, К.Ф.Коценко, О.К.Аблова та ін. — К.: КНЕУ, 1992. — 152 с.

Электроаналитические методы в контроле окружающей среды. — М.: Химия, 1990. — 282 с.

Электроэнергетика и природа: экологические проблемы развития энергетики. — М.: Энергоатомиздат, 1995.

Захаров Е.П. Возмещение экологического ущерба за загрязнение окружающей среды. — Симферополь: ТЭИ, 1997. — 64 с.

Касьяненко А.А. Контроль качества окружающей среды. — М.: Университет Дружбы Народов, 1992. — 386 с.

Корабльова А.І. Екологія: взаємовідносини людини і середовища. — Дніпропетровськ: Центр економічної освіти, 2001. — 291 с.

Кормилицын В.И., Цицкишвили М.С., Яламов Ю.И. Основы экологии. — М.: Изд-во МГУ, 1997. — 368 с.

Кучерявий В.П. Екологія. — Львів: Світ, 2000. — 386 с.

Кучерявий В.П. Урбоекологія. — Львів: Світ, 1999. — 360 с.

Лозанова И.Н., Орлов Д.С., Садовникова Л.К. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении. — М.: Изд-во МГУ, 1998. — 287 с.

Миркин Б.М., Наумова Л.Г. Популярный экологический словарь. — М.: Устойчивый мир, 1999. — 304 с.

Назарук М.М., Сенчина Б.В. Практикум з основ екології та соціології. — Львів: Афиша, 1999. — 116 с.

Набиванець Б.Й., Сухан В.В., Калабіна Л.В. Аналітична хімія природного середовища. — К.: Либідь, 1996. — 304 с.

Націон. доповідь про стан навкол. середовища України. — Київ: Вид. Раєвського, 2000. — 60 с.

Опаловский А.А. Планета Земля глазами химика. — М.: Наука, 1990. — 222 с.

Определитель высших растений Украины / Д.Н.Доброчаева. — Изд. 2-е. — К.: Фитосоциоцентр, 1999. — 548 с.

Охрана и оптимизация окружающей среды / Под ред. А.А.Лаптева. — К.: Лыбедь, 1990. — 256 с.

Перепелиця О.П. Властивості та екологічний вплив хімічних елементів. — К.: Вентурі, 1997. — 191 с.

Пістун І.П. Безпека життєдіяльності. — Суми: Університетська книга: 2000. — 301 с.

Пономарев В.Д. Аналитическая химия: В 2-х т.: Учебник для фармац. и фак. мед. ин-тов. — М.: Высш. школа, 1982. — 288 с.

Пособие по лабораторным занятиям по общей геологии. Изд. 3-е, перераб. и дополн. / В.Н.Павлинов, А.Е.Михайлов, Д.С.Кизевальтер и др. — М.: Недра, 1983. — 160 с.

Приклади та задачі з основ промислової екології / С.Х.Авраменко, М.Д.Волошин, Б.І.Мельников, В.М.Набівач. — Дніпродзержинськ, 1999. — 133 с.

Скурлатов Ю.И., Дука Г.Г., Мизити А. Введение в экологическую химию. — М.: Высш. школа, 1994. — 399 с.

Смоляр В.И. Ионизирующая радиация и питание. — К.: Здоров'я, 1992. — 176 с.

Судо М.М. Геоэкология: Учебн. пособие. — М.: Изд-во МНЭПУ, 1999. — 116 с.

Сучасні технології знешкодження та утилізації небезпечних відходів виробництва / І.В.Глуховський, В.М.Шумейко, В.М.Овруцький та ін. — К.: ДІПК Мінекобезпеки України, 1998. — 45 с.

Фомин Г.С. Вода. Контроль химической, бактериальной и радиационной безопасности по международным стандартам: Энциклопед. справочник. — М.: Протектор, 1995 — 420 с.

Харборн Дж. Введение в экологическую химию: Пер. с англ. — М.: Мир, 1985. — 312 с.

Царенко О.М., Нєсветов О.О., Карацький М.О. Основи екології та економіка природокористування: Навч. посібник. — Суми: Університ. книга, 2001. — 326 с.

Червона книга України: Рослинний світ. — К., 1998.

Червона книга України: Тваринний світ. — К., 1994.

Чернобыльская катастрофа. — К.: Наукова думка, 1996. — 576 с.

Чернова Н.М. Лабораторный практикум по экологии. — М.: Просвещение, 1981. — 260 с.

Швиндлерман С.П. Основы общей экологии. — Донецк: Кассиопея, 1999. — 168 с.

Шутько А.П., Малахов Л.П., Бутченко Л.И. Природа и человек: История противостояния. — К.: КИИГА, 1994. — 280 с.

Юинг Г. Инструментальные методы химического анализа: Пер. с англ. — М., 1989. — 608 с.

World Development Indicators, Word Bank Edit. — USA, Washington, 2000. — 390 p.

World Development Report, 2000 / 2001 (Attaking Poverty). — W.B. USA, Washington, 2001. — 338 p.

World Resources, 2000—2001 (People and Ecosystems; The Fraying Web of Life), UN Development Programme, UN Environment Programme, World Bank, World Resources Institute (WRI). — USA, Washington. D.C., Full Report, 2000. — 389 p.

Навчальне видання

Георгій Олексійович Білявський

Людмила Іванівна Бутченко

Основи екології: теорія та практикум

Навчальний посібник

Коректор А.Бакало

Художник обкладинки Є.Крига

Підп. до друку 9.10.2003
Формат 70x100/16. Гарнітура TimesClassic.
Друк офсетний. Умовн. друк. арк. 29,9.
Наклад 2000 пр. Зам. 3-131.

«Видавництво Лібра» ТОВ
01032 Київ-32, вул. Саксаганського, 110, кв. 1.
Тел./факс 234-76-19.
Поштова адреса: 01032, Київ-32, а/с 68. E-mail:libra kiev@alfacom.net
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів видавничої справи
ДК № 26 від 31.03.2000
Ідентифікаційний код 21554843

Надруковано АТ «Книга».
04053, Київ-53, вул. Артема, 25.