

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені В. Н. КАРАЗІНА

О. М. Крайнюков

ХІМІЧНА ЕКОЛОГІЯ

Навчальний посібник

Харків – 2021

Рецензенти:

М. М. Мірошниченко – доктор біологічних наук, старший науковий співробітник, заступник директора з наукової роботи Національного наукового центру «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського»;

А. Б. Чаплигіна – доктор біологічних наук, доцент, професор кафедри зоології Харківського національного педагогічного університету імені Г. С. Сковороди.

*Затверджено до друку рішенням Вченої ради
Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна
(протокол № 13 від 26 серпня 2020 року)*

Крайнюков О. М.

К 78 Хімічна екологія : навчальний посібник / О. М. Крайнюков. — Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2021. — 120 с.

Навчальний посібник містить найважливіший для сучасного фахівця-еколога матеріал про взаємодію суспільства і навколишнього середовища, функціонування біосфери в умовах антропогенного впливу, методи контролю якості об'єктів навколишнього середовища, особливості нормування забруднюючих речовин в атмосфері, водних об'єктах та ґрунтах.

Навчальний посібник може бути використано для підготовки фахівців екологічних спеціальностей, а також буде корисний всім, хто цікавиться проблемами хімічного забруднення компонентів довкілля.

УДК 504:54 (075.8)

© Харківський національний університет
імені В. Н. Каразіна, 2021

© Крайнюков О. М., 2021

© Чорна О. Д., макет обкладинки, 2021

ЗМІСТ

Вступ.....	5
РОЗДІЛ 1. Основи взаємодії живих організмів і навколишнього природного середовища	7
1.1 Екологічні чинники середовища проживання живих організмів	9
1.2 Закономірності взаємодії організму із середовищем	13
1.3 Екологічні чинники середовища, що лімітують життєдіяльність організмів	18
1.4 Взаємодія організмів і хімічних речовин.....	20
Контроль-колоквіум до розділу 1.....	26
Тестовий контроль до розділу 1.....	27
РОЗДІЛ 2. Поняття екосистеми й біосфери. Структура біосфери, характеристика й хімічні властивості атмосфери, гідросфери й літосфери. Біогеохімічний кругообіг речовин у біосфері ...	31
2.1 Поняття екосистеми й біосфери. Структура біосфери	33
2.2. Хімічна природа етапів еволюції біосфери.....	36
2.3 Біохімічний кругообіг речовин у біосфері.....	39
2.3.1 Кругообіг вуглецю.....	40
2.3.2 Кругообіг азоту	42
2.3.3 Кругообіг фосфору	45
2.3.4 Кругообіг біогенних речовин.....	46
2.4 Структура біосфери. Характеристика та хімічні властивості складників біосфери.....	47
2.4.1 Характеристика та хімічні властивості атмосфери.....	47
2.4.2 Характеристика та хімічні властивості гідросфери	53
2.4.3 Характеристика та хімічні властивості літосфери	56
Контроль-колоквіум до розділу 2.....	62
Тестовий контроль до розділу 2.....	63
РОЗДІЛ 3. Хімічна екологія атмосфери, гідросфери, літосфери. Стандарти якості навколишнього середовища	66
3.1 Хімічна екологія атмосфери.....	69
3.1.1 Джерела забруднення атмосфери.	69

3.1.2 Методи визначення забруднюючих речовин в атмосфері.....	73
3.1.3 Методи аналізу і зниження надходження в атмосферу забруднюючих речовин.....	75
3.2 Хімічна екологія гідросфери	79
3.2.1 Джерела забруднення гідросфери.....	79
3.2.2 Методи визначення забруднюючих речовин в гідросфері.....	86
3.3 Хімічна екологія літосфери	89
3.3.1 Джерела забруднення літосфери.....	89
3.3.2 Методи визначення забруднюючих речовин в літосфері.....	96
3.4 Стандарти якості навколишнього середовища	101
3.4.1 Нормування атмосферних забруднень.....	103
3.4.2 Нормування забруднювальних речовин у водних об'єктах.....	105
3.4.3 Нормування вмісту шкідливих речовин у ґрунтах	108
Контроль-кологвіум до розділу 3.....	113
Тестовий контроль до розділу 3.....	115

ВСТУП

У сучасних умовах порушення стійкості системи «природа-суспільство» зумовлено істотним деструктивним впливом людини на стан навколишнього природного середовища в результаті надзвичайно швидкого зростання виробничих сил та інтенсивним використанням природних ресурсів. Антропогенне навантаження на наземні і водні екосистеми призвело до виникнення цілої низки глобальних екологічних проблем, пов'язаних із негативними біосферними процесами: виникнення парникового ефекту, руйнування озонового шару, забруднення Світового океану, дефіцит питної води, зниження біологічного різноманіття. Комплекс антропогенних чинників, які мають негативний вплив на біосферу, дуже різноманітний, проте всі вони ґрунтуються на процесах взаємодії живої й неживої природи, обміну речовиною й енергією між біотичним й абіотичним складником біосфери. У зв'язку з цим, питання хімії навколишнього природного середовища, міграції та трансформації забруднювальних речовин у компонентах наземних і водних екосистем є одним із центральних місць в екологічній науці.

Екологічні проблеми в сучасних умовах надзвичайно складні, вони охоплюють багатогранну систему взаємовідносин живих організмів і неживої природи. Оскільки в основі життя, як і в основі зміни хімічного складу біосфери, лежать біохімічні процеси, для опису та управління динамічною рівновагою в біосфері необхідне знання механізмів взаємодії між живими організмами й середовищем їхнього життя, що являє собою складну багатокомпонентну систему. Ця область екології оформилася в окрему наукову дисципліну — хімічну екологію, науку про хімічну взаємодію між абіотичним і біотичним складником біосфери.

Для забезпечення благополучного функціонування всіх живих організмів повинні враховуватися наслідки виробничої діяльності суспільства, зокрема роль антропогенних чинників впливу на екосистеми та здоров'я людини.

Сучасний рівень розвитку науки створює реальні передумови для свідомого управління еволюцією біосфери і, зокрема, для оптимізації обміну речовин між біотичним й абіотичним складником навколишнього природного середовища. Але для того, щоб ці передумови були реалізовані, необхідна відмова від анархічного характеру виробництва, від вузькокорисливої психології «суспільства споживачів».

Для розв'язання проблеми охорони навколишнього середовища необхідна інформація про те, до яких наслідків призводять хімічні забруднення, що включаються в кругообіг речовин у біосфері в результаті діяльності людини. Отже, необхідний якісно новий підхід до оцінки взаємодії суспільства з навколишнім середовищем і його впливу на швидкість і спрямованість еволюції природних екосистем.

Одним із прикладних завдань хімічної екології є максимальне зменшення рівня навантаження антропогенних впливів на природне середовище шляхом розробки нових або модифікації наявних технологічних процесів, розробки способів ефективного очищення відходів виробництва, розробки і впровадження гармонізованих із застосовуваними в країнах Європейської Спільноти нормативних вимог, що обмежують рівень хімічного забруднення атмосфери, гідросфери й літосфери.

Використовуючи сучасні підходи до питань природокористування, суспільство повинно прагнути не тільки до досягнення рівноваги між своїми потребами та можливістю їх задоволення завдяки використанню природних ресурсів, а й до розробки й дотримання принципів наукового управління якістю навколишнього природного середовища. Якщо ці принципи будуть послідовно втілюватися в життя, то неминуча зміна природного середовища призведе не до екологічної катастрофи, а до створення сприятливих умов проживання для людини і всіх живих на Землі істот.

РОЗДІЛ 1

ОСНОВИ ВЗАЄМОДІЇ ЖИВИХ ОРГАНІЗМІВ І НАВКОЛИШНЬОГО ПРИРОДНОГО СЕРЕДОВИЩА

Нормативні навчальні елементи до розділу 1

1. Закон мінімуму
2. Закон оптимуму
3. Абіотичні чинники
4. Біотичні чинники
5. Чинники взаємодії
6. Біотичні екорегулятори
7. Речовини, які беруть участь у міжвидових хімічних взаємодіях
8. Речовини, які беруть участь у внутрішньовидових хімічних взаємодіях
9. Хімічний етап еволюції біосфери
10. Поняття і структура біосфери
11. Поняття і класифікація екосистем
12. Атмосфера як структурна частина біосфери
13. Гідросфера як структурна частина біосфери
14. Літосфера як структурна частина біосфери

Додаткові навчальні матеріали до розділу 1

1. Неоднозначність дії чинника
2. Види впливу екологічних чинників середовища на живі організми
3. Взаємодії між неорганічною матерією і тваринами або рослинами
4. Взаємодія, вивченням якої займається хімічна екологія
5. Склад і властивості ґрунтового розчину

Знання та вміння, які повинні сформуватися у студента в результаті вивчення розділу 1

- Нормативні навчальні елементи до розділу 1
- Класифікація і вплив екологічних чинників середовища на живі організми
- Основні концепції хімічного етапу еволюції біосфери
- Основні фотохімічні реакції, що протікають в атмосфері
- Класифікація природних вод за хімічним складом
- Основні хімічні і фізичні властивості, що характеризують родючість ґрунтів

ЛІТЕРАТУРА

для вивчення розділу 1, підготовки до контролю-колоквиуму і тест-контролю

1. Андруз Дж. Введение в химию окружающей среды / Дж. Андруз, П. Бримблекумб, Т. Джикелз, П. Лисс; пер с англ. – М. : Мир, 1999. – 271 с.
2. Балина Т. К. Охрана природы. Химическая экология : учеб. пособие / Т. К. Балина, Ю. Г. Папулов, Р. А. Зимин. – 2-е изд., расшир. – Тверь, 1995. – 83 с.
3. Бессонов О. А. Геохимическая история углерода в биосфере / О. А. Бессонов. – Ростов н/Д, 1996. – 164 с.
4. Білявський Г. О. Основи екології: теорія та практикум : навчальний посібник / Г. О. Білявський та ін. – К. : Лібра, 2002. – 352 с.
5. Богдановский Г. А. Экологическая химия / Г. А. Богдановский. – М. : Изд-во МГУ, 1994. – 108 с.
6. Бримблкумб П. Состав и химия атмосферы / П. Бримблкумб. – М. : Мир, 1988. – 351 с.
7. Вернадский В. И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения / В. И. Вернадский. – М. : Наука, 1987. – 339 с.
8. Новиков Ю. В. Экология, окружающая среда и человек / Ю. В. Новиков. – М. : Гранд: Фаир Пресс, 2000. – 320 с.
9. Реймерс Н. Ф. Природопользование : словарь-справочник / Н. Ф. Реймерс. – М. : Мысль, 1990. – 638 с.
10. Химическое загрязнение почв и охрана : справочник / под ред. Ю. М. Лейкина. – М. : Агропромиздат, 1991. – 303 с.
11. Химия окружающей среды / под ред. Дж. О. М. Боркиса. – М. : Химия, 1982. – 671 с.
12. Человек и биосфера / под ред. П. А. Сарименко. – Ростов н/Д, 1977. – 332 с.
13. Чибисова Н. В. Экологическая химия : учеб. пособие / Е. К. Долгань, Н. В. Чибисова. – Калининград, 1998. – 112 с.
14. Экологическая химия / пер. с нем. ; под ред. Ф. КORTE. – М. : Мир, 1996. – 396 с.

1.1 Екологічні чинники середовища проживання живих організмів

Навколишнє середовище — сукупність абіотичних і біотичних умов життя організму. Навколишнє середовище різноманітне й мінливе. Воно складається з безлічі елементів живої та неживої природи й елементів, привнесених людиною в результаті її господарської діяльності.

Усі елементи середовища щодо живих організмів нерівнозначні: одні з них впливають на їх життєдіяльність, а інші для них байдужі. У зв'язку з цим усі чинники середовища можна згрупувати таким чином:

- екологічні чинники — абіотичні й біотичні компоненти середовища, що впливають на організми, популяції й біоценози, а також саме середовище;
- нейтральні чинники — компоненти середовища, які не впливають на життєдіяльність організмів.

Екологічні чинники середовища різноманітні, вони мають різну природу і специфіку дії. За значущістю для живих організмів їх поділяють на дві групи:

- основні чинники — це ті екологічні чинники, без яких організм не може функціонувати і з якими він взаємодіє в нерозривній єдності. Відсутність хоча б одного з цих чинників призводить до загибелі організму;
- другорядні чинники — це ті екологічні чинники, які не є життєво важливими, але можуть змінювати умови існування організму.

Аналіз величезного розмаїття екологічних чинників за природою походження дозволяє поділити їх на дві групи: абіотичні й біотичні.

Абіотичні чинники — це чинники неживої природи, які прямо чи опосередковано впливають на організм.

Абіотичні чинники створюють умови проживання рослинних і тваринних організмів і мають прямий або опосередкований вплив на їх життєдіяльність. До абіотичних відносять чинники неорганічної природи: сонячна енергія, структура ґрунтового покриву, його хімічний склад і вологість, вода та її хімічний склад, повітря та його склад і вологість, природний радіаційний фон, температура та ін. Хімічними компонентами абіотичних чинників є поживні речовини, макро- і мікроелементи, концентрація розчинених газів, наприклад, вуглекислого газу й кисню, отруйні речовини, рН середовища тощо. Далі розглянемо більш детально деякі з цих чинників.

Сонячна енергія. Сонячне випромінювання, входячи в атмосферу Землі, частково нею поглинається й розсіюється. Атмосфера — середовище багатокомпонентне й багатофазове, у ній присутні різні

речовини в різних фазових станах, що мають різні фізико-хімічні властивості й тому по-різному взаємодіють із різними ділянками спектра Сонця. Сонячне випромінювання, пройшовши шар атмосфери, істотно змінюється залежно від рівня вологості, хмарності, запиленості і т.ін.

Розподіл сонячної енергії в спектрі після проходження атмосфери виглядає так:

ультрафіолетовий спектр	10 %
видимий спектр	45 %
інфрачервоне випромінювання	45 %

Випромінювання, що пройшло крізь атмосферу, витрачається таким чином:

відображене назад у космос	30 %
перетворення в тепло	46 %
випаровування, опади	23 %
вітер, течії	0,2 %
фотосинтез	0,8 %

Температура як екологічний чинник. Фізико-хімічні процеси в організмах можуть протікати в певному інтервалі температур, який, здебільшого, коливається в межах від 0° С до 50° С. За температури вище 50° С настає згортання білків, що містяться в клітинах.

Швидкість хімічних реакцій описується правилом Вант-Гоффа: за підвищення температури на 10° С швидкість хімічних реакцій збільшується у 2–4 рази. Такий вплив температури на швидкість протікання хімічних реакцій в організмі зумовлює загальну потребу у виробленні у тварин і рослин механізму терморегуляції.

Організми, що володіють автономною терморегуляцією, належать до теплокровних організмів. У теплокровних тварин основою для підтримки температури тіла в оптимальному діапазоні є терморегуляція. У разі зниження температури тіла в організмі тварин посилюється тепловиділення завдяки інтенсифікації окислювальних процесів, що вимагає більшого споживання їжі. За підвищення температури тіла вище нормальної надлишок тепла віддається завдяки потовиділенню або завдяки прискоренню дихання (птахи, собаки).

До гетеротермних належать організми зі змінним рівнем обмінних процесів і температури тіла протягом доби або в окремі періоди життя. Наприклад, у тварин, які впадають у зимову сплячку (їжаків,

кажанів, бабаків, ховрахів), у разі зниження температури повітря в осінній період різко знижується інтенсивність обмінних процесів і вони впадають у сплячку. Третя група організмів належить до холонокровних, у яких повністю відсутня терморегуляція. До них належать всі безхребетні, нижчі хребетні й рослини. Для цієї групи організмів значні території недоступні для проживання через обмеженість адаптивних можливостей. Виживанню рослин за умов низьких температур сприяє накопичення цукрів і інших речовин, що знижують температуру замерзання клітинної плазми. У комах до зими накопичуються антифризи (гліцерин, жир).

Вода як екологічний чинник і як середовище проживання. Як середовище проживання, вода відрізняється від повітря насамперед щільністю і в'язкістю. Щільність води у 800 разів, а в'язкість приблизно у 55 разів більше повітря. Крім того, вода має високу теплоємність і низьку теплопровідність, що в поєднанні ще й із досить високою її рухливістю, що сприяє перемішуванню, призводить до порівняльної сталості температури води водних об'єктів. За глибиною водного басейну температура змінюється незначно через те, що в зимовий період крижаний покрив легше води і лежить на поверхні й захищає водний об'єкт від промерзання.

Бажливою характеристикою води як середовища існування є також прозорість, яка визначає світловий режим у її товщі. Від прозорості залежить активність процесу фотосинтезу, фітопланктону і вищих водних рослин, а отже, і накопичення органічної речовини. Фотосинтез протікає лише в межах так званої евфотичної зони, де процеси фотосинтезу переважають над процесами дихання. Прозорість води залежить від вмісту в ній зважених часток органічної й мінеральної природи, що надходять у водний басейн природним шляхом і зі стічними водами.

Одним із найважливіших показників якості води та ґрунтів є **водневий показник — рН**, який визначається як десятковий логарифм концентрації водневих іонів, узятий з оберненим знаком: $\text{pH} = -\lg [\text{H}^+]$. За допомогою водневого показника характеризують реакцію середовища, тобто ступінь її кислотності або лужності.

Оскільки концентрація водневих іонів (C_{H^+}) у дистильованій воді за 25° С практично завжди дорівнює 10^{-7} , то її рН дорівнює 7. У кислих розчинах концентрація іонів водню менше 7, отже, чим кисліше розчин, тим менше значення рН. У лужних розчинах — чим більше лужність, тим більше числове значення рН (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1

Співвідношення між $C_{н+}$ і рН

C _{н+}	1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷
pH	0	1	2	3	4	5	6	7
Реакція розчину	сильнокисла					слабокисла		нейтральна
C _{н+}	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹	10 ⁻¹⁰	10 ⁻¹¹	10 ⁻¹²	10 ⁻¹³	10 ⁻¹⁴	
pH	8	9	10	11	12	13	14	
Реакція розчину	слаболужна			сильнолужна				

Вплив рН на життєдіяльність організмів. Організми здебільшого не виносять коливань величини рН. Обмін речовин у них протікає лише в середовищі зі строго певним режимом кислотності-лужності. Якщо рН не перебуває в оптимальних для життєдіяльності, наприклад, водних організмів, межах (від 6,5 до 8,5), то вони здатні компенсувати зміни цього чинника, оскільки толерантність спільноти до діапазону рН дуже суттєва. рН водного середовища впливає й на розподіл організмів. Так, оптимум рослинних організмів — за рН 6,5 — 8,5, риби можуть жити за рН у межах від 5,0 до 9,0 (за рН > 10 вода згубна для всіх видів риб). Максимальна продуктивність вод припадає на рН між 6,5 і 8,5.

Вміст у середовищі кисню — важливий екологічний чинник. Аеробні та анаеробні організми

Аеробними організмами називаються такі організми, які здатні жити й розвиватися тільки за наявності в середовищі вільного кисню, що використовується ними в якості окислювача. До аеробних організмів належать усі рослини, здебільшого найпростіші і багатоклітинні тварини, майже всі гриби, тобто переважна кількість відомих видів живих істот. Організми, здатні розвиватися за умови низької концентрації кисню (≤ 1 мг/л), називаються мікроаерофілами.

Анаероби здатні жити й розвиватися за відсутності в середовищі вільного кисню. Термін «анаероби» ввів Луї Пастер, що відкрив у 1861 році бактерії маслянокислого бродіння. Їх метаболізм обумовлений необхідністю використовувати інші окислювачі, а не кисень. Багато анаеробних організмів, що використовують органічні речовини, здійснюють різні типи бродіння, за яких утворюються відновлені сполуки — спирти, жирні кислоти. Інші анаеробні організми — денітрифікуючі, сульфатвідновлювальні, метанотворюючі бактерії — використовують неорганічні окислювачі: нітрат, сполуки сірки, вуглекислий газ. Анаероби розвиваються в умовах, коли кисень повністю використовується аеробними організмами, наприклад, у стічних водах, мулах тощо.

Вплив вмісту мінеральних солей у середовищі на життєдіяльність організмів (на прикладі гідробіонтів)

У природних водах вміст мінеральних солей досить різний. У прісній воді максимальний вміст розчинених солей дорівнює $0,5 \text{ г/дм}^3$, у морській воді їх середній вміст становить 35 г/дм^3 . У солонуватих водах цей показник дуже мінливий. Солоність зазвичай виражається в проміле (‰) і є однією з основних характеристик водного середовища. Особливу роль солоність відіграє у формуванні біологічної продуктивності морів і океанів, оскільки багато організмів дуже чутливі до незначних її змін.

Здатність функціонувати у водах із різною солоністю забезпечується механізмами осморегуляції, які в організмі підтримуються завдяки порівняно постійній концентрації осмотично активних речовин у клітинній рідині.

Рослини і тварини діляться на стеногалінних і евригалінних щодо солоності середовища. Стеногалінні — організми, які не витримують значні зміни солоності середовища. Це переважна кількість мешканців морських і прісних водойм. Евригалінні тварини здатні жити за умов широкого діапазону коливань солоності.

Біотичні чинники — сукупність чинників живої природи, які впливають на організми, визначаючи умови їх проживання.

Характер життєдіяльності організмів і їх спільнот залежить від безлічі біотичних чинників, серед яких найбільш істотними є біоценотичний чинник, що проявляється в сукупному функціонуванні організмів, які є складниками біоценозу. Взаємовідносини організмів умовно можна поділити на позитивні (симбіотичні), негативні (антибіотичні) і нейтральні. До позитивних відносять кооперацію, мутуалізм, коменсалізм; до негативних — конкуренцію, паразитизм і хижацтво.

Позитивні відносини ще називають симбіозом (лат. *Sym* разом) — таким співіснуванням організмів, яке біологічно доцільно для обох учасників і яке не є конкурентним.

1.2 Закономірності взаємодії організму із середовищем

Незважаючи на різноманітність екологічних чинників, у характері їх впливу на організм і у відповідних реакціях живих істот можна виявити низку загальних закономірностей. Ефект впливу екологічних чинників залежить не тільки від їх характеру, а й від дози, яка сприймається організмом. У всіх організмів у процесі їх еволюції виробилися пристосування до сприйняття чинників у певних кількісних межах, які є межами позитивного впливу на організм і його життєдіяльність.

Однак для кожного організму, будь то рослина, тварина або мікроорганізм, є чинники, які для нього найбільш сприятливі.

Сприятлива сила впливу називається зоною оптимуму екологічного чинника, або просто екологічним оптимумом для організму цього виду.

Оптимальними умовами слід вважати ті, за яких особини цього виду виявляють максимальну життєдіяльність (ростуть і розвиваються) і залишають найбільше число нащадків, тобто виявляються найбільш пристосованими до місцевих умов довкілля. Зменшення або збільшення сили впливу чинника щодо меж оптимального діапазону знижує життєздатність організмів. І чим сильніше відхилення від оптимуму, тим більше виражена гальмівна дія даного чинника на організм. Максимально й мінімально прийнятні значення чинника — це критичні точки, за межами яких існування організму вже неможливо. Вони називаються верхньою і нижньою межами, або екологічним мінімумом і екологічним максимумом. Діапазон сили чинника між екологічним мінімумом і максимумом називається межами витривалості, або межами толерантності. У межах толерантності життєдіяльність організму сильно варіює залежно від ступеня вираження чинника і графічно описується куполоподібною кривою.

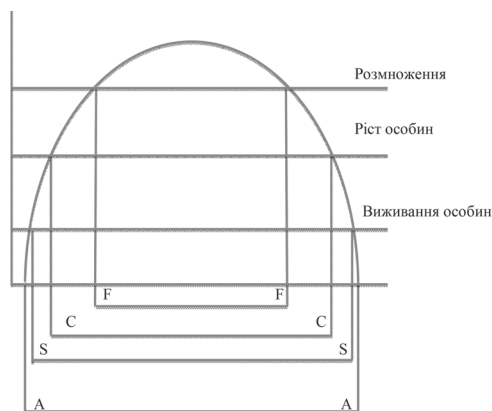


Рис. 1.1 — Залежність відповідної реакції організму від ступеня вираження екологічного чинника

Як видно на представленому рисунку, у межах толерантності виділяють кілька зон залежно від ступеня прояву життєдіяльності організму за різної сили чинника. Ці зони такі:

- о (F — F) — зона оптимуму — це діапазон чинника, у межах якого організм нормально функціонує, спостерігається його зростання, розвиток і розмноження;

- о $(C - F, F - C)$ — це діапазони чинників, у межах яких спостерігається зростання й розвиток організму, але розмноження вже неможливо;
- о $(S - C, C - S)$ — зона виживання — це діапазони чинника, у межах яких організм проявляє знижену життєдіяльність, здатну забезпечити тільки його існування, але недостатню, щоби забезпечити його зростання, розвиток і розмноження;
- о $(A - S, S - A)$ — зона пригнічення або зона песимуму — це діапазони чинника, у межах яких чинник має гальмівну дію на організм, його життєдіяльність настільки знижена, що в підсумку може відбутися загибель організму.

Крива може бути симетричною або асиметричною, широкою або вузькою. Форма її залежить від видової належності організму, від характеру чинника і від того, яка з реакцій організму й на якій стадії розвитку обрана в якості відповіді.

Представники різних видів сильно відрізняються за зоною оптимуму й меж толерантності до одного й того ж чинника. Одна й та ж сила чинника може бути оптимальною для одного виду, песимальною для іншого виду і виходити за межі витривалості для третього виду. Залежно від положення зони оптимуму в межах толерантності організми бувають теплолюбні й холодостійкі, вологолюбні й засухостійкі тощо. Зона оптимуму може бути різною в організмів одного й того ж виду на різних стадіях розвитку (наприклад, у риб у період дозрівання статевих клітин і ікрометання) до одного й того ж чинника або різною щодо різних чинників.

Для кожного виду характерні свої межі толерантності щодо одного й того ж чинника. Ця особливість видів була сформульована в 1924 році російським ботаніком Л. Г. Раменським як «*правило екологічної індивідуальності видів*» щодо рослин, а дещо пізніше це правило широко було підтверджено й у фауністичних дослідженнях.

Властивість видів адаптуватися до того чи іншого діапазону чинників середовища позначається поняттям екологічна пластичність або екологічна валентність виду. Чим ширше діапазон коливання чинника, у межах якого цей вид може функціонувати, тим більше його екологічна пластичність і тим ширше в нього межі толерантності. Організми із широкими межами толерантності є більш витривалими, і їх називають еврибійонтичними. Види, які здатні функціонувати за невеликих відхилень чинника від оптимальної величини, екологічно непластичні і є маловитривалими. Вони мають вузькі межі толерантності й називаються стенобійонтичними, або вузькоспеціалізованими. Види, які тривалий час функціонують за порівняно стабільних умов середовища, виробляють риси стенобійонтичних, а ті, які функціонують за значних коливань чинників середовища, стають еврибійонтичними.

Біонтність організму до того чи іншого чинника позначається додатком до назви чинника префікса еври- або стено-. Наприклад:

- стенотермний або евритермний (щодо температури);
- стеногідричний або евригідричний (щодо вологості);
- стеногалінні або евригалінні (щодо солоності води);
- стенофагні або еврифагні (щодо їжі);
- стеноойкний або евриойкний (щодо місць існування).

Еврибіонтних організмів щодо всіх чинників дуже мало. Еврибіонтність сприяє значному поширенню видів (найпростіші, бактерії, гриби тощо). Стенобіонтних же зазвичай обмежують ареали. Однак через високу специфічність стенобіонти можуть займати великі території.

Отже, до кожного з чинників середовища особи пристосовуються порівняно незалежним шляхом, водночас екологічна пластичність щодо різних чинників середовища виявляється неоднаковою. Тому кожен вид володіє своїм специфічним екологічним спектром, тобто сумою екологічних валентностей щодо чинників середовища існування.

Усі чинники середовища в природі впливають на організм одночасно, причому не кожен сам по собі, тобто у вигляді простої суми, а як складний комплекс, що взаємодіє. Водночас спостерігається посилення або ослаблення сили одного чинника під впливом іншого, у результаті чого абсолютна сила чинника не буде дорівнювати силі впливу чинника, яку можна визначити за реакцією організму. Наприклад, спеку легше переносити за сухого, а не вологого повітря, загроза замерзання вище за умови морозу із сильним вітром, ніж у безвітряну погоду. Ця закономірність взаємодії чинників називається констеляцією чинників. Отже, один і той же чинник у поєднанні з іншими надає неоднаковий екологічний вплив. І навпаки, один і той же екологічний ефект може бути досягнутий різними шляхами. Наприклад, компенсація нестачі води може бути здійснена поливом або зниженням температури. Однак взаємна компенсація чинників має межі, й повністю замінити один чинник іншим неможливо.

Організми, що живуть у різних частинах свого ареалу, мають різні пристосувальні особливості, тому види із широким географічним поширенням майже завжди утворюють адаптовані до місцевих умов популяції, названі *екотипами*. Їх оптимум толерантності відповідає місцевим умовам, а компенсація чинників може супроводжуватися появою генетично закріплених пристосувань — адаптацією або фізіологічною акліматизацією без генетичних змін. *Адаптаціями* називаються еволюційно вироблені і спадково закріплені особливості живих організмів, що забезпечують нормальну життєдіяльність в умовах динамічних екологічних чинників.

Адаптації бувають різних типів:

- **біохімічні адаптації** — це спадково закріплені зміни в обміні речовин організму (поява ізоферментів, зміна хімічної природи ферменту відповідно до особливостей субстрату тощо);
- **фізіологічні адаптації** — це спадково закріплені зміни характеру і швидкості фізіологічних процесів (зміна набору травних ферментів залежно від складу їжі, зміна кисневої ємності крові залежно від концентрації кисню в повітрі, зміна способу терморегуляції залежно від температурного режиму середовища тощо);
- **морфологічні адаптації** — це спадково закріплені зміни морфологічних ознак (приспосовування до швидкого плавання або пірнання в різних тварин, приспосовування до посушливих умов у рослин, приспосовування до поширення плодів у покритонасінних рослин тощо);
- **поведінкові (етологічні) адаптації** — це спадково закріплені різні форми поведінки для пристосування до умов середовища (поведінка тварин, спрямована на забезпечення нормального теплообміну з навколишнім середовищем, пристосувальна поведінка в хижака й жертви, паразита й господаря, шлюбні ігри в птахів і ссавців тощо).

Живий організм за інших рівних умов вибирає місце проживання з мінімальною амплітудою коливань одного чи кількох лімітувальних чинників середовища. Ця закономірність поведінки організмів отримала назву «**принцип мінімальної амплітуди**».

Правило попередження. У 1951 році В. В. Альохін для рослин встановив «правило попередження», згідно з яким спостерігається закономірність відповідно до просування з півночі на південь у розподілі рослинності.

Це правило дозволяє передбачити склад рослинності на ще неосвоєній території або відновити колишній її вигляд там, де вона вже знищена.

Принцип стаціональної вірності. Властивість видів вибірково займати ті чи інші стації отримала назву «принципу стаціональної вірності». Це найважливіша екологічна закономірність, що має значення у разі визначення корисності або шкідливості впливу чинників. Стацією називається ділянка території, що зайнята популяцією виду та характеризується однорідними екологічними умовами, а також певною кількістю корму.

Правило зміни середовища існування. Принцип стаціональної вірності застосовується в умовах обмеженого часу і простору. Закономірна зміна видами своїх місць проживання в широкому діапазоні часу і простору була сформульована в 1966 році вченим Г. Я. Бей-Бієнком як «правило зміни середовища існування». У просторі «правило зміни середовища існування» виражається в зональній і вертикальній зміні стацій і в зональній зміні ярусів, а в часі — у сезонній і річній зміні стацій.

Правило зміни ярусів. М. С. Гіляров сформулював «правило зміни ярусів», згідно з яким у різних зонах одні й ті ж види займають неоднакові яруси. Це характерно для трансзональних видів, тобто видів, які широко поширені і трапляються в багатьох природних зонах.

1.3 Екологічні чинники середовища, що лімітують життєдіяльність організмів

Оскільки чинники середовища, що діють одночасно, мають різну силу впливу, то життєдіяльність організму буде залежати від тих чинників, які найбільше відхиляються від зони оптимуму, і якщо хоча б один із них вийде за межі витривалості, то організм загине. Чинники, які визначають життєдіяльність організму в даному середовищі, називаються обмежувальними, або такими, що **лімітують**. Низка вчених у різний час займалися вивченням чинників, що лімітують, у результаті чого були сформульовані закони про лімітувальні чинники.

Закон мінімуму. Вивченням чинників, що лімітують розвиток організмів, займався німецький хімік Ю. Лібіх. Він вивчав вплив різноманітних чинників на ріст рослин і встановив, що врожай культур лімітується не тими елементами живлення, які потрібні у великих кількостях і яких у ґрунті достатньо, а тими, які потрібні в малих кількостях. На підставі цих спостережень був сформульований закон мінімуму: «Стійкість організму визначається найслабшою ланкою в ланцюзі її екологічних потреб. Якщо кількість і якість екологічних чинників близькі до необхідного організму мінімуму, він виживає, якщо менші за цей мінімум, організм гине, екосистема руйнується». Закон мінімуму строго застосовується тільки до умов стаціонарного стану, тобто коли приплив і відтік енергії й речовини в середовищі збалансовані. Якщо немає стаціонарного стану, ефект мінімуму відсутній.

У середовищі між чинниками відбувається взаємодія, у результаті якої один чинник може частково замінювати чинник, що лімітує, й тоді останній перестає бути таким, що лімітує. Наприклад, потреба в цинку в деяких рослин у тіні нижче, ніж на світлі, тому в тіні цинк із меншою ймовірністю може бути лімітувальним чинником.

Подальші дослідження показали, що «закон мінімуму» справедливий не тільки для рослин, але і для тварин і людини. Пізніше цей закон був сформульований таким чином: «*Витривалість організму визначається найслабшою ланкою в ланцюзі його екологічних потреб*». Життєві можливості організму лімітуються екологічними чинниками, кількість і якість яких приблизні до необхідного організму мінімуму. Подальше зниження або погіршення цих чинників веде організм до загибелі.

Концепція лімітувальних чинників була доповнена в XX столітті ще двома законами, оскільки вивчення взаємодії організму із середовищем показало, що відповідна реакція організму на зміну інтенсивності екологічного чинника описується куполоподібною кривою.

Закон обмежувальних чинників. Цей закон був встановлений у 1909 році Ф. Блекманом і формулюється таким чином: *«чинники середовища, що мають у конкретних умовах песимальні значення, особливо ускладнюють (обмежують) можливість існування виду в цих умовах, всупереч і незважаючи на оптимальне поєднання інших окремих умов»*. Однак, як уже зазначалося вище, песимальні значення чинник може мати як за низької, так і за високої сили впливу. Тому «закон обмежувальних чинників» не дає однозначної відповіді, який із чинників, що має песимальні значення — максимальний або мінімальний за силою, є таким, що лімітує.

Закон толерантності. Цей закон сформулював В. Шелфорд: *«чинником, що лімітує процвітання організму (виду), може бути як мінімум, так і максимум екологічного впливу, діапазон між якими визначає величину витривалості (толерантності) організму до цього чинника»*.

Відповідно до цього закону, будь-який надлишок речовини або енергії в екосистемі є для неї небезпечним. Для успішного застосування цього закону слід враховувати низку допоміжних принципів:

- організми можуть мати широкий діапазон толерантності щодо одного чинника і вузький діапазон щодо іншого чинника;
- організми із широкими межами толерантності практично до всіх чинників зазвичай найбільш широко поширені й утворюють еко-типи, відрізняються за положенням зони оптимуму в межах толерантності;
- якщо умови за одним екологічним чинником не є оптимальними для організму, то може звужитися й діапазон толерантності до інших екологічних чинників. Наприклад, за лімітувальним вмістом азоту в ґрунті знижується посухостійкість у злаків;
- у природі організми дуже часто виявляються в умовах, що не відповідають оптимальному діапазону того чи іншого чинника. Користуватися оптимальними умовами середовища організмам часто заважають міжпопуляційні і внутрішньопопуляційні взаємини, тобто міжвидові і внутрішньовидові біотичні чинники. Наприклад, за великої кількості бур'янів культурні рослини не можуть повною мірою використовувати сонячну енергію, воду й елементи живлення, аналогічно як і за надмірно густого посіву культурних рослин;
- початкові етапи розвитку організмів зазвичай є критичними, тому що багато чинників середовища в цей період часто стають лімітувальними через те, що межі толерантності для особин, що розвиваються, зазвичай вужчі, ніж для дорослих організмів.

Цінність концепції лімітувальних чинників полягає в тому, що вона дає екологу початок для дослідження складних ситуацій у природі. Основну увагу слід приділяти тим чинникам, які функціонально важливі для організму на якихось етапах його життєвого циклу. Тоді вдасться досить точно передбачити результат змін середовища. Для цього слід шляхом спостережень, експерименту й аналізу виявити функціонально важливі для організму чинники і визначити, як ці чинники впливають на особин, популяції і спільноти.

1.4 Взаємодія організмів і хімічних речовин

Живі організми в процесі своєї життєдіяльності впливають на середовище проживання в умовах постійної дії на них різних хімічних речовин. Вивченням таких взаємодій організмів і хімічних речовин займається **хімічна екологія**.

В. І. Вернадський сформулював закон біогенної міграції атомів, у якому стверджується, що міграція хімічних елементів у біосфері загалом здійснюється під впливом живої речовини. Жива речовина або бере участь у біохімічних процесах безпосередньо, або створює відповідне, збагачене киснем, вуглекислим газом, воднем, азотом, фосфором і іншими речовинами, середовище. Цей закон має важливе практичне й теоретичне значення. Розуміння всіх хімічних процесів, які відбуваються в біосфері, неможливо без урахування дії біотичних чинників. У цей час громадська діяльність дуже впливає на стан біосфери, змінюючи її фізичний і хімічний склад, умови збалансованої віками біогенної міграції атомів. У майбутньому це може послужити причиною значних негативних змін, які набувають здатність саморозвиватися і стають глобальними, некерованими (опустелювання, деградація ґрунту, вимирання тисяч видів організмів).

Процеси взаємодії організмів із хімічними речовинами, присутніми в місці їх існування, проявляються в міжвидових і внутрішньовидових типах взаємодій речовин і організмів.

Речовини, які беруть участь у міжвидових (алелохімічних) взаємодіях:

- *аломони* — це речовини, що відлякують; речовини, які прикривають втечу (чорнильна рідина в головоногих молюсків); супресори (антибіотики); отрути; індуктори (викликають утворення галусів, вузликів тощо); протіотрути; приманки (залучають здобич до організму-хижака);
- *кайромони* — це речовини, які залучають до їжі; індуктори, що стимулюють адаптацію (наприклад, чинник, що викликає утво-

рення шипів у коловертках); сигнали, що попереджають про небезпеку або токсичність; стимулятори (чинники росту);

- *депресори* — речовини, які пригнічують організм.

Речовини, які беруть участь у внутрішньовидових взаємодіях:

- *аутоксини* — токсичні для організму;
- *аутоінгібітори* — стримуючі чисельність популяції в таких межах, щоби вона перебувала в рівновазі з навколишнім середовищем;
- *феромони* — визначають характер статевих, суспільних відносин, тривогу й оборону; виконують функцію мітки території проживання тощо.

Хімічні взаємодії між рослинами з погляду біохімічної еволюції надзвичайно складні. Кінцевий продукт метаболізму, що викидається ними в навколишнє середовище, може чинити згубну дію на одні види рослин, тоді як інші до нього виявляються не чутливими. Іноді цей продукт шкідливий для самої рослини, що виробляє його, іноді ні. Наприклад, у деяких тропічних дерев спостерігається явище самоотруєння: їх насіння можуть проростати тільки на ґрунтах, де ростуть інші види рослин.

Взаємодія між рослинами і тваринами здійснюється різноманітними способами. Засоби, за допомогою яких рослина захищається від тварин, різноманітні: шипи, алкалоїди, кардіотоксичні стероїдні глікозиди, неприємний смак, гіркота. Деякі рослини для захисту можуть біосинтезувати гормони комах — екдізони, здатні згубно діяти на гусениць метеликів. Часто трапляється таке явище, коли специфічна речовина привертає до рослини тварин одного виду і відштовхує тварин інших видів. Така адаптація допомагає комахам уникнути отруйних хімічних пасток. Одні й ті ж речовини допомагають личинкам розпізнати їжу, залучити самок, які збираються відкласти яйця.

Залучення комах запашними речовинами квітів, що сприяє запиленню, є класичним прикладом міжвидових (алелохімічних) взаємодій.

Явище хімічної взаємодії між живими організмами починається на рівні біосфери. Щорічно в повітряний простір планети надходить приблизно 1 млрд тонн летючих органічних речовин. Кількість органічної речовини, що виноситься річками в океан і виділяється мешканцями океану, теж дуже важлива. Органічні речовини відіграють роль живильного середовища й беруть участь у складних біохімічних циклах. За допомогою хімічних речовин підтримується біологічна рівновага між мешканцями океану. Взаємодії між неорганічними речовинами й рослинами грають важливу роль. Рослини поглинають і накопичують у своїх тканинах велику кількість елементів із мінерального середовища, причому які не завжди є для них необхідними. До таких хімічних елементів належать: вуглець, водень, кисень, азот, фос-

фор, сірка, кальцій, магній, калій, залізо, марганець, мідь, бор, молібден, кобальт, кремній, селен, фтор, бром, йод.

За вмістом неорганічних речовин у рослинах можна виявити поклади руд. Так, поклади арсенопіріту були визначені за вмістом заліза в травах. Цим методом користуються для відшукання покладів бору, нікелю, кобальту, міді, хрому, молібдену й ін.

Хімічні способи, що застосовуються живими організмами в боротьбі за збереження виду, дуже різноманітні: від токсинів і отрут до засобів маскування. Вони використовуються як засіб нападу, якщо тварина має спеціалізовані органи, які виділяють отруйні речовини. Токсичні речовини можуть перебувати в самому організмі-продуценті, у цьому випадку оборонний характер такої зброї проявляється тільки під час нападу на організм. Усі отруйні тварини можуть бути розділені на три категорії. Активні отруйні тварини мають отруйні залози або органи, які використовують для нападу. Пасивні отруйні тварини використовують отруту тільки для оборони. Третя група отруйних тварин містять отруту в організмі, а їх токсичність проявляється в ситуації зіткнення з ними або вживанні їх у їжу.

Мікотоксини небезпечні для тварин і людини. До них належать ріжки жита, що містяться у борошні, які в давні часи викликали гангренозний ерготизм (гангрена). Отрутою в даному випадку є похідні лізергінової кислоти — ерготамін та інші поліпептидні ергоалкалоїди. Отруєння продуктів харчування токсинами нижчих грибів — явище, поширене в повсякденному житті. Здатність грибів до синтезу величезної кількості різноманітних токсичних речовин з'ясувалася в результаті робіт з отримання антибіотиків.

Афлатоксини містяться в арахісі, різних видах зернових і бобових, у комбікормах для худоби, зневоднених харчових концентратах і, як правило, накопичуються в процесі зберігання. Сьогодні відомо приблизно двадцять різних афлатоксинів, що викликають отруєння. Охратоксин викликає некрози печінки у тварин, що харчуються зараженими цими грибами кормами. Екзему шкіри обличчя здатні викликати сапрофіти, які живуть на злакових рослинах, що розкладаються. Небезпечними для печінки речовинами (гепатотоксинами) є група поліядерних оксихінонів, які продукуються різними видами нижчих грибів, що ростуть переважно на рисі. Циклічні пептиди білої поганки призводять до смертельного результату у разі потрапляння грибів у їжу. Поганки містять отруйні речовини — фалоїдин і аматоксини, смертельна доза яких для людини становить 0,1 мг/кг.

До **фітотоксинів** належать отруйні речовини, що виробляються фітопатогенними грибами або бактеріями. Як правило, фітотоксини виділяють із середовища гриба-продуцента й набагато рідше

із заражених ними рослини. Фітотоксини викликають пожовтіння і хлороз листя рослин (наприклад, шкідник тютюну *Pseudomonas tabaci* і токсин, який виробляється ними — дипептид треоніну й оксиди амінової кислоти).

Фітопатогенна дія бактерій може мати фізико-хімічну природу. Відомо, що накопичення полісахаридів ускладнює нормальну циркуляцію соків у рослині і призводить до висихання листя. Біологічна активність міко- і фітотоксинів вельми різноманітна й мало вивчена. Свою шкідливу дію вони надають у дуже низьких концентраціях, за винятком деяких вищих грибів, для яких їх отруйність служить захистом від людини. У відповідь на зараження грибами-патогенами деякі рослини здатні виробляти фунгіцидні речовини. Такою ж властивістю володіють деякі мікроорганізми, здатні виробляти речовини, які ми називаємо антибіотиками, що володіють яскраво вираженою алелохімічною дією. Роботи Вюймера (1889), Пастера й Жубера (1887), Флемінга (1929) підготували ґрунт для виділення перших антибіотиків — **пеніцилінів** (1943–1945), що виробляються цвіллю *Penicillium notatum*. Пеніцилін ефективно пригнічує ріст стафілококу й багатьох інших бактерій. Антибіотики належать до різноманітних класів органічних сполук: терпеноїди (рорідин, стрептоміцин), поліпептиди (граміцидин), депсіпептиди (енніатин), макроліди (що містять макроциклічне лактонне кільце), нуклеозиди (пуроміцин), внутрішньоконфлексні сполуки, що містять іони важких металів — заліза й міді (феррімінцин), конденсовані поліядерні системи (тетрациклін). Володіння властивостями до вироблення таких речовин, як антибіотики, дає мікроорганізму-продуценту очевидну перевагу в пристосуванні до середовища.

На відміну від рослин захисна реакція тварин повинна забезпечити збереження цілісності організму. Серед ефективних видів хімічної зброї тварин налічується безліч токсичних продуктів, природа впливу яких на супротивника до кінця ще в багатьох випадках не ясна. Відповідно до класифікації ці речовини відносять до аломонів.

Нереїстоксин — третинний амін із циклічним дисульфідним угрупованням, що володіє інсектецидними властивостями, виявлений у представників морських безхребетних черв'яків — нереїс. Ці тварини здатні впорскувати свою отруту в тіло жертви в разі укусу або в разі уколу щетинки. З гіпобранхіальних залоз морських червононогих молюсків були виділені різні похідні холіну: мурексин, сенеціоліхолін, акрілілхолін, здатні викликати мускульний параліч і зупинку дихання в мишей. Отрути равликів-конусів представляють собою суміш біологічно активних амінів, пептидів і білків, що володіють курареподібною дією, смертельною для людини.

Еволюційний розвиток членистоногих призвів до появи в них широкого арсеналу засобів хімічного захисту (а нерідко й нападу). Жалкі перетинчастокрилі, до яких належать бджоли, оси, шершні, володіють секретуючими отруту залозами й досить досконалим апаратом, що дозволяє їм вводити цю отруту в тіло супротивника. Багато хребетних, зокрема людина, чутливі до отрути членистоногих. До складу отрути комах входять фосфоліпази А і В, серотонін, гістамін, ацетилхолін, гіалуронідаза та ін. Укуси комах викликають сильні болі, впливають на центральну нервову систему, викликаючи судоми, а іноді й летальний результат.

Деякі хребетні тварини також здатні виробляти отрути, природа яких досить різноманітна. **Батрахотоксин**, яким користуються американські індіанці в разі виготовлення отруєних стріл, являє собою стероїдний алкалоїд і вперше був виділений із залоз жаби *Phylllobates aurotatntia*. Перелік отруйних хребетних тварин досить великий. Слід зазначити, що хребетні, у яких є спеціалізовані залози із сильнодіючою отрутою і пристосуванням для введення її в тіло іншої особини, є активними, тоді як ті отруйні тварини, у яких такого пристосування немає, ведуть пасивний і прихований спосіб життя.

У хімічних взаємодіях між живими організмами важливе місце займає **мімікрія**, що виражається зовнішньою схожістю незахищених тварин із предметами навколишнього середовища та рослинами (мімезія) або захищеними тваринами (міметизм). З погляду еволюції володіння хімічною зброєю це чинник, який полегшує пристосування до середовища. Попереджувальна сигналізація є одним із варіантів захисту. У забарвленні комах беруть участь пігменти, які належить до різних типів сполучених систем: меланіни, охроми, птеріни, каротиноїди, флавоїди, пігменти жовчі тощо.

Міметизм — засіб захисту тільки від високоорганізованих тварин (переважно хребетних) — ефективний лише в тому випадку, якщо імітатор мешкає в тій же місцевості, що й модель, і значно поступається їй у чисельності. Розрізняють дві форми — бейтсовський міметизм, в разі якого метелики-білявки схожі з неїстівними яскраво забарвленими метеликами сімейства геліконів, що володіють неприємним запахом і смаком. Згідно з мюллерівським міметизмом кілька видів тварин мають схожу зовнішність і, наслідуючи один одного за забарвленням і формою, утворюють «кільце» мімікрії. Наприклад, багато видів ос подібні за обрисами тіла й забарвленням, отруйні комахи (семиточкова божя корівка, клоп-солдатик, жук-напивник) мають червоне забарвлення з чорними плямами (відлякувальне забарвлення). Вороги комах, виробивши рефлекс відрази на один вид, не чіпають комах інших видів, що входять у «кільце». Міметизм відносять до чис-

ла дуже складних явищ, розумінню яких поки ще перешкоджає фрагментарний характер наших знань.

Феромони — біологічно активні речовини, що виділяються тваринами в навколишнє середовище і специфічно впливають на поведінку або фізіологічний стан інших особин того ж виду. Одним із перших у чистому вигляді виділений статевий феромон самиці тутового шовкопряда — бомбікол. Зазвичай феромони секретуються спеціальними залозами, а їхнє сприйняття здійснюється за допомогою хеморецепторів. За хімічною будовою феромони дуже різноманітні й не утворюють однорідної групи хімічних сполук (терпеноїди, стероїди, насичені або граничні кислоти, альдегіди, спирти та ін.). Феромони наземних тварин повинні володіти деякою мінімальною леткістю, що обмежує їх молекулярну масу (не більше за 300). Активність феромонів проявляється в надзвичайно низьких концентраціях. Виділені тваринами феромони являють собою суміш декількох компонентів, кожен із яких може мати активність. Зазвичай феромони видоспецифічні, проте можуть надавати помітну дію на представників інших споріднених видів.

Найбільш вивчені феромони комах. У риб і земноводних виявлені статеві феромони і феромони тривоги. Пахучі виділення ссавців можуть впливати на статеві, материнські, територіальні, агресивні й інші форми поведінки, а також на фізіологічний та емоційний стан інших особин. Феромони є потенційно ефективними засобами управління поведінкою тварин. Статеві аттрактанти й агрегаційні феромони застосовуються в біологічних методах боротьби з комахами-шкідниками, замінюючи в низці випадків пестициди. Діапазон дії цих речовин становить від декількох міліметрів до декількох кілометрів. Наприклад, статеві аттрактанти самиці тутового шовкопряда діспарлюр привертають самця за концентрацією $3 \cdot 10^{-19}$ г речовини в 1 см^3 повітря. Аттрактанти, що привертають до місця відкладання яєць, може випускати рослина-господар. Наприклад, у кореневої капустяної молі відкладання стимулює аллілізотіоціанат, що випускається рослинами сімейства хрестоцвітних; у москітів — α -амінокислоти. Феромони сліду входять до складу пахучих сумішей, якими комахи мітять їжу або дороги, що ведуть до джерела цієї їжі. Феромони тривоги характерні для суспільних комах, а також для комах, які тимчасово утворюють великі угруповання. Відомо, що в мурашок є дві залози, що виробляють феромони тривоги, до складу яких входять вуглеводні, метил-кетони, терпеноїди. Потривожений мураха випускає із залоз невелику кількість феромонів тривоги, які негайно викликають занепокоєння в одноплемінників. Сигнал тривоги зі швидкістю ланцюгової реакції поширюється на весь мурашник, який приходить у бойову готовність.

Точний зміст подібних сигналів поки що невідомий, можна тільки лише припустити, що він може змінюватися залежно від інтенсивності вироблення того чи іншого компонента сигнальної суміші.

Нагальною потребою всіх живих істот є взаємодія один з одним і з навколишнім середовищем, водночас відбувається передача інформації. Для цього використовуються всі можливі засоби: звук, світло, форма, молекули (як окремо, так і в поєднанні один з одним). У передачі інформації виявляються основні функції хемомедiatorів: захисна, атрактивна, індикаційна, орієнтаційна, сигнальна й адаптивна. Різні види взаємовідносин між організмами мають одну спільну рису: їх мета — забезпечити збереження виду. Самозбереження й успішний розвиток живих особин є прихованою рушійною силою взаємодії їх із середовищем проживання. Встановлення тенденцій, що забезпечують ці взаємодії, є важливим завданням хімічної екології.

КОНТРОЛЬ-КОЛОКВІУМ

до розділу 1

1. Визначте хімічну екологію як науку.
2. Коротко схарактеризуйте завдання хімічної екології.
3. Окресліть коло досліджень, необхідних для розв'язання проблем охорони навколишнього середовища.
4. Схарактеризуйте абіотичні чинники середовища.
5. Схарактеризуйте біотичні чинники середовища.
6. Прокоментуйте закон мінімуму Ю. Лібіха.
7. Які дії можуть надавати екологічні чинники на живі організми?
8. Прокоментуйте закон оптимуму.
9. Сонячна енергія як абіотичний чинник середовища.
10. Роль температури як екологічного чинника.
11. Схарактеризуйте групи живих організмів залежно від механізмів терморегуляції.
12. Вода як екологічний чинник і як середовище проживання.
13. Вплив рН на виживання організмів-гідробіонтів.
14. Схарактеризуйте особливості аеробних і анаеробних організмів.
15. Перерахуйте речовини, які беруть участь у міжвидових (алелохімічних) взаємодіях.
16. Перерахуйте речовини, які беруть участь у внутрішньовидових взаємодіях.
17. Які речовини відносять до фітотоксинів?
18. Що називають мімікрією? Коротко схарактеризуйте міметизм.
19. Які речовини називають феромонами? Коротко схарактеризуйте їх.
20. Наведіть класифікацію феромонів залежно від характеру ефекту, що викликається.

ТЕСТОВИЙ КОНТРОЛЬ до розділу 1

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Каразінський навчально-науковий інститут екології
(149 балів)

Хімічна екологія

Прізвище, ім'я, по батькові _____
№ зал. книжки _____ Дата контролю _____ Тривалість контролю _____

Частина I (43 бали)

Творчо-алгоритмічний рівень пізнання
Умови виконання завдання. Дайте коротку відповідь.

1. Хімічна екологія — _____
_____ (4 б.)
2. Які речовини належать до фітотоксинів? _____

_____ (3 б.)
3. Коротко схарактеризуйте мімікрію. _____

_____ (6 б.)
4. Дайте визначення поняттю «біосфера». Назвіть вченого, який запропонував цей термін.

_____ (7 б.)
5. Які реакції називають фотохімічними? _____

_____ (10 б.)
6. Дайте визначення поняттю «якість води». _____

_____ (8 б.)
7. Дайте визначення поняттю «природні ресурси». _____

_____ (5 б.)

Частина II (7 балів)**Алгоритмічний рівень пізнання**

Умови виконання завдання. Визначте правильно наведене твердження.

- | | | | |
|----|--|-----|----|
| 1. | Згідно із законом Лібіха урожай культур часто лімітується елементами живлення, які потрібні в незначних кількостях | Так | Ні |
| 2. | Позитивний або негативний вплив чинника на організм залежить від сили його впливу | Так | Ні |
| 3. | Сонячне випромінювання, входячи в атмосферу Землі, повністю нею поглинається | Так | Ні |
| 4. | Фізико-хімічні процеси в тілах організмів можуть протікати в інтервалі температур, які здебільшого коливаються в межах від 0° до 50° C | Так | Ні |
| 5. | Переважаюча кількість організмів не виносять коливання величини рН | Так | Ні |
| 6. | Активність феромонів проявляється тільки у великих концентраціях | Так | Ні |
| 7. | Прісні води становлять приблизно 30 % загального обсягу вод суші | Так | Ні |

Частина III (12 балів)**Репродуктивний рівень пізнання**

Умови виконання завдання. Проаналізуйте варіанти відповідей і визначте правильні.

- До абіотичних чинників середовища відносять:
а) едафогенні; б) зоогенні; в) хімічні.
- До біотичних чинників середовища відносять:
а) орографічні; б) фітогенні; в) антропогенні.
- Екологічні чинники середовища можуть чинити на організми вплив різного роду:
а) дратівливий; б) обмежувальний; в) модифікаторний.
- Залежно від характеру ефекту, що викликається, розрізняють:
а) феромони тривоги; б) слідові феромони; в) харчові тракти.
- Вичерпні природні ресурси діляться на:
а) відновлювані; б) невичерпні; в) не відновлювальні.

Частина IV (12 балів)**Репродуктивно-алгоритмічний рівень пізнання**

Умови виконання завдання. Відновіть пропущені ключові слова, числа тощо.

- Є організми з автономною терморегуляцією — _____ (1 сл.) й організми з повною відсутністю терморегуляції — _____ (1 сл.). (2 б.)
- Як середовище проживання вода відрізняється від повітря насамперед _____ і _____ (2 сл.). (2 б.)

3. За умови високих температур, підвищеної вулканічної діяльності, сонячного випромінювання на початковому етапі хімічної еволюції біосфери з _____ (1 сл.) і _____ (1 сл.) утворилися _____ (3 сл.). (5 б.)
4. Під дією ультрафіолетового випромінювання можуть відбуватися реакції _____ (1 сл.), _____ (1 сл.), перенос заряду, _____ (1 сл.), обмінні реакції й реакції алотропічної видозміни. (3 б.)

Частина V (20 балів)

Репродуктивно-алгоритмічний рівень пізнання

Умови виконання завдання. Знайдіть відповідність показникам із групи А показників із групи Б

	Група А		Група Б
А	Міжвидова взаємодія	1	Феромони
Б	Внутрішньовидова взаємодія	2	Тропосфера
В	Атмосфера	3	Аломони
Г	Гідросфера	4	Річки
Д	Природні ресурси	5	Мезосфера
		6	Аутоксини
		7	Сонячне світло
		8	Льодовики
А		9	Кайромони
Б		10	Аутоінгібітори
В		11	Екзосфера
Г		12	Вода
Д		13	Депресори
		14	Тварини
		15	Підземні води
		16	Стратосфера
		17	Ґрунти
		18	Термосфера
		19	Вичерпні
		20	Невичерпні

Частина IV (55 балів)

Творчий рівень пізнання

Умови виконання завдання. Визначте, що буде, якщо...;
викладіть свою точку зору щодо наведеного.

1. Як Ви думаєте, які завдання хімічної екології є першочерговими?

- _____
- _____ (12 б.)
2. Які основні напрями досліджень для розв'язання проблем охорони навколишнього середовища? _____
- _____
- _____ (9 б.)
3. Визначте відмінності між аеробними й анаеробними організмами. _____
- _____
- _____ (8 б.)
4. Визначте відмінності між аеробіосферою, гідробіосферою й геобіосферою. _____
- _____
- _____ (6 б.)
5. Які фізичні та хімічні властивості води називають унікальними? _____
- _____
- _____ (10 б.)
6. Які хімічні і фізичні властивості ґрунту, що характеризують його родючість, є, на Вашу думку, основними? _____
- _____
- _____ (10 б.)

РОЗДІЛ 2

ПОНЯТТЯ ЕКОСИСТЕМИ І БІОСФЕРИ. СТРУКТУРА БІОСФЕРИ, ХАРАКТЕРИСТИКА ТА ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ АТМОСФЕРИ, ГІДРОСФЕРИ ТА ЛІТОСФЕРИ. БІОГЕОХІМІЧНИЙ КРУГООБІГ РЕЧОВИН У БІОСФЕРІ

Нормативні навчальні елементи до розділу 2

1. Біохімічний цикл
2. Кругообіг вуглецю
3. Фотосинтез
4. Кругообіг азоту
5. Нітрифікація
6. Кругообіг фосфору
7. Асиміляція
8. Вилуговування
9. Ресурсний цикл
10. Токсиканти навколишнього середовища
11. Справжні токсиканти
12. Неорганічні токсиканти
13. Діоксини
14. Джерела діоксинів

Додаткові навчальні матеріали до розділу 2

1. Бактерії-денітрифікатори
2. «Грунтове дихання»
3. «Лисиці хвіст»
4. «Фосфорний голод»
5. Біоциди
6. Діоксини

Знання та вміння, які повинні сформуватися в студента в результаті вивчення розділу 2

- Нормативні навчальні елементи до розділу 2.
- Знати, в чому полягають великий і малий кругообіг.
- Біогеохімічний цикл вуглецю, азоту, фосфору й сірки.
- Відмінність природних циклів речовин від ресурсного циклу.
- Наслідки видобутку корисних копалин і переробки сировини.
- Знати ступінь небезпеки неорганічних токсикантів.
- Механізм дії діоксинів на людину.

ЛІТЕРАТУРА

для вивчення розділу 2, підготовки до контролю-колоквиуму і тест-контролю

1. Алекин О. А. Химия океана / О. А. Алекин, Ю. И. Ляхин. — Л. : Гидрометеиздат, 1984. — 86 с.
2. Андруз Дж. Введение в химию окружающей среды / Дж. Андруз, П. Бримбл-лекумб, Т. Джикелз, П. Лисс.; пер. с англ. — М. : Мир, 1999. — 271 с.
3. Беспаятнов Г. П. Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде : справочник / Г. П. Беспаятнов, Ю. А. Кро-тов. — Л. : Химия, 1985. — 528 с.
4. Бессонов О. А. Геохимическая история углерода в биосфере / О. А. Бес-сонов. — Ростов н/Д, 1996. — 164 с.
5. Богдановский Г. А. Химическая экология. — М. : Изд-во МГУ, 1994. — 237 с.
6. Бримбл-лекумб П. Состав и химия атмосферы / П. Бримбл-лекумб. — М. : Мир, 1988. — 351 с.
7. Вернадский В. И. Химическое строение биосферы Земли и ее окруже-ния / В. И. Вернадский. — М. : Наука, 1987. — 339 с.
8. Говорушко С. М. Влияние хозяйственной деятельности на окружающую среду / С. М. Говорушко. — Владивосток : Дальнаука, 1999. — 171 с.
9. Дедю И. И. Экологический энциклопедический словарь / И. И. Дедю. — Кишинев, 1990. — 504 с.
10. Золотов Ю. А. Окружающая среда — вызов аналитической химии / Ю. А. Золотов // Вестн. РАН. — 1997. — Т. 67, № 11. — С. 1040–1041.
11. Израэль Ю. А. Экология и контроль состояния природной среды / Ю. А. Израэль. — М. : Гидрометеиздат, 1984. — 560 с.
12. Исидоров В. А. Органическая химия атмосферы / В. А. Исидоров. — Л. : Химия, 1985. — 245 с.
13. Основы аналитической химии. Кн. 2 : Методы химического анализа / под ред. Ю. А. Золотова. — М. : Высш. шк., 1996. — 462 с.
14. Реймерс Н. Ф. Природопользование : словарь-справочник / Н. Ф. Рей-мерс. — М. : Мысль, 1990. — 638 с.
15. Скурлатов Ю. И. Введение в экологическую химию / Ю. И. Скурлатов, Г. Г. Дука, А. М. Мизити. — М. : Высш. шк., 1994. — 398 с.

16. Тинсли И. Поведение химических загрязнителей в окружающей среде / И. Тинсли. — М. : Мир, 1982. — 273 с.
17. Тяжелые металлы в окружающей среде / Под ред. В. В. Добровольского. — М. : Изд-во МГУ, 1980.
18. Чибисова Н. В. Экологическая химия : учеб. пособие / Е. К. Долгань, Н. В. Чибисова. — Калининград, 1998. — 112 с.

2.1 Поняття екосистеми й біосфери. Структура біосфери

Екосистема — це будь-яка спільнота живих істот і її місце існування, об'єднані в єдине функціональне ціле на основі взаємозалежності та причинно-наслідкових зв'язків, які є між окремими екологічними компонентами. Термін «екосистема» запропонований в 1935 р. А. Тенслі, у подальшому теорія екосистем розроблялася академіком В. М. Сукачовим (в його працях використаний термін біогеоценоз).

За характером трофності й отримання енергії екосистеми поділяються на три функціональні групи, що складаються з безлічі популяцій: продуценти, консументи й редуценти.

У першу групу продуцентів (від лат. *Producers* — виробляє) входять виробники органічної речовини. Це автотрофи: фотосинтезуючі рослини й бактерії, які використовують сонячну енергію, хемосинтезуючі бактерії, що використовують хімічну енергію для побудови органічної речовини. Продуценти є джерелом органічної речовини й енергії для консументів (від лат. *Consumo* — споживач). Первинними консументами називають рослиноїдних тварин; вторинними і третинними консументами — паразитів і хижаків, які споживають рослиноїдних і один одного.

Замикаючою групою харчових ланцюгів є редуценти (від лат. *Reducere* — повертати), переробні залишки органічної речовини: рослинний опад, труп, екскременти. До редуцентів належать найрізноманітніші організми — від птахів і ссавців, що поїдають падаль, до труп'яїдних комах і бактерій.

Остаточна переробка органічної речовини здійснюється редуцентами-деструкторами, що розкладають органічні сполуки на неорганічні молекули (воду, вуглекислий газ, аміак та інші мінеральні речовини), які знову використовуються рослинами. Найбільш активними організмами-деструкторами є гриби.

Тільки спільне функціонування продуцентів, консументів і редуцентів забезпечує існування екосистеми. Без зелених рослин не можуть обійтися тварини, відсутність рослиноїдних унеможливає існування хижаків. Без редуцентів екосистеми заповнилися б мертвою органікою, а запаси мінеральних речовин швидко б вичерпалися.

Первинним джерелом енергії для кругообігу речовин в екосистемах служить сонячне світло, водночас енергія світла повинна надходити постійно. Енергія сонячних фотонів у процесі життєдіяльності екосистеми розсіюється у вигляді тепла й не може бути використана в системі заново.

Продукція екосистем. Важливі параметри будь-якої екосистеми — біомаса і її приріст. Найвищу біомасу мають тропічні ліси, найнижчу — тундри й пустелі. Біомаса тропічних лісів становить 500 т/га, широколистяних лісів помірної зони — 300 т/га, пустель — більше за 10 т/га. Серед тварин найбільшу біомасу мають ґрунтові безхребетні дощові черв'яки — 300–900 кг/га, біомаса лісових хребетних становить менше 10 кг/га.

Загальна площа листя рослин у широколистяних лісах помірної зони, які ростуть на 1 га ґрунту, становить 4–6 т/га, коренів 3–4 т/га. Загальна продукція біомаси лісових масивів становить 10 т/га. Біомаса ґрунтових мікроорганізмів на 1 га ґрунту може становити від 300 до 3 000 кг.

Біомаса водоростей океану (основу її становить фітопланктон) в 10 тис. разів менше, ніж рослин суші, а її продукція менше лише в 3 рази. У разі безперешкодного розмноження зелені водорості теоретично здатні накопичуватися в кількості, що дорівнює масі земної кори, усього за 25 діб (бактерії — за 2 доби, а слони — за 1 300 років). Біомаса водоростей в океані відтворюється майже щодня, а в широколистяному лісі біомаса вищих рослин — кожні 30 років. Істотно триваліший цикл відтворення лісової біомаси обумовлений переважно значною інертною масою деревних стовбурів. Здебільшого піраміда біомас земних екосистем подібна до піраміди продукції, а піраміда біомас океану перевернута догори основою завдяки високій продуктивності й малій масі планктону.

Отже, кожна екосистема займає певну територію, володіє конкретним видовим складом, характеризується трофічною структурою й біопродуктивністю.

Природні екосистеми найчастіше мають кільцеву або петлеподібну структуру (рисунк 1.2).

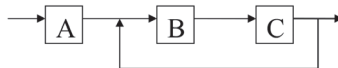


Рис. 2.1 — Частково замкнута система петля зворотного зв'язку

Такою, наприклад, є екосистема міста, у якій ресурси А перетворюються в корисні товари В, а відходи, що утворюються після переробки, знову запускаються у виробництво, що зменшує їх кількість.

У будь-якій екосистемі, з урахуванням зворотного зв'язку, є чотири основні компоненти: потік енергії, кругообіг речовин, угруповання й керівна петля зворотного зв'язку.

Класифікація екосистем. У загальному вигляді екосистеми поділяються на природні (луг, тундра, пустеля, ліс, озеро, море, океан тощо) і штучні (місто, агроекосистеми, акваріум, космічний корабель тощо).

За структурними ознаками екосистеми поділяються на: наземні (тундра, степ, савана, хвойний ліс, тропіки тощо); прісноводні (озеро, ставок, річка, струмок, болото тощо); морські (море, океан тощо).

Слід зазначити кібернетичну природу екосистеми, тобто, крім потоків енергії і кругообігу речовин, вони характеризуються інформаційними потоками — фізичні й хімічні сигнали, які пов'язують усі частини системи й управляють нею як одним цілим.

Принцип зворотного зв'язку багато в чому визначає стабільність екосистем. Розрізняють резисторну і пружну стабільності. Резисторна стабільність — здатність екосистеми чинити опір порушенням, підтримуючи незмінним свою структуру і функцію. Пружна стабільність — здатність екосистеми відновлюватися після того, як її структура і функції були порушені.

Біосфера — це найбільша (глобальна) екосистема Землі, область системної взаємодії живої й неживої речовини на планеті (Н. Ф. Реймерс, 1990). Відповідно до визначення В. І. Вернадського, «Біосфера — це нижня частина атмосфери, уся гідросфера і верхня частина літосфери Землі, населена живими організмами, область існування живої речовини».

Жива речовина розглядається як особливий прояв термодинамічних, фізичних і хімічних умов планети, здатний організовувати їх так, щоби мати максимальну стійкість у часі і в просторі. Біосфера — це не тільки зовнішня оболонка Землі, охоплена життям, а і структурно нею організована. Жива речовина за час свого існування глибоко змінила первісну природу планети. Життя ніби само пристосовувало середу й оптимізувало умови. У стратосфері виник озоновий екран, який захищає живі істоти від згубного впливу ультрафіолетових променів і інших космічних випромінювань.

Обмеженість ресурсів азотно-вуглецевого, водного, повітряного й мінерального живлення жива речовина пододала шляхом створення ґрунтового покриву, синтезу високодисперсних мінералів, що забезпечують сорбцію сполук азоту, фосфору, кальцію, калію та ін., більш ефективною акумуляцією гумусно-органічних сполук макро- (вуглець, азот, фосфор, кальцій, сірка, калій) і мікроелементів (йод, цинк, мідь, кобальт, селен та ін.). За своїм біохімічним значенням у підтримці життя на планеті ґрунтовий покрив можна порівняти з озоновим екраном у стратосфері.

Фотосинтез є механізмом накопичення активної біохімічної енергії в масах органічної речовини, у ґрунтовому гумусі у вигляді горючих копалин.

Виняткову роль відіграє механізм «співпраці» (симбіозу) між рослинами, тваринами, комахами, нижчими безхребетними, мікроорганізмами з утворенням так званих харчових ланцюгів. Харчові ланцюги забезпечують тривале утримання всередині екосистем енергії, пов'язаної фотосинтезом, і резерву біофільних елементів (вуглець, азот, калій, сірка, кальцій, марганець і ін.), необхідних для нових поколінь живої речовини. На цій основі формуються основні ланки біогеохімічного кругообігу речовин.

Біологічний спектр біосфери має ступінчастий характер: угруповання, популяція, організм, орган, клітина, ген, що є предметом вивчення традиційної екологічної науки.

Слід зазначити, що в цьому спектрі немає різких кордонів у функціональному сенсі, оскільки кожен рівень інтегрований, взаємопов'язаний з іншими. Як і організм, ізольований від популяцій, не в змозі довго бути, так і угруповання не може бути, якщо в ньому не відбувається кругообіг речовин і в нього не надходить енергія. Потоки речовини й енергії пов'язують угруповання між собою і з навколишнім середовищем у нерозривну єдність — екосистему.

2.2 Хімічна природа етапів еволюції біосфери

Усі процеси, що відбуваються на нашій планеті, як природні, так і антропогенні, за суттю своєю представляють рух хімічних елементів, перетворення їх з'єднань.

Виникнення життя з неживої (відсталої) речовини було хімічним процесом, який здійснювався в суворо визначеній послідовності й закономірності. Вчення **Е. Геккеля** стало основою хімічної гіпотези еволюції, згідно з якою спочатку з'явилися з'єднання вуглеводу під дією хімічних і фізичних чинників. Ці речовини являли собою не розчини, а суспензії маленьких «грудочок», здатних до зростання та накопичення речовини. Зростання відбувалося до певної межі, за якою був поділ. У результаті диференціювання «грудочок» у них виникало ядро. З'явилася ядерна клітина — вихідна форма для живих істот на Землі.

Концепція А. І. Опаріна і його послідовників ґрунтується на уявленнях про відновлювального, окислювального й нейтрального складника первинної стародавньої атмосфери Землі.

У водному середовищі, наповненому «перворідними» хімічними речовинами — амонійними і фосфорними солями, в присутності

світла й тепла здійснювався абіогенний синтез нескладних органічних сполук. Унаслідок складних фізико-хімічних процесів виникла первинна жива система — колоїдний слиз, що виявляв функції асиміляції й росту. Колоїдний слиз, або стійкі напіввідді згущення — коацервати могли руйнуватися, створюватися знову, а в разі досягнення певного розміру розпадатися на дочірні утворення, тобто ділитися. Окремі «краплі» могли утворювати групи (колонії). У результаті стався якісний стрибок: збереглися лише ті «краплі», які містили в собі материнські ознаки й отримали здатність до відтворення. Ці «краплі» змогли вибірково поглинати речовини з навколишнього розчину й позбуватися від непотрібних з'єднань. Це стало початком обміну речовин і в подальшому призвело до функціональної спеціалізації окремих частин коацерватів. Вважається, що з виникненням самовідтворення коацерватна крапля перетворилася в найпростіше живе утворення, тобто в одноклітинний організм.

Новітня концепція К. Воуза в разі моделювання вихідної самовідтворюваної системи наділяє її властивостями, що відбивають усі останні досягнення молекулярної біології й біохімії.

Цікава космічна (хімічна) **гіпотеза Г. В. Войткевича**, згідно з якою утворення органічної речовини відбувається в космічному просторі, яке заноситься на землю космічним пилом. Частинки космічного пилу складаються з ядра силікатного складу, оточеного оболонкою з органічних речовин. Спочатку навколо ядра формується ядерна оболонка. Під дією ультрафіолетового випромінювання розчинені у воді аміак і метан перетворюються в реакційно здатні радикали, які, взаємодіючи один з одним у різних комбінаціях, утворюють численні органічні сполуки. У разі руйнування цих сполук утворюються молекулярні хмари, розсіяні в космічному просторі. Численні органічні речовини знайдені в метеоритах (вуглеводні, вуглеводи, азотні основи, амінокислоти, хлорофіл тощо). Не виключено, що в космічних просторах могли утворитися нуклеотиди й молекули ДНК. Однак хімічна еволюція на переважній кількості планет Сонячної системи ніби заморожена, і лише на Землі виявилися умови для її реалізації.

Розігрів планети був, ймовірно, не настільки інтенсивним, щоби зруйнувалася вся органіка космічного походження. Її загальна маса була на два порядки вище, ніж загальна кількість сполук вуглецю в наш час. У цих умовах і з'явилася жива речовина, яка «концентрувалася» навколо абіогенно виниклих молекул ДНК. Біохімічна еволюція надалі призвела до появи і відокремлення окремих організмів.

В елементному складі космічної речовини переважають біофільні елементи: водень, кисень, вуглець, азот. У помітних кількостях містяться кремній, сірка, залізо, магній, алюміній, фосфор, кальцій,

калій. Можливо, саме ці біофільні елементи і з'єднання сприяли виникненню живої речовини на Землі. Особливо важливо відкриття постійної присутності в міжзоряному просторі різних молекул типу формальдегіду, ацетальдегіду й ін., які могли послужити основою для синтезу органічних полімерів, нуклеїнових кислот, полісахаридів і дати початок життю.

Основоположник сучасного вчення про біосферу **В. І. Вернадський** припускав, що виникнення життя й біосфери на Землі є неминучим наслідком еволюції космосу, й особливо в присутності найпростіших органічних речовин у Всесвіті. Невідомо, чи є ці молекули продуктами абіотичного синтезу або залишками загиблих біосфер інших планет, але присутність органічних сполук у Всесвіті, на думку В. І. Вернадського, є стійкою й обов'язковою особливістю космосу.

В історії Землі маловідомий стерильний період (2 — 2,5 млрд років) супроводжувався неодноразовим радіоактивним розігрівом, самоплавлінням планетної маси й оформленням сучасних структур Землі: ядра, представленого важкими металами, кам'яної силікатної оболонки — мантії, водної та газової оболонок. Базальт і граніти, що перекривають їх, різних генерацій є ніби фундаментом земної кори, закритими товщами наступних осадових порід. Радіоактивний розігрів мантії, тектонічні розриви, вулканізм неодноразово вели до змін базальтових лав, переплавлення осадових порід, виходу на поверхню парів і мас води, газів, розчинів. У складі газів довгий час переважав аміак, вуглекислота, сірководень, метан. Великі планетарні простори виявилися зайнятими водами первинного океану. Охолодження лав, рух водних і газових мас, фізико-хімічне вивітрювання й розчинення магматичних порід під впливом вуглекислоти, формування осадових порід, що складаються з вапняків, кварцитів, крем'яних відкладень, сланців, було початковим абіотичним періодом еволюції. В огляді розвитку життя Корже (1974) згадуються знахідки залишків бактерій, що жили 2,7 — 3,1 млрд років тому. Але розвиток і рясні форми життя й маси живої речовини склалися у Світовому океані значно пізніше — 1,0–1,5 млрд років тому, що стало початком формування біосфери.

Узагальнюючи вищевикладене, можна зазначити, що перший етап виникнення життя розглядається сучасною наукою як етап хімічної еволюції. В умовах високих температур, підвищеної вулканічної діяльності й сонячного випромінювання з метану, аміаку і водню утворилися прості органічні сполуки. У первинному океанічному «бульйоні» в результаті взаємодії ціановодно й альдегідів у присутності аміаку були синтезовані амінокислоти, одночасно відбувалося

утворення простих цукрів (араб, дезоксирибози). У водному середовищі утворилися основні компоненти нуклеїнових кислот: аденін і гуанін. Рибоза й дезоксирибоза в поєднанні з основами нуклеїнових кислот утворили нуклеотиди, які, так само, у поєднанні з фосфатами утворили нуклеотиди — найпростіші складові нуклеїнових кислот. І нарешті, етап полімеризації «малих» молекул у більш великі, що сприяло утворенню нуклеїнових амінокислот і білків.

2.3 Біохімічний кругообіг речовин у біосфері

Біохімічний кругообіг — це частина біологічного (біотичного) кругообігу, що включає обмінний цикл хімічних речовин, тісно пов'язаних із життям, головню вуглецю, води, азоту, фосфору, сірки й біогенних катіонів.

В основі життя знаходиться обмін речовиною між організмом і навколишнім середовищем. Підхід до пізнання екосистем полягає в дослідженні біогеохімічних циклів (кругообігів), різні фази яких протікають всередині різних екосистем. Будь-яка екосистема як складник біосфери є джерелом необхідних окремому організму матеріальних ресурсів і являє собою хімічне середовище проживання. Від відповідності хімічного складу біосфери вимогам живих організмів залежить життєдіяльність даних організмів. На рівні екосистем і біосфери загалом відбуваються безперервні фізико-хімічні процеси, що являють собою біогеохімічні цикли.

Усі речовини на нашій планеті перебувають у процесі біогеохімічного кругообігу.

Виділяють два основні кругообіги: великий (геологічний) і малий (біотичний). **Великий кругообіг** відбувається протягом сотень тисяч або мільйонів років. Він полягає в тому, що гірські породи підлягають руйнуванню, вивітрюванню, а продукти вивітрювання, зокрема розчинені у воді речовини, зносяться потоками води у Світовий океан. Тут вони утворюють опади, морські нашарування. Глобальні повільні геотектонічні зміни, опускання материків і підняття морського дна, переміщення морів та океанів протягом тривалого часу призводять до того, що накопичені на дні морів і океанів речовини знову повертаються на сушу.

Малий кругообіг, будучи частиною великого, полягає в тому, що поживні речовини ґрунту, вода, вуглець акумулюються в речовині рослин, витрачаються на побудову тканин рослин, входять до складу органічних речовин, забезпечують життєдіяльність самих рослин, а також організмів-консументів. Продукти розпаду речовини після загибелі рослин потрапляють у розпорядження ґрунтової мікрофлю-

ри й мезофауни (бактерій, грибів, хробаків, молюсків, найпростіших і ін.), тобто знову залучаються в потік речовини та енергії.

Кругообіг хімічних елементів (або речовин) з неорганічного середовища через рослинні і тваринні організми назад у неорганічне середовище з використанням сонячної енергії або енергії хімічних реакцій називається біогеохімічним циклом.

До головних циклів відносять біогеохімічні цикли вуглецю, води, азоту, фосфору, сірки, біогенних катіонів.

2.3.1 Кругообіг вуглецю

Біотичний кругообіг вуглецю є складником великого кругообігу й пов'язаний із життєдіяльністю організмів. Вуглекислота, або вуглекислий газ, що є в атмосфері або в розчиненому стані у воді, служать сировиною для фотосинтезу рослин і переробки вуглецю в органічну речовину живих істот, тобто в процесі фотосинтезу перетворюється в цукор, потім перетворюється в протеїни, ліпіди тощо. Ці речовини служать вуглеводним харчуванням тваринам, тобто надходять у розпорядження консументів різних рівнів, а далі — редуцентів.

У разі дихання організмів вуглекислий газ повертається в атмосферу. Певна частина вуглецю накопичується у вигляді мертвої органіки й переходить у стан копалин. Коли настає смерть, то сапрофаги й біоредуценти розкладають і мінералізують трупи, утворюючи ланцюги харчування, наприкінці яких вуглець нерідко надходить у кругообіг у формі вуглекислоти («грунтове дихання»). Тварини-сапрофаги й сапрофітні мікроорганізми, що мешкають у ґрунті, перетворюють накопичені в ньому залишки в нове утворення органічної матерії, більш-менш потужний шар — гумус.

Іноді через нестачу повітря або високу кислотність ланцюг буває неповним або коротким, тобто органічні залишки накопичуються у вигляді торфу, утворюючи торф'яні болота. У деяких болотах шар торфу досягає потужності 20 м і більше. Тут зупиняється природний (біологічний) кругообіг. Поклади кам'яного вугілля або торфу — продукт процесів фотосинтезу рослин минулих геологічних епох.

Сонячну енергію, акумульовану у викопному паливі, людина інтенсивно вивільняє в разі спалювання палива, а за такої умови вуглекислий газ знову надходить в атмосферу.

Основна маса вуглецю біосфери акумульована в карбонатних відкладеннях дна океану — вапняках і коралах, у кристалічних породах, у кам'яному вугіллі та нафті. Цей вуглець бере участь у повільному геологічному кругообігу. Життя на Землі й газовий баланс атмосфери підтримується кількістю вуглецю, що міститься в рослинних і тварин-

них тканинах. Однак у цей час людина інтенсивно замикає на собі кругообіг речовин, зокрема вуглецю. Так, підраховано, що сумарна біомаса всіх домашніх тварин уже перевищує біомасу всіх диких наземних тварин. Площі культурних рослин наближаються до площі природних біогеоценозів, і багато культурних рослин екосистем за своєю продуктивністю значно перевершують природні.

З іншого боку, надходження діоксиду вуглецю в атмосферу в результаті спалювання енергоносіїв веде до глобальних порушень у біосфері — порушення теплового балансу. За останнє сторіччя вміст вуглекислого газу збільшився на 10 %, причому основний приріст відбувся в останні десятиліття. В атмосфері затримується приблизно половина всього «антропогенного» вуглекислого газу, решта поглинається Світовим океаном.

На рисунку 2.2 наведена схема трансформації вуглецю в природних умовах.

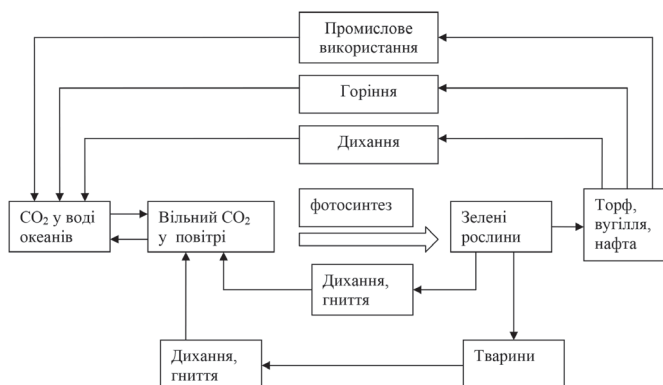


Рис. 2.2 — Трансформація і використання вуглекислого газу в природі

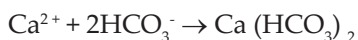
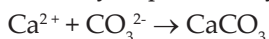
Істотний інтерес представляє й кількісна оцінка етапів трансформації вуглецю. За приблизними оцінками з вуглекислого газу атмосфери в процесі фотосинтезу рослинами щорічно видобувається приблизно 17 млрд тонн вуглецю. Дихання тварин і рослин, деструкція їх останків після загибелі постійно повертають атмосфері і водам океанів основну частину вуглецю у вигляді вуглекислого газу.

Якби не відбувалися побічні процеси, загальна кількість вуглекислого газу, що повертається подібним чином, мала би приблизно дорівнювати засвоєній за той же час рослинами. Однак завжди має місце певний вихід вуглецю з кругообігу через мінералізацію останків рослин і тварин. Тому кругообіг вуглецю не є цілком зворотним

процесом, і вже в його органічній частині намічається основна лінія вільного розвитку цього елемента — поступовий перехід його з атмосфери в гірські породи.

У тому ж напрямку, але набагато більш потужно діють і неорганічні реакції, що протікають між вуглекислим газом атмосфери й різними гірськими породами.

У разі вивітрювання гірських порід деякі метали, які містяться в них, під дією вуглекислого газу переходять у солі:



Ці солі потім вимиваються водою.

Загальна кількість вуглекислого газу, який зв'язується щорічно під час вивітрювання гірських порід, за орієнтовними підрахунками становить приблизно 2 млрд тонн вуглецю на рік. Ці величезні витрати вуглекислого газу не можуть компенсувати різні вільно протікаючі природні процеси, що ведуть до зворотного переводу вуглецю з гірських порід в атмосферу (виверження вулканів тощо).

Отже, й у своїй неорганічній частині кругообіг вуглецю є процесом, спрямованим на зменшення вмісту вуглекислого газу в атмосфері.

Розвиток виробничої діяльності людини мав великий вплив на напрям процесів, що протікають в разі вільного кругообігу вуглецю. Цей вплив багатогранний. Так, вирубка лісів, промислове вироблення корисних копалин, під час якого утворюється значна кількість мінерального пилу, оголюються свіжі шари гірських порід. Через спалювання кам'яного вугілля (приблизно 1,5 млрд тонн), нафти (3 млрд тонн), газу (1,5 - 20 млрд кубометрів) виділяється вуглекислий газ.

Можна з упевненістю вважати, що людство в цей час щорічно вводить у кругообіг не менше 3 млрд тонн вуглецю, що залягав до цього в гірських породах. Ця діяльність значно перекидає природне зменшення вуглекислого газу з кругообігу, що сприяє виникненню «парникового ефекту».

2.3.2 Кругообіг азоту

Кругообіг азоту в природі здійснюється швидко й безперешкодно. Повітря, що містить 78 % азоту, одночасно служить і величезним вмістилищем, і запобіжним клапаном системи. Воно безперервно й у різних формах живить кругообіг азоту.

Головна роль азоту полягає в тому, що він входить до складу життєво важливих структур організму — амінокислот білка, а також нуклеїнових кислот. У живих організмах міститься приблизно 3 % всього активного фонду азоту. Рослини споживають приблизно 1 % азоту. Час його кругообігу становить 100 років.

Від рослин-продуцентів азотовмісні сполуки переходять до консументів, від яких після відщеплення амінів від органічних сполук азот виділяється у вигляді аміаку або сечовини, а сечовина потім також перетворюється в аміак (внаслідок гідролізу).

Надалі в процесах окислення азоту аміаку (нітрифікації) утворюються нітрати, здатні асимілюватися корінням рослин. Частина нітритів і нітратів у процесі денітрифікації відновлюється до молекулярного азоту, що надходить в атмосферу. Усі ці хімічні перетворення можливі в результаті життєдіяльності ґрунтових мікроорганізмів. Ці дивовижні бактерії-фіксатори азоту здатні використовувати енергію свого дихання для прямого засвоєння атмосферного азоту й синтезування протеїдів. Таким шляхом у ґрунт щорічно вноситься приблизно 25 кг азоту на 1 га.

Але найефективніші азотфіксуючі бактерії живуть у симбіозі з бобовими рослинами в бульбах, що розвиваються на коренях рослин. Утворений (пов'язаний) азот постійно дифундує в ризосфері (частина ґрунту), коли бульби розпадаються. Азот надходить також у наземну частину рослин. Завдяки цьому бобові виключно багаті на протеїни й дуже поживні для травоядних. Їх річний запас, накопичений у культурах конюшини й люцерни, становить 150–140 кг/га.

Крім бобових азотфіксуючі бактерії живуть на інших листках рослин, а також на коренях вільхи. Отже, азот із різноманітних джерел надходить до коренів у вигляді нітратів, абсорбується корінням та трансформується в листя для синтезу протеїнів. Протеїни служать основою азотного харчування тварин, а також їжею деяких бактерій (паразитів). Організми, що розкладають органічну речовину після смерті, переводять азот з органічних сполук у мінеральні. Кожна група біоредукентів спеціалізується на якій-небудь одній ланці цього процесу. Ланцюг закінчується діяльністю аміноутворюючих організмів, що утворюють аміак, який далі входить у цикл нітрифікації, коли відповідні групи бактерій окислюють його до нітритів, а потім до нітратів.

З іншого боку, бактерії-денітрифікатори розкладають нітрати, звільняючи азот, який надходить в атмосферу. Схематично цикл кругообігу азоту наведено на рис. 2.3.

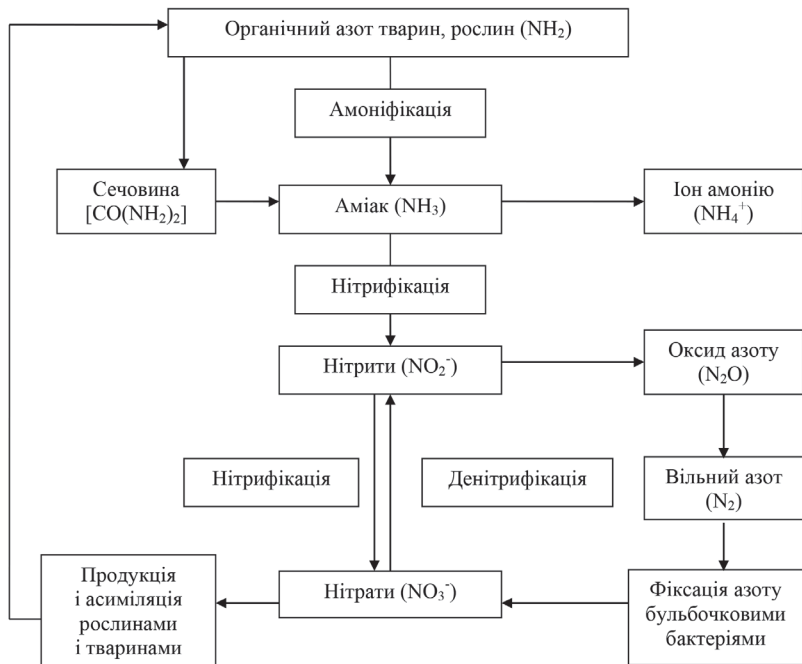


Рис. 2.3 — Кругообіг азоту в природі

Кругообіг азоту в цей час піддається сильному впливу з боку людини. З одного боку, масове виробництво азотних добрив і їх використання призводить до надмірного накопичення нітратів. Азот, що надходить на поля як добрива, втрачається через відчуження врожаю, вилуговування й денітрифікацію.

З іншого боку, в разі зниження швидкості перетворення аміаку в нітрати амонійні добрива накопичуються в ґрунті. Можливо також пригнічення діяльності мікроорганізмів у результаті забруднення ґрунту відходами виробництва. Велике негативне значення має надходження оксидів азоту в атмосферу під час спалювання палива на ТЕЦ і в процесі експлуатації транспортних засобів. У промислово-розвинених регіонах їх концентрація в повітрі стає дуже небезпечною. Під впливом випромінювання відбуваються хімічні реакції вуглеводнів з оксидами азоту з утворенням високотоксичних і канцерогенних сполук.

2.3.3 Кругообіг фосфору

Одним із найважливіших біогенних елементів є фосфор. Величезні запаси фосфору, накопичені за минулі геологічні епохи, містять гірські породи. У процесі руйнування ці породи віддають фосфати наземним екосистемам. Однак значні кількості фосфатів виявляються залученими в кругообіг води, коли відбувається їх вилугування водою і винос у моря й океани. Тут вони збагачують солоні води, живлять фітопланктон і пов'язані з ним харчові ланцюги. Потім разом із відмерлими залишками фосфати осідають на дно, частина втрачається в глибинних відкладеннях, частина повертається на сушу за допомогою морських птахів.

Рослини витягають із ґрунту фосфор у вигляді фосфорнокислих солей, наприклад, фосфорнокислого натрію, і переводять їх у складні фосфоровмісні білкові сполуки, які з рослинною їжею потрапляють в організм тварин і піддаються там подальшій переробці (рисуюнок 2.4).

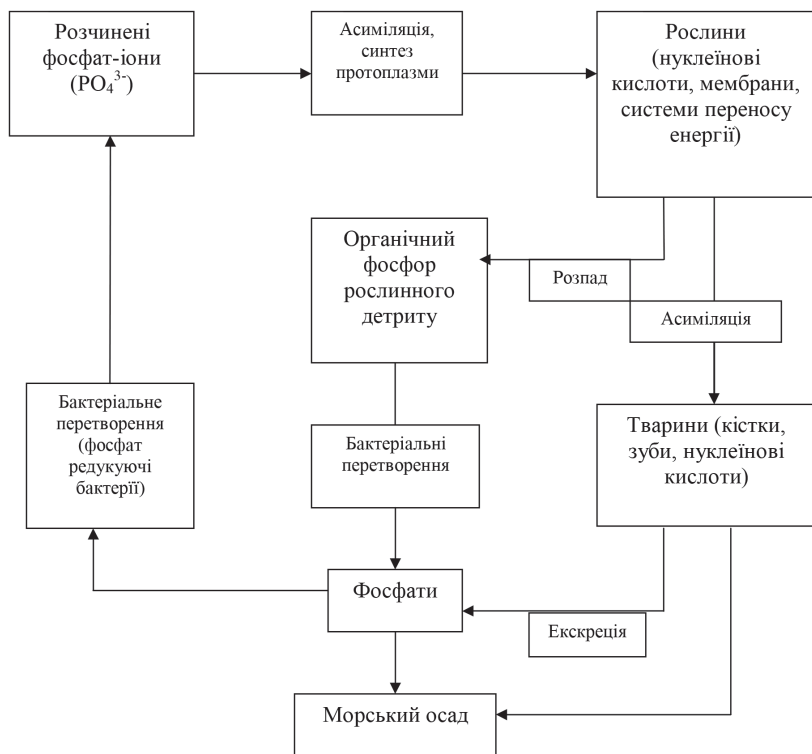


Рис. 2.4 — Схема кругообігу фосфору в природі

Після відмирання тварин і рослин їх рештки потрапляють назад у ґрунт, де фосфоровмісні сполуки поступово розпадаються з утворенням у кінцевому рахунку солей фосфорної кислоти. У результаті ґрунт отримує назад стільки ж фосфору, скільки було з нього вилучено. Оскільки фосфорнокислі солі міцно утримуються ґрунтом і майже не вимиваються водою, вміст фосфору на тій чи іншій ділянці земної поверхні в процесі вільного протікання природних процесів із плином часу змінюється незначно.

Істотну поправку в цей баланс вносить сільськогосподарська діяльність людини. Сільськогосподарські культури в процесі свого зростання витягують із ґрунту значну кількість фосфору. Так, з однією тонною пшениці з поля витягується 8,5 кг триокису фосфору. Оскільки природних джерел поповнення ґрунту сполуками фосфору майже не буває, поступово розвивається в ньому «фосфорний голод», який проявляється значно гостріше, ніж азотний. У зв'язку з цим, у сільськогосподарському виробництві необхідно постійно вносити в ґрунти фосфорні добрива.

2.3.4 Кругообіг біогенних речовин

Біогенні речовини - це хімічні речовини, що необхідні для життєдіяльності живих організмів і виникли в результаті розкладання залишків рослинних і тваринних організмів, але не повністю мінералізовані. Відомо, що основну масу тіла живих організмів становлять: азот, водень, вуглець, кисень, фосфор, сірка, калій, кальцій, магній, натрій. Масова частка кожного з цих елементів, наприклад, в організмі людини, може становити від декількох кілограм (фосфор, кальцій, вуглець і ін.) до декількох сот грамів (сірка, калій і ін.). У зв'язку з тим, що ці елементи входять до складу живих організмів у великих кількостях, їх називають макроелементами.

Однак для нормального функціонування живих організмів необхідні й багато інших хімічних елементів, наприклад, мідь, залізо, бор, марганець, кобальт, хлор, йод і багато інших. Ці хімічні елементи є каталізаторами різних біохімічних процесів в організмі тварин і рослин, і добова потреба в них становить від десятих часток міліграма до кількох міліграмів. У зв'язку з цим такі елементи отримали назву мікроелементів.

На суші головним джерелом біогенних елементів служить ґрунт, який отримує їх у процесі руйнування материнських порід. Катіони абсорбуються корінням, розподіляються різними органами рослин, накопичуються в листі, входять у корм рослиноїдних тварин із подальшим вступом до ланцюга харчування.

Мінералізація загиблих організмів повертає біогенні елементи в ґрунт, створюється враження, що цикл здатний тривати безперервно. Однак ґрунт вилуговується дощами, дощові води переносять біогени в підземні й поверхневі води.

2.4 Структура біосфери. Характеристика та хімічні властивості складників біосфери

2.4.1 Характеристика та хімічні властивості атмосфери

Під біосферою розуміється оболонка землі, населена живими організмами. Відповідно до теорії академіка В. І. Вернадського, верхня й нижня межі біосфери визначаються сферами земного середовища, що роблять можливим існування живих організмів. Верхньою межею біосфери служить шар озону в атмосфері, розташований у середньому на висоті 20 км від поверхні Землі. Нижня межа біосфери проходить на глибині 3–3,5 км нижче поверхні земної кори. За В. І. Вернадським, найбільш густі скупчення живої речовини — плівки життя. На суші це ґрунти, рослинний покрив, тваринний світ, у Світовому океані — планктонний поверхневий шар.

Атмосфера — газоподібна оболонка Землі, що складається із суміші різних газів, водяної пари й пилу. Її маса становить приблизно $5,9 \cdot 10^{15}$ тонн. Атмосфера має шарувату будову і складається з декількох сфер, між якими розташовуються перехідні шари — паузи. У сферах змінюється кількість повітря і його температура. Області мінімуму й максимуму температур — паузи, а проміжні області — сфери. Так, тропопауза відокремлює тропосферу від стратосфери; стратопауза — стратосферу від мезосфери тощо.

Тропосфера — нижній найбільш щільний шар атмосфери. Протяжність її за висотою в середніх широтах становить 10 - 12 км над рівнем моря, на полюсах 7–10 км, над екватором 16–18 км. У ній зосереджено чотири п'ятих усієї маси атмосфери. Температура в тропосфері по висоті зменшується на $0,6^\circ \text{C}$ на кожні 100 м і коливається від $+40^\circ \text{C}$ до -50°C .

Стратосфера — простягається до висоти 40 км. Тут міститься приблизно 19 % всієї маси атмосфери. Через малу щільність повітря і практично постійну температуру (від -45°C до -60°C) у стратосфері практично відсутнє перемішування газів. У стратопаузі температура починає підвищуватися й на висоті 50 км досягає 10°C .

Мезосфера — простягається на висоті приблизно 60–80 км. Відбувається зниження температури приблизно до -180°C .

Термосфера — простягається на висоті приблизно 90–150 км. У термосфері міститься 0,5 % маси атмосфери. Відбувається підвищення температури, і на висоті приблизно 150 км вона досягає 240 °С.

Екзосфера — температура продовжує підвищуватися й на висоті 500–600 км становить 1500 °С. Екзосфера далі переходить у міжпланетну середу.

Атмосфера являє собою надзвичайно складну систему. Її пронизує випромінювання Сонця й частки високої енергії, що випускаються ним, а також космічне випромінювання. Цей потік енергії виявляє помітний хімічний вплив на атмосферу. Крім того, під впливом земного тяжіння більш важкі атоми й молекули опускаються в нижню частину атмосфери, а у верхній її частині залишаються більш легкі. У результаті склад атмосфери виявляється непостійним.

Склад атмосфери поблизу рівня моря володіє такими характеристиками: приблизно 99 % всього складу припадає на частку двоатомних газів азоту й кисню, а все інше, за винятком вуглекислого газу, — на частку одноатомних газів (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

Склад повітря в приземному шарі

Компонент	Вміст, %
Азот N ₂	78,084
Кисень O ₂	20,948
Аргон Ar	0,934
Діоксид вуглецю CO ₂	0,033
Неон Ne	0,001818
Гелій He	0,000524
Метан CH ₄	0,0002
Криптон Kr	0,000114
Водень H ₂	0,00005
Оксид азоту (I) N ₂ O	0,00005
Ксенон Xe	0,0000087

Примітка. Озон O₃, діоксид сірки SO₂, оксид азоту NO₂, аміак NH₃, оксид вуглецю CO присутні в якості домішок, і їх вміст може змінюватися.

Хоча на верхні зони атмосфери припадає лише невелика частина її маси, ці верхні шари значною мірою визначають життя на поверхні Землі. Вони захищають нашу планету від потоку променів і граду частинок високих енергій. У результаті такого впливу молекули й атоми

піддаються хімічним перетворенням. Дифузний поділ (важчі внизу, легші нагорі) за тривалий період призвів до того, що на висоті 500 - 1000 км елемент гелій стає основним компонентом атмосфери. Гелієва корона Землі простягається приблизно до 1600 км, а вище 2000 - 3000 км переважає водень.

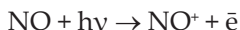
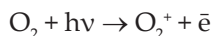
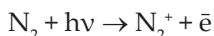
Фотохімічні реакції в атмосфері. Фотохімічними називаються всі реакції, у яких енергія, необхідна для їх протікання або порушення, вводиться в реакційне середовище у формі електромагнітних коливань — видимого світла, ультрафіолетових променів або, рідше, інфрачервоних променів.

Ще в 1817 році Ф. Х. Гроттус встановив, що хімічно активне лише те світло, яке поглинається реакційним середовищем. Фотохімічна дія світла полягає в тому, що атоми або молекули реагуючої речовини, поглинаючи кванти світла, збуджуються, тобто збільшується їх внутрішня енергія, і, залежно від кількості поглиненої енергії, вони піддаються дисоціації або іонізації.

Утворені в процесі іонізації молекулярні (NO^+) й атомарні (O^+) іони виникають на мільйонні частки секунди, володіють надзвичайною реакційною здатністю і в разі зіткнення з іншими частинками негайно з ними реагують. За такої умови можливі численні варіанти.

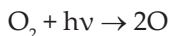
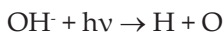
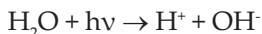
Розглянемо реакції, що відбуваються у верхніх шарах атмосфери, де основними її компонентами є кисень і азот. Під дією ультрафіолетового випромінювання можуть відбуватися реакції іонізації, дисоціації, переносу заряду, рекомбінації, обмінні реакції й реакції алотропічної видозміни.

Реакції іонізації:



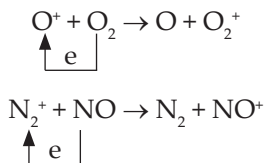
У процесі реакцій іонізації під час поглинання кванта УФ випромінювання відбувається лише іонізація молекули, а зв'язки між атомами молекули не рвуться.

Реакції дисоціації:



У процесі цих реакцій зв'язки між атомами молекули розриваються, й атоми, складові молекули, стають самостійними частинками.

Реакції переносу заряду:

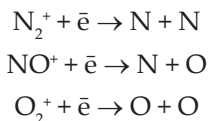


Коли молекулярний або атомарний іон стикається з будь-якою нейтральною частинкою, між ними може статися перенесення електрона. Такі реакції можливі, якщо енергія іонізації молекули, яка втрачає електрон, менше енергії іонізації молекули або атома, які отримують електрон.

$E(\text{NO}) = 890 \text{ кДж/моль}$, а $E(\text{N}_2) = 1495 \text{ кДж/моль}$

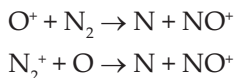
Реакція переносу заряду не супроводжується розривом хімічного зв'язку, здійснюється тільки перенесення електрона від однієї частинки до іншої.

Реакції рекомбінації:



Якщо молекулярний іон стикається з електроном, то найбільш імовірна рекомбінація іона з електроном, що супроводжується дисоціацією іона. Такі реакції називаються реакціями дисоціативної рекомбінації. Атомарний азот у верхніх шарах атмосфери утворюється виключно в результаті такої реакції.

Обмінні реакції:



Обмінні реакції протікають в атмосфері досить легко, й результатом цих реакцій, частіше за все, є утворення молекулярного іона окису азоту (NO^+). Оскільки енергія іонізації іона окису азоту (NO^+) одна з найбільш низьких з усіх частинок, що трапляються у верхніх шарах атмосфери, іони окису азоту практично не можуть нічим нейтралізуватися, тому цей іон є найчисленнішим у іоносфері.

Реакції асоціації (алотропічної видозміни):



Реакції алотропічної видозміни є реакціями, у результаті яких з одного й того ж хімічного елемента утворюється кілька простих речовин, здатних до тривалого існування. Подібно до звичайного кисню озон є простою речовиною.

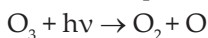
Якщо хімічний елемент здатний функціонувати в декількох різних формах, то їх називають алотропічними видозмінами даного елемента. Крім озону й кисню, алотропічними видозмінами, наприклад, вуглецю, є вуглець, графіт, алмаз.

У мезосфері і стратосфері (це висоти приблизно від 50 до 150 км) концентрація молекулярного кисню перевищує концентрацію атомарного, тому атоми кисню часто стикаються з молекулами кисню, що призводить до утворення озону.

Ця реакція оборотна, і якщо молекула озону не віддасть частину своєї енергії шляхом зіткнення з іншою молекулою, наприклад, азоту або кисню, то молекула озону розпадеться. Молекули озону під впливом сили гравітації постійно опускаються в стратосферу, де молекул азоту й кисню істотно більше і, природно, у молекул озону набагато більше шансів «вижити».

Усі ці хімічні процеси, в основному, здійснюються в термосфері, і оскільки в результаті цих процесів утворюються іони, термосферу ще називають іоносферою. Молекули азоту, кисню, окису азоту й атоми кисню взаємодіють із найбільш жорсткою частиною ультрафіолетового випромінювання в діапазоні 80–135 нм і поглинають його. Отже, в іоносфері фільтрується найбільш згубна для всього живого короткохвильова частина ультрафіолетового випромінювання.

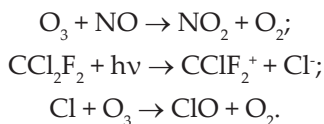
У стратосфері озоновий шар, що утворився з молекул озону, що опустилися з термосфери, практично повністю поглинає довгохвильову частину ультрафіолетового випромінювання:



Озоновий шар не є чимось постійним. Якась його частина постійно руйнується, і, водночас, він поповнюється завдяки осіданню нових молекул озону з верхніх шарів атмосфери, тобто він є в динамічній рівновазі.

Низка хімічних процесів, що відбуваються в атмосфері, істотно зрушують цю рівновагу в бік зменшення озону.

Встановлено, що окис азоту (NO) і фреони активно руйнують озон:



Ці реакції ми розглядаємо тому, що в результаті антропогенної діяльності в атмосфері викидається величезна кількість окису азоту і фреонів. Наприклад, надзвукові літаки викидають в атмосферу до 1 мільйона тонн окису азоту в рік (18 г на 1 кг палива); спалювання па-

лива автомобілями та іншими двигунами внутрішнього згоряння — до 3 мільйонів тонн окису азоту в рік.

Проблема виснаження озонового шару виникла з часу відкриття британцями в 1985 році озонової діри (істотного зменшення кількості озону) над Антарктикою, а пізніше над Арктикою. Основною небезпекою скорочення рівня озону в озоновому шарі слід вважати зміну температурного режиму планети і збільшення інтенсивності жорсткого ультрафіолетового випромінювання (УФ-Б), яке згубно діє на живі організми. Було встановлено, що однією з головних причин руйнування озонового шару є хімічні речовини, що викидаються в атмосферне повітря в результаті антропогенної діяльності. Найбільш небезпечними речовинами є хлорфторвуглеці (ХФВ), які, будучи стійкими в тропосфері, руйнуються в стратосфері під дією ультрафіолетового випромінювання з утворенням вільного радикала хлору, який, вступаючи в реакцію з молекулою озону, руйнує її. Найбільш загрозливим є те, що озонову діру виявили в «мертвій зоні», де озон міг тільки зберігатися й накопичуватися, але ніяк не зменшуватися. Спостереження й дослідження цього явища дозволили встановити, що це стало наслідком накопичення в атмосфері озоноруйнівних речовин і метеорологічних умов, характерних для Антарктики в цей період.

Виснаження озонового шару може призвести до негативних наслідків на всій планеті. Прикладом ситуації небезпеки служить експеримент, проведений у США на одному з островів Карибського басейну. Експеримент полягав у розпиленні над озоновим шаром речовини, яка повністю зв'язує озон. У результаті за кілька годин впливу УФ-Б усе живе на острові було знищено. Виняток склали кілька черепах, яких оберігав панцир.

У вересні 1985 року в рамках ЮНЕП була прийнята **Віденська конвенція про охорону озонового шару**, яка вступила в чинність 22 вересня 1988 року. Її метою є захист здоров'я людей і навколишнього середовища від несприятливого впливу зміни стану озонового шару. Положеннями конвенції передбачалися дослідження, обмін інформацією та співробітництво зацікавлених сторін. Вказано також перелік речовин, що впливають на стан озонового шару.

Продовженням роботи над збереженням і стеженням за станом озонового шару Землі став **Монреальський протокол** 1987 року, який був прийнятий у вересні 1987 року. Метою протоколу є забезпечення охорони озонового шару шляхом прийняття превентивних заходів із належного регулювання всіх глобальних викидів речовин, що руйнують озоновий шар, щоб домогтися в підсумку їх усунення.

Основою для реалізації заходів згідно з протоколом є зменшення, а в багатьох випадках і припинення виробництва і споживання озоноруйнівних речовин (в основному до них належать різні види фреонів) шляхом заміни їх на інші речовини, які не впливають на стан озонowego шару. У протоколі вказано список основних вироблених у світі класів і видів озоноруйнівних речовин із розрахунковими коефіцієнтами озоноруйнвності здатності, вказані терміни зменшення і припинення їх виробництва та/або споживання.

2.4.2 Характеристика та хімічні властивості гідросфери

Гідросферою називають переривчасту водну оболонку Землі, що розташована між атмосферою й землею корою і являє собою сукупність океанів, морів та водних об'єктів суші (річки, озера, водосховища, болота, підземні води), включно скупчення води у твердій фазі (сніговий покрив, льодовики). Океан займає 71 % поверхні Землі, його середня глибина 4 км, маса води $1,5 \cdot 10^{18}$ т. Запаси води в гідросфері становлять майже 1,5 млрд км³, водночас прісні води дуже малі і складають лише приблизно 3 % загального обсягу вод суші. Крім того, значна частина прісної води практично не використовується через свою недоступність — води льодовиків і основної частини підземних вод. У цей час обсяг придатних для використання прісних вод становить 0,3 % від загального запасу (приблизно 4 млн км³).

Вода в атмосфері — це, переважно, водяна пара і її конденсат (крапельки води і крижані кристали).

Біологічна вода — це вода, що міститься в живих організмах і рослинах, у яких у середньому її є 80 %. Загальна маса живої речовини біосфери приблизно 1400 млрд тонн, відповідно маса біологічної води становить 1120 млрд тонн, або 1120 км³.

Вода — це єдина речовина на Землі, яка є в природі у всіх трьох агрегатних станах: рідкому, твердому й газоподібному. Під дією сонячного тепла вода випаровується з природних водойм і водотоків — океанів, морів, річок, а також ґрунту. Водяна пара, будучи легше повітря, піднімається у верхні шари атмосфери й конденсується в дрібні крапельки, утворюючи хмари. З хмар вода повертається на земну поверхню у вигляді атмосферних опадів — дощів і снігу. З опадами вода надходить безпосередньо у водні об'єкти, а також збирається у верхніх шарах ґрунту, утворюючи поверхневі і ґрунтові води, які, стикаючись із мінеральними й органічними речовинами, частково розчиняють їх, формуючи хімічний склад природних вод.

«Парниковий ефект», що призводить до порушення теплового балансу Землі, здатний підвищити температуру земної поверхні. Будь-яка людська діяльність, яка сприяє парниковому ефекту й тому, що відбувається зміна клімату, мабуть, впливає й на глобальний кругообіг води. Передбачуване підвищення рівня моря не тільки створює проблему захисту прибережних районів від затоплення, але може призвести до забруднення водних ресурсів (у разі затоплення хімічних виробництв, складів отруйних речовин, звалищ токсичних відходів тощо), а також збільшення частки солоної води щодо прісної води. У результаті потепління клімату і збільшення випарів опади можуть зрости на 15 %. У разі підвищення температури на 2–4°C у глобальному масштабі можливо танення льоду й підвищення рівня Світового океану приблизно на 20 м із подальшими непередбачуваними екологічними наслідками.

Вода відіграє величезну роль у живих організмах. Обмін речовин без неї неможливий: майже всі хімічні, фізіологічні та колоїдні процеси в організмі (асиміляція, дисиміляція, дифузія, ресорбція, осмос та ін.) протікають у водних розчинах або з обов'язковою участю води.

Виняткові властивості води в загальній біологічній системі Землі пов'язані з її фізичними й хімічними властивостями. Вода (H_2O) — найпростіша стійка хімічна сполука водню з киснем. У звичайних умовах це рідина без запаху, смаку й кольору. За шкалою Цельсія температура плавлення води прийнята за 0°C, а температура кипіння — за 100°C. Температура кипіння води є аномальною й водночас найбільш важливою, оскільки саме тому стала можливою на Землі вода в рідкій фазі. З іншого боку, існування води в чистому вигляді зумовлено і високою температурою замерзання, що забезпечує вимерзання домішок. Висока теплоємність води сприяла тому, що Світовий океан став регулятором клімату, перерозподіляючи тепло на поверхні Землі. Найбільшу щільність вода має в умовах 4°C (1г/см^3), в умовах 0°C щільність льоду $916,8\text{ кг/м}^3$, а щільність води — $999,968\text{ кг/м}^3$. Така залежність щільності води від температури дозволяє зберегтися в холодні періоди всій водній біосфері. В температурних умовах до 4°C щільність льоду стає менше щільності води й лід спливає. За подальшим охолодженням відбувається перемішування більш щільної холодної води й менш щільної теплої доти, доки вся вода не досягне 4°C. Поверхневий шар стає легше глибинних шарів, і перемішування води припиняється, що призводить до утворення на поверхні води льоду, який служить тепловим бар'єром, що захищає гідросферу від переохолодження.

Вода має здатність розчиняти дуже багато речовини, має високу діелектричну постійну, здатна до мимовільної електролітичної дисоціації з утворенням іонів.

Ці властивості води дозволяють із будь-якої природної системи отримати водний розчин електроліту, у якому можливий перебіг багатьох процесів, неможливих у безводному середовищі. Багато речовин вступають із водою в реакцію обмінного розкладання, звану гідролізом. Зміна фізичних властивостей водних розчинів майже лінійно залежить від концентрації розчинених у ній солей.

З ростом населення Землі і збільшенням випуску промислової та сільськогосподарської продукції споживання води зростає. За оцінками Інституту світових ресурсів, приблизно 9000 км³ прісної води є доступними для людської діяльності. Цей запас води достатній, щоби забезпечити 20 млрд людей у рік. За оцінками фахівців, безповоротне водоспоживання становить 150 км³ в рік (приблизно 1 % стійкого стоку прісних вод). У середньому міське водоспоживання оцінюється в 450 л / добу на одну людину. З них 50 % йде на господарсько-питні, 20 % на комунально-побутові та 30 % на виробничі потреби.

Головним споживачем води є сільське господарство, на частку якого припадає приблизно 70 % всіх запасів прісної води. Велика потреба у воді і промисловості, де вона використовується для приготування й очищення розчинів, охолодження й нагрівання, транспортування сировини, теплоенергетичних цілей, видалення відходів, миття обладнання, тари, приміщень тощо. Середній хімічний комбінат щодоби витрачає 1 -2 млн м³ води, теплоелектростанція — 300 км³ в рік.

Якість води — це поєднання хімічного й біологічного складу і фізичних властивостей води, що визначає її придатність для конкретних видів водокористування, залежно від призначення води й особливостей технологічного процесу.

Є кілька різних класифікацій вод. Залежно від водокористування води можуть бути питні, річкові, озерні, артезіанські, морські, стічні, змішані й мули. **Питна вода** — це вода, у якій бактеріологічні, органічнопептичні показники й показники токсичних хімічних речовин перебувають у межах норм питного водопостачання.

Склад річкових і озерних вод залежить від низки особливостей, до яких належить швидкість течії, геологічні особливості місцевості, кліматичні й погодні умови, інтенсивність впливу на іонний і газовий склад біологічних процесів і господарської діяльності людини. Склад артезіанських вод залежить від зональності — від прісних гідрокарбонатних у верхній частині до високомінералізованих хлоридних у глибоких частинах водного басейну. Під змішаними водами маються на увазі дощова, колодязна, кип'ячена вода і вода з гирла річок (соло-

нувата). Інша класифікація поділяє всі води на морські, поверхневі, підземні й опади.

Класифікації природних вод за хімічним складом ґрунтуються на різноманітних ознаках: мінералізації, концентрації переважаючого компонента або їх груп, співвідношенні між концентраціями різних іонів, наявності підвищених концентрацій будь-яких специфічних компонентів газового або мінерального складу. Відомі спроби класифікувати природні води відповідно до загальних умов, у яких формується їх хімічний склад, а також за гідрохімічним режимом водних об'єктів.

Для поверхневих вод найбільш часто застосовується класифікація О. А. Алекіна, що поєднує принцип поділу хімічного складу води за переважаючими іонами з розподілом за кількісним співвідношенням між ними. Відповідно до цієї класифікації природні води поділяються на три класи за переважними аніонами:

- гідрокарбонатні й карбонатні (здебільшого мало мінералізованих вод річок, озер, водосховищ та деякі підземні води);
- сульфатні води (проміжні між гідрокарбонатними і хлоридними водами, які генетично пов'язані з різними осадовими породами);
- хлоридні води (високомінералізовані води океанів, морів, соляних озер, підземні води тощо).

Кожен клас за переважними катіонами поділяється на три групи: кальцієву, магнієву й натрієву. Кожна група, так само, поділяється на чотири типи вод, що визначаються співвідношенням між вмістом іонів у процентах у перерахунку на кількість речовини еквівалента.

Виділяють також кілька класифікацій природних вод за мінералізацією. О. А. Алекін запропонував таку класифікацію природних вод за мінералізацією:

- розсоли (солоність > 50 ‰);
- морські води (солоність 25 — 30 ‰);
- солонуваті води (солоність 1 — 25 ‰);
- прісні води (солоність до 1 ‰).

2.4.3 Характеристика та хімічні властивості літосфери

Літосфера — верхня тверда оболонка Землі, що поступово переходить у сфери з меншою щільністю речовини. Включає земну кору і верхню мантію Землі. Потужність літосфери 50 - 200 км, зокрема земної кори — до 50 -75 км на континентах і 5 - 10 км на дні океану. Верхні шари літосфери (до 2-3 км, за деякими даними — до 8,5 км) відносять до літобіосфери.

Хімічний склад земної кори представлений у табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Хімічний склад земної кори на глибинах 10 - 20 км

Елемент	Масова частка, %
Кисень	49,13
Магній	2,35
Залізо	4,20
Вуглець	0,35
Калій	2,35
Алюміній	26,00
Титан	0,61
Натрій	2,40
Кремній	26,00
Водень	1,00
Кальцій	3,25
Хлор	0,20

Природні хімічні сполуки елементів земної кори називаються мінералами. З них складаються численні типи гірських порід. Основними групами гірських порід є магматичні, осадові й метаморфічні.

Людина практично не впливає на літосферу, хоча верхні горизонти земної кори піддаються сильній трансформації в результаті експлуатації родовищ корисних копалин.

Грунт — це природно-історичне органо-мінеральне тіло, яке утворилося на поверхні Земної кори і є осередком найбільшої концентрації поживних речовин, основою життя й розвитку людського суспільства. Ґрунти є гігантською екологічною системою, яка надає, поряд зі Світовим океаном, вирішальний вплив на всю біосферу. Вона бере активну участь у кругообігу речовин і енергії в природі, підтримує газовий склад атмосфери Землі. За допомогою ґрунту здійснюються екологічні зв'язки живих організмів із літосферою, гідросферою й атмосферою.

Засновником наукового ґрунтознавства є видатний російський вчений В. В. Докучаєв (1846 - 1903), який розкрив сутність ґрунтоутворюючого процесу. До чинників ґрунтоутворення належать материнські (ґрунтоутворювальні) породи, рослинні і тваринні організми, клімат, рельєф, час, вода (ґрунтова й підземна) і господарська діяльність людини. Розвиток ґрунту нерозривно пов'язаний із материнською породою (граніт, вапняк, пісок, лесовидні суглинки й ін.). Утворення

пухкої ґрунтової маси пов'язано як із процесами хімічного вивітрювання, так і з біологічними утвореннями специфічних органічних речовин (гумусу або перегною) під впливом рослин.

До складу ґрунту входять чотири важливі структурні компоненти: мінеральна основа (зазвичай 50 — 60 % загального складу ґрунту), органічна речовина (до 10 %), повітря (15 — 25 %) і вода (25 — 35 %). Структура ґрунту визначається відносним вмістом у ній піску, мулу та глини. Хімізм ґрунтів частково визначається мінеральним скелетом, частково — органічною речовиною. Велика частина мінеральних компонентів представлена в ґрунті кристалічними структурами. Переважними ґрунтовими мінералами є силікати.

Велику роль в утриманні води й поживних речовин відіграє особливо численна і важлива група глинистих мінералів, переважна кількість із яких утворюють у воді колоїдну суспензію. Кожен кристал глинистого мінералу містить шари силікату, об'єднані із шарами гідроксиду алюмінію, що володіють постійним негативним зарядом, який нейтралізується катіонами, адсорбованими з ґрунтового розчину. Завдяки цьому катіони не вилуговуються з ґрунту й можуть обмінюватися на інші катіони з ґрунтового розчину й рослинних тканин. Ця катіонообмінна здатність служить одним із важливих індикаторів родючості ґрунту.

Органічна речовина ґрунту утворюється під час розкладання мертвих організмів, їх частин, екскретів і фекалій. Кінцевим продуктом розкладання є гумус, що трапляється в колоїдному стані, подібно глині, і який володіє великою поверхнею частинок із високою катіонообмінною здатністю. Одночасно з утворенням гумусу життєво важливі елементи переходять з органічних сполук у неорганічні, наприклад, азот в іони амонію, фосфор в ортофосфат-іони, сірка в сульфат-іони. Цей процес називається мінералізацією. Вуглець вивільняється у вигляді CO_2 в процесі дихання.

Ґрунтове повітря, так само як ґрунтова вода, трапляється в порах між частками ґрунту. Між ґрунтом і атмосферою відбувається вільний газообмін, і в результаті цього повітря обох середовищ має подібний склад, але в повітрі ґрунту через дихання організмів, що його населяють, дещо менше кисню й більше двоокису вуглецю.

Ґрунтові частинки утримують навколо себе певну кількість води, яка поділяється на три типи:

- гравітаційна вода, здатна вільно просочуватися вниз крізь ґрунти, що веде до вилуговування, тобто вимивання з ґрунту різних мінеральних речовин;
- гігроскопічна вода, що адсорбує навколо окремих колоїдних частинок, використовуючи водневі зв'язки, і є найменш доступною для коренів рослин. Найбільший вміст її в глинистих ґрунтах;

- капілярна вода, утримувана навколо ґрунтових частинок силами поверхневого натягу і здатна підніматися на вузьких порах і каналцях від рівня ґрунтових вод, є основним джерелом води для рослин (на відміну від гігроскопічної вона легко випаровується).

Ґрунти за зовнішніми ознаками різко відрізняються від гірських порід унаслідок фізико-хімічних процесів, що протікають у них. Вони включають такі показники, як колір (чорноземи, буроземи, сірі лісові, каштанові й ін.), структура (зерниста, грудкувата, стовбурова та ін.), новоутворення (в степах — карбонати кальцію, у напівпустелях — скупчення гіпсу). Товщина ґрунтового шару в помірних районах на рівнинах не перевищує 1,5–2,0 м, у гірських — менше метра.

Основним показником якості ґрунту є її родючість. *Родючість* — це здатність ґрунту задовольняти вимоги рослин в елементах живлення — воді, повітрі та теплі в достатніх для їх нормального розвитку кількостях. Хімічне забруднення ґрунтів призводить до деградації ґрунтово-рослинного покриву і зниження ґрунтової родючості.

Ґрунтовий розчин — це розчин хімічних речовин у воді, що функціонує в рівновазі з твердою й газоподібною фазами ґрунту й заповнює її поровий простір. Його можна розглядати як однорідну рідку фазу, що має змінний склад. Склад ґрунтового розчину залежить від його взаємодії з твердими фазами в результаті процесів осадження-розчинення, сорбції-десорбції, іонного обміну, комплексоутворення, розчинення газів ґрунтового повітря, розкладання тваринних і рослинних залишків.

Кількісними характеристиками складу та властивостей ґрунтового розчину є іонна сила, мінералізація, електропровідність, окислювально-відновний потенціал, титрувальна кислотність (лужність), активність і концентрація іонів, рН. Хімічні елементи можуть перебувати в складі ґрунтового розчину у формі вільних іонів, аквакомплексів, комплексів з органічними й неорганічними лігандами, у вигляді іонних пар і інших асоціатів. Ґрунтові розчини різних типів ґрунтів мають карбонатний, гідрокарбонатний, сульфатно або хлоридно аніонний склад із переважанням серед катіонів кальцію, магнію, калію, натрію. Залежно від ступеня мінералізації, який визначають як суму сухих солей після випарювання ґрунтового розчину (в мг/л), ґрунти класифікують на прісні, солонуваті й солоні.

Важливою характеристикою ґрунтового розчину є актуальна кислотність, яка характеризується двома показниками: активністю іонів водню (ступінь кислотності) і вмістом кислотних компонентів (кількість кислотності). На величину рН ґрунтового розчину впливають вільні органічні кислоти: винна, мурашина, масляна, корична, оцтова, фульвокислоти та інші. З мінеральних кислот велике значення має

вугільна кислота, на кількість якої впливає розчинення в ґрунтовому розчині вуглекислого газу.

Надлишкова кислотність токсична для багатьох рослин. Зменшення рН ґрунтового розчину викликає збільшення рухливості іонів алюмінію, марганцю, заліза, міді й цинку, що зумовлює зниження активності ферментів, погіршення властивостей протоплазми рослин і веде до пошкодження кореневої системи рослин.

Іонообмінні властивості ґрунту пов'язані з процесом еквівалентного обміну катіонів та аніонів і взаємодіють з твердими фазами ґрунтового розчину. Основна частина обмінних аніонів міститься в ґрунтах на поверхні гідроксидів заліза й алюмінію, які в умовах кислої реакції мають позитивний заряд. Поглинання аніонів ґрунтами в несприятливих умовах може призводити до накопичення низки токсичних речовин. Обмінні катіони містяться на поверхні глинистих мінералів і органічних речовин, їх склад залежить від типу ґрунтів. У всіх ґрунтах серед обмінних катіонів завжди є невелика кількість іонів калію. Деякі важкі метали (цинк, свинець, кадмій і ін.) можуть бути присутніми в ґрунтах як обмінні катіони.

Наступний етап — полімеризація «малих» молекул у більш великі, тобто утворення власне нуклеїнових амінокислот і білків.

Вилуговування — автокаталітичний процес: чим більше він прогресує, тим більше деградують ґрунтові колоїди. Ситуація стає особливо важкою в тропічних місцевостях: зливові дощі, низька абсорбційна здатність ґрунтового комплексу (мала кількість гумусу), виснаження ґрунтів монокультурами цукрової тростини, кави, какао, кукурудзи, арахісу.

Коли вирубуються або випаляються ліси під сільське господарство, то мінералізований таким шляхом запас біогенних речовин швидко вилуговується дощами і ґрунт втрачає свою родючість. Якщо на ньому тимчасово припинити посіви, то він знову може дати життя лісу, але вже вторинному, з менш ціною біомасою, ніж у початкового угруповання. Після повторення подібних операцій ґрунт буде покриватися менш бідною рослинністю зі зменшенням продукції біомаси. Спочатку утворюється савана, потім степ, нарешті пустеля. У помірних широтах наслідки вилуговування не такі різкі, але все-таки в результаті вирубок (суцільних під корінь), в разі корчування пнів і зняття дерну руйнується гумус — ресурс поживних речовин.

Виснаження ґрунту можливе не тільки внаслідок зняття рослинного покриву, а й через сільськогосподарські культури. Є такі культури, як буряк, картопля, олійні культури, що забирають щорічно від 300 до 700 кг мінеральних речовин з 1 га.

Діяльність людського суспільства в цей час радикально трансформує хімію біосфери. Антропогенний вплив на біогеохімічні цикли

проявився не тільки на локальному екосистемному, але й на біосферному, а також планетарному й навколоземному космічному рівні.

Природні ресурси — природні об'єкти і явища, які використовуються в минулому, сьогоденні й майбутньому для прямого й непрямого споживання, сприяють створенню матеріальних багатств, підтриманню умов існування людства й поліпшують якість життя.

До природних ресурсів належать: сонячна енергія, вода, повітря, ґрунти, рослини, тварини, корисні копалини і все інше, що не створено людиною, але без чого вона не може існувати ні як жива істота, ні як виробник.

Природні ресурси класифікують у відповідності з такими ознаками:

- за їх використанням — на виробничі (сільськогосподарські і промислові), з охорони здоров'я (рекреаційні), естетичні, наукові та ін.;
- за належністю до тих чи інших компонентів природи — на земельні, водні, мінеральні, тваринного або рослинного світу та ін.;
- за замінністю — на замінні (наприклад, паливно-мінеральні енергетичні ресурси можна замінити вітровою, сонячною енергією) і незамінні (кисень повітря, прісна вода);
- за вичерпністю — на вичерпні й невичерпні.

Невичерпні ресурси — кількісно невичерпна частина природних ресурсів (сонячна енергія, морські припливи, проточна вода, атмосфера, хоча за значних забруднень вона може переходити в категорію вичерпних).

Вичерпні — ресурси, кількість яких невинно зменшується в міру їх видобутку або вилучення з природного середовища. Вони, зі свого боку, діляться на відновлювані (рослинність, тваринний світ, вода, повітря, ґрунти) і невідновлювальні (мінеральні). Вони можуть бути виснажені як тому, що не заповнюються в результаті природних процесів (мідь, залізо, алюміній та ін.), так і тому, що їх запаси поповнюються повільніше, ніж відбувається їх споживання (нафта, вугілля, горючі сланці). Тому в майбутньому людству потрібен пошук засобів і методів більш ефективного використання невідновних ресурсів, зокрема методів переробки вторинної сировини. У цей час використовуються майже всі елементи періодичної системи Д. І. Менделєєва.

Якщо здійснюється вирубка і вивезення з лісу очищених дерев, то збіднення не настільки сильне, оскільки із корою виноситься багато кальцію.

Людина інтенсивно трансформує процеси кругообігу всіх хімічних елементів не тільки на локальному, а й біосферному рівні. Людство — це частина біосфери (з його виробництвом).

КОНТРОЛЬ-КОЛОКВІУМ до розділу 2

1. Розкрийте концепцію А. І. Опаріна і його послідовників.
2. Розкрийте космічну гіпотезу Г. В. Войткевича.
3. Розкрийте припущення В. І. Вернадського.
4. Наведіть основні риси етапу хімічної еволюції.
5. Дайте визначення поняття «біосфера». Назвіть вченого, який запропонував цей термін.
6. Коротко схарактеризуйте аеробіосферу, гідробіосферу й геобіосферу.
7. Яку оболонку Землі називають атмосферою?
8. Наведіть будову атмосфери. Коротко схарактеризуйте кожний складник.
9. Які реакції називають фотохімічними? Які реакції відбуваються під дією ультрафіолетового випромінювання?
10. Яку оболонку Землі називають гідросферою.
11. Як співвідносяться запаси солоної і прісної води в гідросфері?
12. Назвіть основні хімічні та фізичні властивості води.
13. Дайте визначення поняттю «якість води».
14. Яку оболонку Землі називають літосферою?
15. Дайте визначення поняттю «природні ресурси».
16. Дайте характеристику невичерпним і вичерпним природним ресурсам.
17. Назвіть основні хімічні та фізичні властивості, що характеризують родючість ґрунтів.
18. Схарактеризуйте великий біохімічний кругообіг.
19. Схарактеризуйте малий біохімічний кругообіг.
20. Що називають біогеохімічним циклом?
21. Назвіть головні біогеохімічні цикли.
22. Схарактеризуйте кругообіг вуглецю.
23. Чи є кругообіг вуглецю зворотним процесом?
24. Який вплив антропогенної діяльності на кругообіг вуглецю?
25. Наведіть основні параметри кругообігу азоту.
26. Розкажіть про бульбочкові бактерії та інші подібні організми.
27. Схарактеризуйте вплив людської діяльності на кругообіг азоту.
28. Роль фосфатів, залучених у кругообіг води.
29. Кругообіг фосфору на суші.
30. Схарактеризуйте вплив сільськогосподарської діяльності на кругообіг фосфору.
31. Схарактеризуйте процес кругообігу біогенних речовин.
32. Який процес називають видутюванням? Які його наслідки?
33. Які процеси розуміють під ресурсним циклом? Він замкнутий?
34. Схарактеризуйте втрати ресурсів у процесі видобутку.

ТЕСТОВИЙ КОНТРОЛЬ

до розділу 2

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Каразінський навчально-науковий інститут екології
(128 балів)

Хімічна екологія

Прізвище, ім'я, по батькові _____
№ зал. книжки _____ Дата контролю _____ Тривалість контролю _____

Частина I (43 бали)

Творчо-алгоритмічний рівень пізнання

Умови виконання завдання. Дайте коротку відповідь.

1. Біохімічний цикл — _____ (7 б.)
2. Сукупність яких процесів розуміють під ресурсним? _____ (10 б.)
3. Які речовини називають токсикантами? _____ (7 б.)
4. Поясніть основні наслідки в разі потрапляння сполук металів у живу клітину. _____ (4 б.)
5. Які речовини називають діоксинами? Наведіть приклади. _____ (5 б.)
6. Назвіть основні джерела діоксинів. _____ (10 б.)

Частина II (6 балів)

Алгоритмічний рівень пізнання

Умови виконання завдання. Визначте правильно наведене твердження.

- | | | |
|---|-----|----|
| 1. У процесі дихання організмів CO_2 повертається до атмосфери | Так | Ні |
| 2. Бульбочкові бактерії живуть у симбіозі з бобовими рослинами в бульбах, що розвиваються на коренях рослин | Так | Ні |
| 3. Оскільки в природі летючих сполук фосфору немає, відсутній вільний перерозподіл його в екосистемах | Так | Ні |
| 4. На суші головним джерелом біогенних елементів служить ґрунт | Так | Ні |
| 5. Активність металів як отрут значною мірою залежить від форми, у якій вони потрапляють в організм | Так | Ні |
| 6. Для ссавців хлорорганічні пестициди небезпечні тим, що впливають на репродуктивні функції | Так | Ні |

Частина III (14 балів)

Репродуктивний рівень пізнання

Умови виконання завдання. Проаналізуйте варіанти відповідей і визначте правильні.

1. До головних біогеохімічних циклів належать:
а) вуглець; б) сірка; в) срібло.
2. Значна частка видобутого викопного втрачається в разі:
а) транспортування; б) перевантаження; в) переробки.
3. У людини ртуть накопичується в:
а) печінці; б) кістках; в) волоссі.
4. Субклінічне отруєння свинцем проявляється такими симптомами:
а) безсоння; б) підвищена активність; в) гіпертонічний криз.
5. Ранніми симптомами отруєння кадмієм є:
а) ураження нирок; б) білок у сечі; в) гострі кісткові болі в ногах.
6. Організм людини піддається дії діоксинів через:
а) повітря; б) воду; в) харчові продукти.

Частина IV (17 балів)

Репродуктивно-алгоритмічний рівень пізнання

Умови виконання завдання. Відновіть пропущені ключові слова, числа тощо.

1. Певна частина вуглецю _____ (1 сл.) у вигляді _____ (2 сл.) і переходить в _____ (1 сл.) стан. (4 б.)
2. Частина нітратів і нітритів у процесі _____ (1 сл.) відновлюється до _____ (2 сл.), що надходить в атмосферу. (3 б.)
3. Значні кількості фосфору виявляються втягнутими до кругообігу води, коли відбувається їх _____ (1 сл.) водою і _____ (1 сл.) в моря й океани. (2 б.)
4. Поняття «біоцид» часто поширюється на ті _____ (2 сл.) речовини, які потрапляють з _____ (3 сл.) в _____ (1 сл.) кругообіг речовин. (6 б.)
5. Свинець, що поглинається листовими овочами, на _____ (1 ц.) акумулює його з повітря і лише на _____ (1 ц.) — з ґрунту. (2 б.)

Частина V (13 балів)**Репродуктивно-алгоритмічний рівень пізнання**

Умови виконання завдання. Знайдіть відповідність показникам із групи А показників із групи Б.

Група А	Група Б
Перенесення кисню в організмі	Високотоксичні
Регуляція клітинного осмотичного тиску	Залізо
Активізація ензимів	Спалювання кам'яного вугілля
Класифікація металів залежно від токсичності	Натрій
Джерела забруднення	Помірнотоксичні
Чинник, що підсилює акумуляцію кадмію	Магній
	Мідь
А	Нестача заліза
Б	Фосфатні добрива
В	Відходи виробництва пластмас
Г	Калій
Д	Кальцій
Е	Малотоксичні

Частина VI (35 балів)**Творчий рівень пізнання**

Умови виконання завдання. Визначте, що буде, якщо...; викладіть свою точку зору щодо наведеного.

- Порівняйте великий і малий біохімічні кругообіги _____
_____ (10 б.)
- Як Ви думаєте, чи є кругообіг вуглецю зворотним процесом? Чому? _____
_____ (3 б.)
- Який вплив антропогенної діяльності на кругообіг вуглецю? _____
_____ (5 б.)
- Схарактеризуйте вплив людської діяльності на кругообіг азоту _____
_____ (5 б.)
- Схарактеризуйте вплив сільськогосподарської діяльності на кругообіг фосфору _____
_____ 5 б.)
- Визначте наслідки процесу виловування _____

_____ (7 б.)

РОЗДІЛ 3

ХІМІЧНА ЕКОЛОГІЯ АТМОСФЕРИ, ГІДРОСФЕРИ, ЛІТОСФЕРИ. СТАНДАРТИ ЯКОСТІ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Нормативні навчальні елементи до розділу 3

1. Природне забруднення атмосфери
2. Штучне (антропогенне) забруднення атмосфери
3. Джерела забруднення вод
4. Біохімічне споживання кисню (БСК)
5. Хімічне (біхроматне) споживання кисню (ХСК)
6. Евтрофікація
7. Побутові (комунальні) відходи
8. Відходи виробництва (промислові)
9. Відходи виробничого споживання
10. Меліорація
11. Засолення
12. Пестициди
13. Стандарти якості навколишнього середовища
14. ГДК шкідливої речовини в атмосфері
15. Гранично допустимий викид (ГДВ)
16. Гранично допустимий скид (ГДС)
17. Рибогосподарський ГДК

Додаткові навчальні матеріали до розділу 3

1. Характеристика викидів в атмосферу
2. Самоочищення водного об'єкта
3. Основні групи пестицидів
4. Застосування і види добрив
5. Середньодобова гранично допустима концентрація
6. Максимальна разова гранично допустима концентрація

Знання та вміння, які повинні сформуватися в студента після вивчення розділу 3

- Види джерел забруднення атмосфери.
- Методи визначення забруднювальних речовин в атмосферному повітрі.
- Основні групи джерел забруднення вод.
- Класифікація промислових стічних вод за дисперсним складом забруднювальної речовини.
- Вплив дезоксигенувальних агентів.
- Методи визначення забруднювальних речовин у водному середовищі.
- Моделі суспільства одноразового споживання, що створює відходи, і суспільства, що зберігає природу.
- Методи визначення забруднювальних речовин у ґрунтах.
- Основні групи нормативних показників.
- • Порядок встановлення ГДК речовини.
- Види і джерела забруднення водних об'єктів.
- Основні групи лімітуючих показників шкідливості.
- Показники, що враховуються в санітарно-гігієнічному нормуванні.

ЛІТЕРАТУРА

для вивчення розділу 3,

підготовки до контролю-колоквіуму і тест-контролю

1. Алекин О. А. Химия океана / О. А. Алекин, Ю. И. Ляхин. — Л. : Гидрометеиздат, 1984. — 86 с.
2. Андруз Дж. Введение в химию окружающей среды / Дж. Андруз, П. Бримблэк, Т. Джикелз, П. Лисс; пер. с англ. — М. : Мир, 1999. — 271 с.
3. Афанасьев Ю. А. Мониторинг и методы контроля окружающей среды. Ч. 1. Общая : учеб. пособие / С. А. Фомин, Ю. А. Афанасьев. — М., 1998. — 208 с.
4. Безуглова О. С. Биогеохимия : учебник для студентов высших учебных заведений / О. С. Безуглова, Д. С. Орлов. — Ростов н/Д : Феникс, 2000. — 320 с.
5. Бримблэк П. Состав и химия атмосферы / П. Бримблэк. — М. : Мир, 1988. — 351 с.
6. Бретшнайдер Б. Охрана воздушного бассейна от загрязнений / И. Курфюрст, Б. Бретшнайдер. — Л. : Химия, 1989. — 288 с.
7. Говорушко С. М. Влияние хозяйственной деятельности на окружающую среду / С. М. Говорушко. — Владивосток : Дальнаука, 1999. — 171 с.
8. Григорьян В. Г. Мониторинг окружающей среды и государственный экологический контроль / В. Г. Григорьян, А. М. Калинин, Ю. С. Осипов // Экол. проблемы регионов России. — 1997. — № 5. — С. 91 — 100.
9. Гриневич В. И. Охрана окружающей среды и рациональное природопользование / В. И. Гриневич, А. П. Куприяновская, А. Ю. Никифоров. — Иваново, 1995. — 288 с.

10. Дривер Дж. Геохимия природных вод / Дж. Дривер. — М. : Мир, 1985. — 102 с.
11. Заиков Г. Е. Кислотные дожди и окружающая среда / Г. Е. Заиков, С. А. Маслов, В. Л. Рубайло. — М. : Химия, 1991. — 144 с.
12. Защита атмосферы от промышленных загрязнений : справочник (в 2-х т.) / под ред. С. Калверта, Г. М. Инглунда. — М. : Metallurgia, 1988. — Т.1. — 760 с.
13. Израэль Ю. А. Экология и контроль состояния природной среды / Ю. А. Израэль. — М. : Гидрометеиздат, 1984. — 560 с.
14. Исидоров В. А. Органическая химия атмосферы / В. А. Исидоров. — Л. : Химия, 1985. — 245 с.
15. Источники загрязнения и системы защиты среды обитания : учеб. пособие / Г. В. Бектобеков, Н. Ю. Золотарева, В. И. Кубик и др. — СПб., 1999. — 300 с.
16. Кирилов В. Ф. Радиационная гигиена / В. Ф. Кирилов, В. А. Книжников, И. П. Коренков. — М. : Медицина, 1988. — 335 с.
17. Комплексная эколого-геохимическая оценка техногенного загрязнения окружающей природной среды / Э. К. Буренков, Л. Н. Гинзбург, Н. К. Грибанова и др. — М. : Прима-Пресс, 1997. — 73 с.
18. Коростовенко В. В. Мониторинг и контроль качества окружающей среды : учеб. пособие / А. Г. Степанов, В. В. Коростовенко. — Красноярск, 1998. — 143 с.
19. Мазур И. И. Курс инженерной экологии : учеб. для вузов / под ред. И. И. Мазура. — М. : Высш. шк., 1999. — 447 с.
20. Назарук М. М. Основи екології та соціології / М. М. Назарук. — Львів : Афіша, 1999. — 256 с.
21. Новиков Ю. В. Экология, окружающая среда и человек / Ю. В. Новиков. — М. : Гранд: Фаир Пресс, 2000. — 320 с.
22. Орлов Д. С. Химия почв / Д. С. Орлов. — М. : МГУ, 1992. — 270 с.
23. Пикаев А. К. Современная радиационная химия / А. К. Пикаев. — М. : Наука, 1985.
24. Почвенно-экологический мониторинг / Под ред. Д. С. Орлова, В. Д. Васильевской. — М. : МГУ, 1994. — 272 с.
25. Реймерс Н. Ф. Природопользование : словарь-справочник / Н. Ф. Реймерс. — М. : Мысль, 1990. — 638 с.
26. Степанов В. М. Методологические основы системного анализа примесей у средах и материалах : учеб. пособие / В. М. Степанов. — Н. Новгород, 1997. — 108 с.
27. Тарасова Н. П. Химия атмосферы / Н. П. Тарасова, В. А. Кузнецова. — М. : МХТИ, 1986. — 98 с.
28. Телитченко М. Н. Введение в проблемы биохимической экологии / М. Н. Телитченко, С. А. Остроумов. — М. : Наука, 1990.
29. Тинсли И. Поведение химических загрязнителей в окружающей среде / И. Тинсли. — М. : Мир, 1982. — 273 с.

30. Тяжелые металлы в окружающей среде / Под ред. В. В. Добровольского. — М. : Изд-во МГУ, 1980.
31. Фелленберг Г. Загрязнение природной среды. Введение в экологическую химию / Г. Фелленберг; пер. с нем. — М. : Мир, 1997. — 232 с.
32. Хендерсон-Селлерс Б. Умирающие озера / Х. Р. Маркленд, Б. Хендерсон-Селлерс. — Л. : Гидрометеоздат, 1990. — 279 с.
33. Химическое загрязнение почв и охрана : справочник / под ред. Ю. М. Лейкина. — М. : Агропромиздат, 1991. — 303 с.

3.1 Хімічна екологія атмосфери

3.1.1 Джерела забруднення атмосфери

Є два види забруднень атмосфери: природне і штучне. Кожен зумовлений відповідними джерелами (рисунок 3.1).

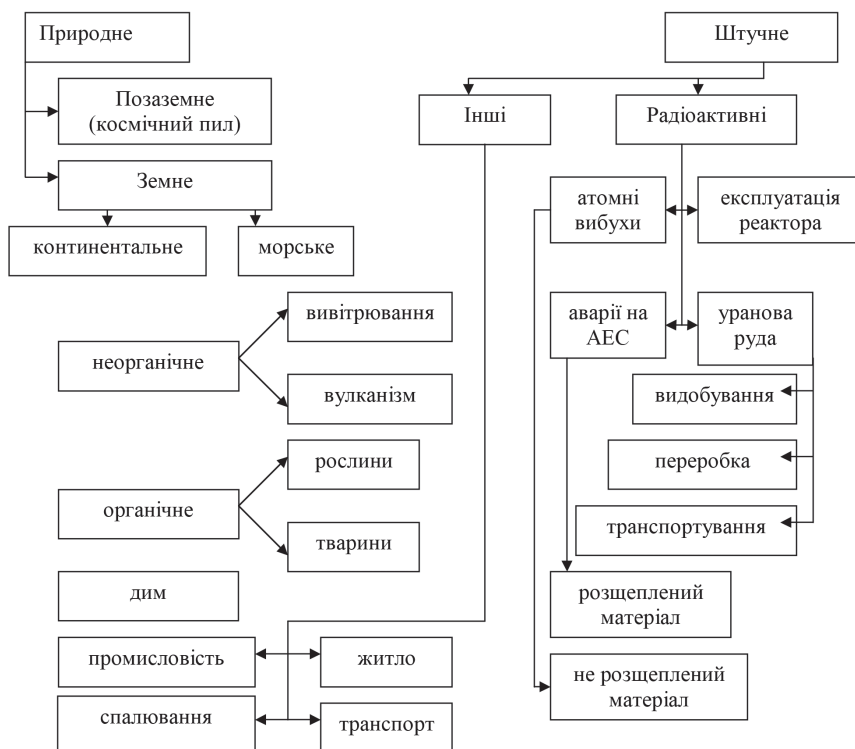


Рис. 3.1 — Джерела забруднення атмосфери

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

- мінеральний пил (продукт вивітрювання й руйнування гірських порід, виверження вулканів, лісових, степових і торф'яних пожеж, сіль, яка потрапляє в повітря у разі розбризкування і випаровування морської води й ін.);

- органічний пил (залишки живих істот, які живуть або потрапляють в атмосферу, представлені аеропланктоном, продуктами гниття й розкладання рослин і тварин);

- космічний пил (залишки згорілих під час проходження крізь щільні шари атмосфери метеоритів).

Природний пил грає роль ядер конденсації водяної пари.

Штучне (антропогенне) забруднення зумовлено діяльністю людини, унаслідок чого відбуваються значні зміни в природному складі атмосфери. Основними джерелами є промисловість і транспорт.

Найбільш поширеними штучними забруднювачами атмосферного повітря є продукти згоряння сірковмісного палива (вугілля, нафтопродуктів, газу), вихлопні гази автотранспорту, радіоактивне забруднення. Хімічний склад техногенних викидів залежить від виду палива, способу спалювання, складу сировини, технології виробництва та ін.

Особливо небезпечними викидами є ті, які утворюються в процесі роботи різних видів транспорту, зокрема автомобілів, вихлопні гази яких містять шкідливі домішки. Концентрація цих домішок у вихлопних газах залежить від типу двигуна, особливостей його обслуговування, своєчасного ремонту систем живлення й запалювання, стану доріг. Від кожної тисячі автомобілів щодня в повітря надходить більше за 3000 кг оксиду вуглецю, інших продуктів неповного згоряння палива, які негативно впливають на здоров'я населення, зокрема чадний газ та ін. В Україні щороку автотранспорт викидає в атмосферу повітря 31 % від загальної кількості забруднювальних речовин, що викидаються, зокрема понад 63 % свинцю, 54 % — оксиду вуглецю, 36 % — вуглеводнів і 25 % — оксидів азоту.

Задимленість вокзалів і прилеглих територій викликають і тепловози. Перехід тяги на електричну значно знизив отруєння атмосферного повітря шкідливими газами. Локальне забруднення зумовлюють також річкові й морські судна, які працюють на вугіллі та інших видах важкого палива.

Промисловість викидає в атмосферу значну кількість твердих частинок (сажа, зола, пил) і шкідливих газів. Промисловий пил складається з дрібних частинок, які довго тримаються в підвішеному стані. Забруднення повітряного басейну сірководнем і пилом викликається

тепловими електростанціями, які працюють на вугіллі. Перехід ТЕС на газ значно зменшує шкідливі викиди.

Отже, найбільш поширені викиди промисловості — зола, пил, оксид цинку, сірчаний ангідрид, сірководень, меркаптан, альдегіди, вуглеводні, смоли, оксид і діоксид азоту, аміак, озон, оксид і діоксид вуглецю, фтористий водень, хлористий водень, кремнефтористий натрій, радіоактивні гази й аерозолі (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1

Маса забруднювальних речовин,
що викидаються в атмосферу (тонн/рік)

Речовина	Природні надходження	Антропогенні викиди
Оксид вуглецю (II) — CO	—	$3,5 \cdot 10^8$
Оксид сірки (IV) — SO ₂	$1,4 \cdot 10^8$	$1,45 \cdot 10^8$
Оксид азоту (II) — NO	$1,4 \cdot 10^9$	$(1,50-2,00) \cdot 10^7$
Аерозоль (тверді речовини)	$(7,70-22,00) \cdot 10^{10}$	$(9,60-26,00) \cdot 10^{10}$
Фреони, поліхлорвінілові речовини	—	$2,00 \cdot 10^6$
Озон — O ₃	$2,00 \cdot 10^9$	—
Вуглеводні	$1,00 \cdot 10^9$	$1,00 \cdot 10^6$
Свинець — Pb	—	$2,00 \cdot 10^5$
Ртуть — Hg	—	$5,00 \cdot 10^3$

Як свідчать дані таблиці 3.1, антропогенне (штучне) забруднення атмосфери переважає над природним, за таких обставин 37 % забруднень дає автотранспорт, 32 % — промисловість і 31 % — інші джерела.

Радіоактивні речовини потрапляють в атмосферу в результаті природної і штучної радіоактивності, пов'язаної з роботою атомних установок, використанням радіонуклідів у народному господарстві, унаслідок аварійних ситуацій на підприємствах ядерного циклу, атомних вибухів.

Проблемою є також утилізація радіоактивних відходів.

Забруднення атмосферного повітря часто є локальним, проте воно є в постійному русі, і за відповідних метеорологічних умов забруднювачі переносяться на значні відстані.

Джерела забруднення атмосфери розрізняються також за потужністю викиду (потужні, великі, дрібні), висотою викиду (низькі, середньої висоти і високі), температурою вихідних газів (нагріті й холодні).

Для підготовки вихідних даних для розрахунку гранично допустимих викидів (ГДВ) підприємства для кожного джерела за кожним показником потрібна класифікація не тільки джерел забруднень, але також класифікація й характеристика викидів, ступінь вивченості й

облік у розрахунках. Водночас враховують організовані, неорганізовані й розподілені викиди.

Організовані викиди зазвичай проводяться зі стаціонарних джерел. Їх характеризує велика висота труб (50–100 м), а також значні концентрації й обсяги. Неорганізовані викиди проявляються у вигляді надходжень токсикантів в атмосферу з виробничих приміщень підприємств. Концентрація й обсяг забруднювальних речовин менше, висота викиду невелика. Розподілені викиди пов'язані в основному з транспортом, а також з обробкою сільськогосподарських територій отрутохімікатами (рисунок 3.2).

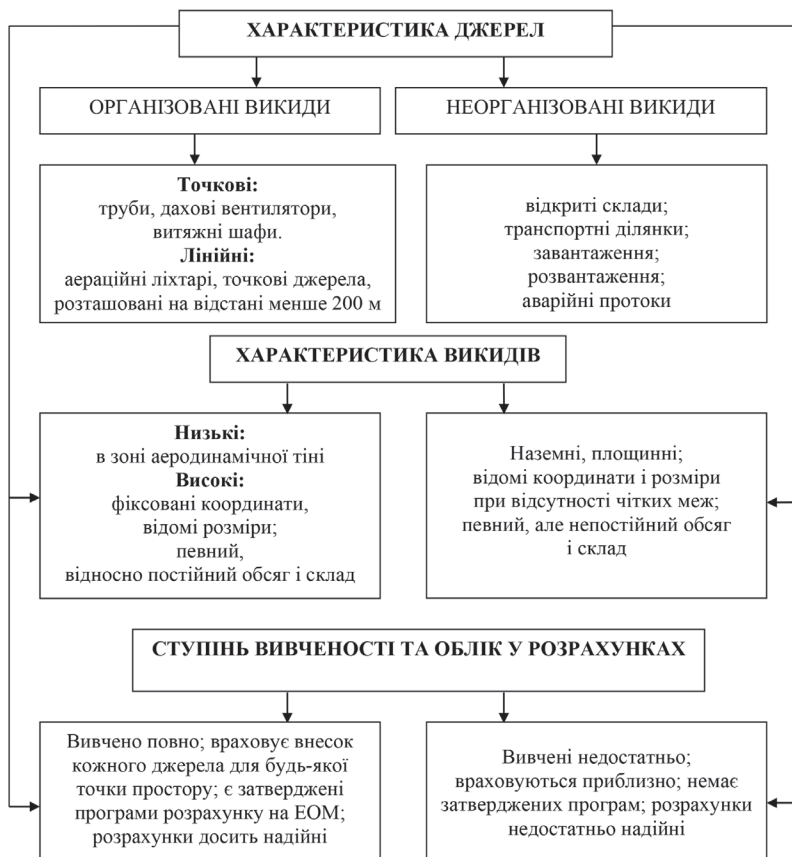


Рис. 3.2 — Класифікація джерел, викидів і ступеня вивченості забруднювальних речовин

3.1.2 Методи визначення забруднюючих речовин в атмосфері

Специфіка досліджень якості повітряного середовища полягає в тому, що в переважній кількості випадків потрібно визначити дуже малі кількості речовини, вимірювані міліграмами або їх частками. Тому методи, які використовуються, повинні бути високочутливими, точними і швидкими.

Методи визначення вмісту шкідливих речовин у повітрі ґрунтуються на різних фізичних і хімічних явищах, але вони незмінно включають два процеси: відбір проби повітря і його аналіз.

Метод відбору проби повітря може бути тривалим за часом і одномоментним.

Перший метод, так званий аспіраційний, ґрунтується на протягуванні аналізованого повітря через тверді або рідкі середовища для затримки в них шляхом механічного поділу або розчинення речовини, що визначається.

Другий метод полягає у взятті в робочій зоні певного обсягу повітря для подальшого аналізу його в хімічній лабораторії.

Аспіраційний метод дозволяє накопичити на фільтрі або в поглинальному розчині аналізовану речовину хоча б у мінімальній кількості, що є вище рівня чутливості хімічного методу визначення. Відбір проби триває 15–20 хв, а в деяких випадках — 30–60 хв. Недоліком аспіраційного методу є велика трудомісткість відбору проби і велике усереднення концентрації речовини, що визначається в повітрі за тривалий період часу (в той час як концентрація отрут у повітрі робочої зони нерідко змінюється досить швидко).

Для відбору проби необхідні аспіратор і пристрої для затримки аналізованої речовини: у разі визначення аерозолів фільтри; в процесі визначення пари й газів — поглинальні прилади. У якості аспіратора зазвичай використовують електричний аспіратор — повітродувку. У разі його застосування в разі, коли визначають токсичні речовини у вигляді аерозолів, відбір проби схожий із методом визначення запиленості повітря. Відмінність полягає лише в самому визначенні токсичної речовини, яке зазвичай проводиться не ваговим, а хімічним методом із попереднім переходом твердої речовини в рідкий стан шляхом розчинення її в кислотах, лугах і інших розчинниках. Під час визначення концентрації парів і газів швидкість протягування повітря повинна бути невелика.

Одномоментний спосіб відбору проб повітря може бути застосований в одному з трьох варіантів:

1. виливанням рідини з посудини, що призводить до заповнення її досліджуваным повітрям; посудина після цього герметично за-

- кривається гумовою пробкою й доставляється в лабораторію для аналізу (метод застосовується в разі нерозчинних у воді газів);
2. обміном повітря (десятикратне продування), коли чисте повітря в посудині замінюється аналізованим повітрям для подальшого аналізу його в лабораторії;
 3. заповненням посудини, у якій заздалегідь був створений вакуум. У разі відкривання посудини в зоні роботи аналізоване повітря заповнює її, після чого посудину закривають і доставляють у лабораторію.

Одномоментний спосіб відбору зручний і позбавлений недоліків аспіраційного методу, але може застосовуватися лише тоді, коли є високочутливий метод аналізу й немає необхідності концентрувати (акумулювати) речовини, що містяться в повітрі виробничих приміщень у незначній кількості.

Для затримки парів і газів застосовують скляні вироби найрізноманітнішої конструкції (від найпростіших скляних трубок до колб складної конфігурації), які заповнюються поглиначами (розчинами, хімічними зернистими й порошкоподібними реагентами відповідного призначення).

Для уловлювання аерозолів застосовують аналітичні фільтри аерозольні АФА-ХЛ, АФА-ХП і АФА-ХС. Буква Х позначає, що фільтри призначені для проведення аналізу аеродисперсних домішок хімічним (а не ваговим) методом. Літери, що стоять поруч, вказують, що матеріал ультратонких волокон фільтра виготовлений відповідно з ацетилцелюлози (А), перхлорвінілу (П) і полістиролу (С).

Для визначення концентрації радіоактивних аерозолів застосовують фільтри АФА-РМ із метилакрилатного матеріалу; для визначення ізотопного складу радіоактивних аерозолів спектрометричним методом — фільтри АФА-РСП із перхлорвінілового матеріалу; фільтри АФА-БА — для бактеріального аналізу аеродисперсних домішок і ін.

Для визначення концентрації шкідливих домішок ваговим методом застосовують стійкі до вологи, кислот і лугів фільтри АФА-ВП двох типів: АФА-ВП-10 і АФА-ВП-20 з площею фільтруючих дисків 10 і 20 см² і масою 50 і 110 мг відповідно.

Методи аналізу проб повітря, що використовуються для визначення хімічних речовин у ньому, дуже різноманітні: оптичні, полярографічний, хроматографічний та ін.

Крім зазначених вище методів — високоточних і чутливих, що вимагають, однак, значних витрат часу на визначення вмісту шкідливих і небезпечних речовин у повітрі, сучасна промислова санітарія має менш точні, але більш швидкі методи аналізу. До експрес-методів аналізу повітря належать колориметричні й лінійно-колористичні

методи, що дозволяють оперативнo в місці відбору проби визначити концентрацію забруднюючих повітря речовин.

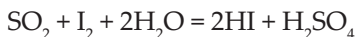
Колориметричні методи ґрунтуються на протягуванні повітря, що містить забруднюючу речовину, через розчин, фільтрувальний папір або зернистий твердий сорбент, і вимірі інтенсивності отриманого на них забарвлення шляхом порівняння зі стандартними шкалами (зразками-еталонами), вказаною на них концентрацією досліджуваної речовини.

Лінійно-колористичний метод ґрунтується на протягуванні досліджуваного повітря через скляні індикаторні трубки і вимірі довжини пофарбованого стовпчика порошку за заздалегідь підготовленими шкалами, що показує залежність цієї довжини від концентрації даної речовини.

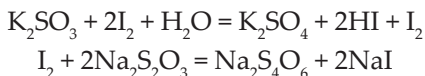
3.1.3 Методи зниження надходження в атмосферу забруднюючих речовин

Для підтримки належної чистоти атмосфери необхідний постійний контроль за чистотою повітря у великих містах і поблизу промислових підприємств. Контроль має на увазі виявлення й кількісне визначення токсичних речовин: SO_2 , NO , NO_2 , CO , CO_2 , H_2S , NH_3 . Для аналізу пробу повітря пропускають через низку поглиначів, у яких використовують розчини лугів (для SO_2 , NO_2 , CO_2 , H_2S), кислот (для NH_3) або тверді адсорбенти, просочені розчинами відповідних з'єднань. За допомогою специфічних реакцій здійснюють ідентифікацію та контроль токсичних речовин.

SO_2 . Визначення оксиду сірки (IV) проводять, пропускаючи пробу повітря через розчин йоду, оскільки через досить сильні відновлювальні властивості SO_2 реагує з йодом. У присутності SO_2 буре забарвлення поглинаючого розчину, що містить йод, зникає:



Для кількісного визначення SO_2 його поглинають розчином KOH і після нейтралізації поглинаючого розчину використовують метод йодометрії:



Зменшити забруднення атмосфери SO_2 дозволяють такі методи:

- перехід до палива з низьким вмістом сірки, тобто заміна вугілля й нафти природним газом;
- видалення SO_2 з димових газів шляхом введення в топку розпорошеного гашеного вапна $\text{Ca}(\text{OH})_2$ або крейди CaCO_3 , що зв'язують SO_2 в присутності кисню в сульфат кальцій:

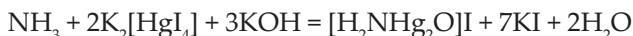


- установка фільтрів, що уловлюють SO_2 ;
- збільшення висоти труб, які відводять продукти згоряння палива.

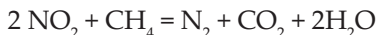
NO_2 , NO . Оксид азоту (IV) виявляють після поглинання проби повітря розчином KOH , у результаті окислювально-відновної реакції утворюються іони NO_2^- і NO_3^- :



Виявити іони, що утворилися, можна за допомогою розчину дифеніламіну, який у їх присутності дає синє забарвлення, або реакцією їх відновлення в лужному середовищі до аміаку, що відкривається за допомогою реактиву Несслера:



Кількісне визначення NO і NO_2 проводять шляхом вимірювання об'єму азоту, що виділився в реакції їх каталітичного відновлення в присутності платини:



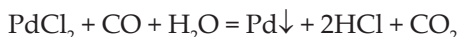
Оксид вуглецю (IV) і воду, що утворилися, відокремлюють за допомогою концентрованого розчину лугу.

Для зменшення концентрації NO і NO_2 у вихлопних газах автомобілів слід використовувати високоякісний бензин, знижувати швидкість автомобілів у межах міста. Найбільш радикальними заходами в боротьбі за зменшення надходження NO і NO_2 від автотранспорту є заміна бензину на газове паливо й перехід на електромобілі.

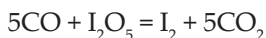
У промисловості очищення нітрозних газів здійснюють або каталітичним відновленням їх метаном, або реакцією окислення NO до NO_2 з наступним поглинанням NO_2 водними розчинами лугів у присутності кисню:



CO . Оксид вуглецю (II) є сильним відновником, але в умовах високих температур. Для аналітичних цілей як окислювача використовують розчин солі PdCl_2 , який утворює в разі наявності CO чорний осад металічного паладію:



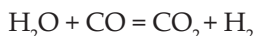
Кількісне визначення CO ґрунтується на реакції відновлення I_2O_5 :



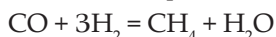
Йод, що виділився відфільтровують тіосульфатом (метод йодометрії) у присутності крохмалю.

Зниження вмісту CO у вихлопних газах автотранспорту в основному досягається вдосконаленням конструкції двигунів, щоби збільшити приплив кисню в камеру згоряння, а також зниженням числа зупинок автотранспорту в межах міста.

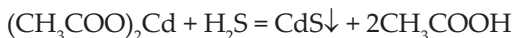
Видалення великих кількостей CO з промислових відходів засновано на реакції утворення водяного газу:



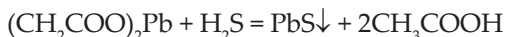
CO, що залишився, видаляють каталітичним відновленням чистим воднем у присутності каталізатора $NiO \cdot Al_2O_3$:



H_2S . Про наявність сірководню в повітрі можна судити, якщо пропустити пробу повітря через розчини солей $(CH_3COO)_2Cd$ або $(CH_2COO)_2Pb$:

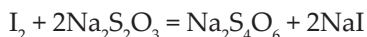
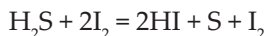


жовтий

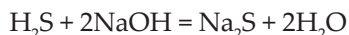


чорний

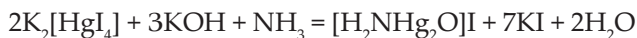
Кількісне визначення сірководню проводять методом йодометрії, використовуючи принцип зворотного титрування:



Очищення газоподібних викидів від сірководню ґрунтується на використанні його кислотних властивостей. Для поглинання H_2S суміш газів пропускають через розчини солей: NaOH або етанол амінів $(H_2NC_2H_4OH$ або $HN(C_2H_4OH)_2$):



NH_3 . Визначення аміаку в повітрі проводять специфічною реакцією, у якій використовується реактив Несслера:



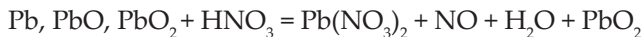
Колір утвореного осаду залежить від кількості аміаку в повітрі. Він змінюється від жовтого (малі кількості) до червоно-бурого в разі великого вмісту аміаку. Якщо кількості аміаку мало, його концентрацію визначають спектрофотометричним методом. Макрокількості

аміаку визначають за зміною обсягу газової проби до й після поглинання розчинами сірчаної кислоти:

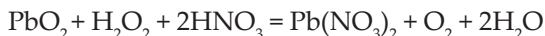


Очищення газів від аміаку здійснюють водними розчинами кислот.

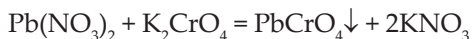
Pb, PbO, PbO₂. Пробу повітря, що містить свинець і його оксиди у вигляді аерозолів, пропускають через розчин азотної кислоти:



PbO₂, що не розчинився, обробляють пероксидом водню в кислому середовищі:



З отриманого розчину свинець осаджують у вигляді жовтого осаду хромату свинцю:



Кількісно свинець визначається за масою виділеного осаду.

Щоби не забруднювати атмосферу свинцем, необхідно відмовитися від добавок його з'єднань у бензин.

Hg. Ртуть — єдиний метал, що є в умовах звичайної температури в рідкому стані (*T*_{пл} = — 39° С). Основним джерелом ртутних забруднень на побутовому рівні є розбиті ртутні термометри й манометри, а також лампи денного світла.

У промисловості ртуть використовується в електротехнічному та електрометалургійному виробництвах, відходи яких створюють серйозну екологічну проблему, оскільки ртуть та її сполуки дуже отруйні!

Із солей ртуті добре відомі каломель Hg₂Cl₂ і сулема HgCl₂. Поряд зі звичайними солями — хлоридами, сульфатами, нітратами — Hg (II) легко утворює металоорганічні сполуки типу RHgX і R₂Hg. З погляду токсикології найбільш важливими є метилртутні сполуки, оскільки вони утворюються в організмі через метилювання біосубстратами надійшовшими сполуками ртуті. На відміну від неорганічних солей ртуті, вони здатні проникати в клітинні мембрани й накопичуватися в жировій тканині.

Сполуки ртуті (I) у присутності речовин, що містять тіольні групи, піддаються окислювально-відновним перетворенням:

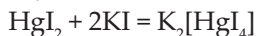
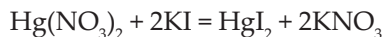


R — органічний радикал.

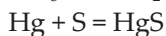
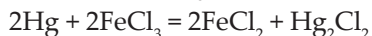
Сполуки ртуті (II) утворюють стійкі комплекси з біологічно важливими молекулами. Це призводить до денатурації білків і пригнічення ферментів.

Захисною дією проти отруєння ртуттю володіють хелатируючі препарати, що містять тіольні групи (унітіол, сукцімер), а також тіо-сульфат натрію.

Для якісного визначення іона ртуті використовується розчин KI. У разі нестачі KI в присутності Hg утворюється характерний червоний осад, який у надлишку KI розчиняється внаслідок комплексоутворення:



Для ліквідації забруднення приміщень металевою ртуттю необхідна їх обробка або розчином FeCl_3 , або елементарною сіркою:



Пролиту ртуть можна засипати дрібним порошком цинку або міді і йодовмісним вугіллям.

3.2 Хімічна екологія гідросфери

3.2.1 Джерела забруднення гідросфери

Забруднення гідросфери відбувається з наростаючою швидкістю. Під час проходження через гідрологічний цикл вода забруднюється зваженими й розчиненими речовинами — як природними компонентами, так і відходами людської діяльності. Джерела забруднення вод діляться на чотири великі групи:

1. Виробничі або промислові стічні води, які використані в технологічному процесі виробництва або виходять під час видобутку корисних копалин.

2. Міські стічні води, що включають переважно побутові стоки.

3. Атмосферні води — дощові і від танення снігу, що несуть маси поліутантів (забруднювачів), які вимиваються, з повітря промислового походження.

4. Стічні води сільськогосподарських підприємств, що включають каналізаційні води і змиви з полів добрив і пестицидів.

Кількість забруднених стічних вод, що скидаються в озера, річки й моря, в усьому світі досягає 250 — 300 млрд м³ на рік.

Чітка класифікація промислових стоків утруднена через різноманітність забруднень у них. Розрізняють дві основні групи стічних вод:

1. містять органічні речовини;
2. містять неорганічні домішки.

До першої групи належать стічні води нафтопереробних і нафтохімічних заводів, підприємств органічного синтезу й синтетичного каучуку, коксохімічних, газосланцевих та ін. Вони містять нафту й нафтопродукти, нафтенові кислоти, вуглеводні, спирти, альдегіди, кетони, поверхнево-активні речовини, феноли, смоли, аміак, меркаптани, сірководень та ін.

До другої групи належать стічні води содових, сірчанокислотних, азотнотукових заводів, збагачувальних фабрик свинцевих, цинкових, нікелевих руд, шахт, рудників, каталізаторних фабрик, металургійних підприємств, гальванічних виробництв та ін. Вони містять кислоти, луки, солі, сірчисті з'єднання, іони важких металів, зважені мінеральні речовини та ін.

Промислові стічні води класифікують також за дисперсним складом забруднювальної речовини. Відповідно до цієї класифікації виділяють п'ять груп стічних вод:

- які містять нерозчинні домішки з величиною частинок більше за 10^{-5} – 10^{-4} м;

- являють собою колоїдні розчини;

- містять розчинені гази й молекулярно-розчинні речовини;

- містять речовини, які дисоціюють на іони;

- містять мікроорганізми.

Така класифікація дозволяє запропонувати для кожної групи певні методи очищення стічних вод.

Забруднювальні речовини, котрі надходять у ріки, озера, водосховища й моря, вносять значні зміни в усталений режим і порушують рівноважний стан водних екологічних систем, хоча водойми і здатні до самоочищення шляхом біохімічного розпаду органічних речовин під дією мікроорганізмів. Самоочищення залежить від запасу розчиненого кисню, гідродинамічних і біохімічних процесів, сонячної радіації, життєдіяльності рослинних і тваринних організмів та ін. Ці процеси інтенсифікуються влітку, сповільнюються взимку й залежать від кратності розбавлення стічних вод.

Для нормального протікання процесу самоочищення насамперед необхідна наявність у водоймі запасу розчиненого кисню. Насиченість ним води потрібна для окисного розкладу переважної кількості домішок. Хімічне або бактеріальне окислення органічних речовин призводить до зниження концентрації розчиненого у воді кисню (в 1 літрі води міститься всього 8–9 мл розчиненого кисню, в 1 літрі повітря — 210 мл кисню). Вплив дезоксигенувальних (які знижують вміст кисню) агентів виражається в заміні нормальної флори і фауни водойм примітивною, пристосованою до існування в анаеробних умовах. Органічні речовини, взаємодіючи з розчиненим киснем, окислю-

ються до вуглекислого газу і води, споживаючи різну кількість кисню. Тому введений узагальнений показник, що дозволяє оцінити сумарну кількість забруднень у воді з поглинання кисню. Таким показником є **біохімічне споживання кисню (БСК)**, яке дорівнює кількості кисню, що поглинається в процесі окислення конкретної речовини в певний відрізок часу. БСК виражається в міліграмах потрібного кисню на 1 грам окислювальної речовини (O_2 , мг/г), а в розчинах — у міліграмах потрібного кисню на 1 літр розчину (O_2 , мг/г). Поряд із БСК встановлений показник **хімічного (біхроматного) споживання кисню (ХСК)** — кількість кисню, споживаного в процесі хімічного окислення органічних і неорганічних речовин, які містяться у воді під дією окислювачів; виражається в мг/л атомарного кисню.

Залежно від часу, протягом якого визначається БСК, розрізняють $БСК_5$ (п'ятидобове), $БСК_{20}$ (двадцятидобове), $БСК_{пов.}$ (повне, коли окислення закінчується). За нормами $БСК_{пов.}$ не повинно перевищувати у водоймах рибогосподарського значення (І категорії) 3 мг/л O_2 , інших категорій — 6 мг/л O_2 . БСК промислових стоків залежно від виробництва і складу стоків становить 200–3000 мг/л O_2 . Це означає, що в разі скидання таких стоків вміст кисню у водоймі значно зменшується, або він вживається повністю. Це викликає загибель планктону, бентосу, риби та інших організмів, що живуть у водоймі й потребують кисень. Одночасно посилено розвиваються анаеробні мікроорганізми, біологічна рівновага порушується, виникає загнивання водойми. Отже, необхідне очищення стоків до такої міри, щоби в разі скидання їх у водойми і змішуванні з водою водойми БСК відповідало нормі, встановленій санітарними правилами. За міжнародною угодою для збереження водної фауни потрібен вміст розчиненого кисню не нижче 5 мг O_2 /л.

Одним із найважливіших показників здатності водойми до самоочищення є співвідношення форм азоту. Резервуаром азоту в біосфері є атмосфера. У результаті низки перетворень він переходить у форму, що бере участь в утворенні амінокислот і протеїнів. Розглянемо динаміку форм азоту у водоймі. У природних водах вміст іонів амонію не перевищує 0,1 мг/л, нітрит іонів — 0,001–0,01 мг/л і нітрат іонів — 0,01–0,5 мг/л. Це співвідношення змінюється за сезонами року: влітку нітрат іони складають соті частки мг/л, восени і взимку — кілька десятків мг/л, що пояснюється значним вживанням нітратів рослинами.

У результаті забруднення водойм господарсько-побутовими стоками кількість азоту у воді в порівнянні з природним його вмістом може зростати в сотні й тисячі разів. Наприклад, за даними професора Н. С. Строганова, для водойм, у які надходили побутові стоки, вміст азоту амонійних солей становив приблизно 84 мг/л. Перетворення різних форм азоту здійснюється у водоймі різними мікроорганізмами.

Усі мікроорганізми, які накопичують азот, сприяють евтрофікації водойми, що є небажано для водокористувачів. **Евтрофікація** — це підвищення біопродуктивності водойми в результаті накопичення у воді біогенних речовин під впливом природних і, головним чином, антропогенних чинників. У результаті посиленого розвитку у водному об'єкті рослин і мікроорганізмів і потім їх загибелі погіршуються фізико-хімічні властивості води: зменшується її прозорість, вода набуває зелений або жовто-бурий колір, з'являється неприємний смак і запах, підвищуються значення рН, в осад випадає карбонат кальцію й гідроксид магнію, спостерігається дефіцит кисню і виникають заморні явища.

За наявності у водоймі азоту в тій чи іншій формі можна судити про ступінь органічного забруднення вод і про інтенсивність їх самоочищення. Присутність у воді іонів амонію й нітритів часто є ознакою недавнього забруднення, а нітрат іонів — ознакою більш раннього забруднення води.

На відміну від азоту кругообіг фосфору є односторонньою системою з рухом із літосфери в гідросферу, а в ній — в опади. Але в разі збільшення скидання фосфоровмісних відходів води стають насиченими за фосфатами, і наслідки цього явища досі незрозумілі через складність визначення швидкості гідролізу конденсованих поліфосфатів.

Істотну роль у розвитку евтрофікації водойм відіграє сільське господарство. Змиті з ґрунту мінеральні добрива і відходи тваринництва, які надходять у водойми й підземні води, порушують природну рівновагу наявних екосистем, призводять до бурхливого зростання водоростей, що викликає заростання каналів, річок, озер, водосховищ, особливо слабо проточних, призводить до загибелі водойм, перетворюючи їх у болото.

Великої шкоди приносять змиті з полів, зрошуваних масивів, лісових ґрунтів пестициди, які не піддаються біологічному розпаду і зберігаються протягом багатьох років у прісній і морській воді. Вони викликають загибель мешканців водойм на ранніх стадіях розвитку, різні мутації і виродження особин. Особливо небезпечні хлороорганічні пестициди, що володіють найбільшою здатністю накопичуватися в організмі гідробіонтів, що може призводити до летального результату. Фосфороорганічні пестициди здебільшого накопичуються у воді й рибі в незначних кількостях. Розкладання пестицидів під дією мікроорганізмів у донних відкладеннях відбувається найшвидше в тих випадках, коли утворюються гідрофільні метаболіти.

Велику небезпеку становлять забруднення вод радіоактивними речовинами. У результаті скидання радіоактивних відходів підвищилася радіоактивність Ірландського моря і прилеглого району Атлантичного океану, Тихоокеанського узбережжя США й інших районів океану.

Особливим видом забруднення водойм є «теплове» забруднення, що викликається скиданням у них підігрітої води, використовуваної для охолодження турбін ТЕЦ і інших цілей. Важливу проблему створило скидання у водойми нагрітих виробничих вод із температурою 35–37°C. Унаслідок цього температура біля місць скидання на великій площі підвищується на кілька градусів, що призводить до загибелі рослинного і тваринного світу.

Серйозну загрозу для гідросфери становить все зростаюче забруднення Світового океану нафтою. За наявними даними, у Світовий океан потрапляє приблизно 1 % нафти, що транспортується. Нафта й нафтопродукти потрапляють у моря й океани з баластними і промивними водами судів, під час катастроф із танкерами, в разі аварій на морських нафтових промислах.

Кожна тонна нафти покриває тонкою плівкою приблизно 12 квадратних кілометрів водної поверхні й забруднює до мільйона тонн морської води. Нафтова плівка викликає загибель заплідненої ікри, порушує процеси фотосинтезу і виділення кисню фітопланктоном, що порушує газообмін між атмосферою й гідросферою. Забруднення нафтою викликає масову загибель птахів і морських ссавців (каланів, морських котиків і ін.). Вплив на екосистеми виражається в зміні видового складу угруповань, зниженні чисельності водних організмів, загибелі рослинності. Тривалість забруднення нафтою берегової зони залежить від геологічних особливостей будови берега й може зберігатися більше 10 років.

Крім нафти і шкідливих речовин, принесених у Світовий океан забрудненими річками, велика кількість їх надходить з атмосфери. Щорічно випадає до 200 тисяч тонн свинцю, 1 мільйон тонн вуглеводнів, 5 тисяч тонн ртуті. Приблизно половина пестицидів потрапляє в океан з атмосфери.

Сильно забруднені Середземне море, затоки й моря Японії, багато річок у всіх країнах світу.

Забруднення водних систем становить більшу небезпеку, ніж забруднення атмосфери, оскільки процеси самоочищення у водному середовищі протікають повільніше, ніж у повітрі. Крім того, джерела забруднення водного середовища більш різноманітні, і процеси, що протікають у ній, більш чутливі, ніж ті, які протікають в атмосфері.

Іони металів є неодмінними компонентами природних водойм. Залежно від умов середовища (рН, окисно-відновного потенціалу, наявності лігандів) вони наявні у різних ступенях окислення і входять до складу різноманітних неорганічних і металоорганічних з'єднань, які можуть бути істинно розчиненими, колоїдно-дисперсними або входити до складу мінеральних і органічних суспензій.

Істинно розчинні форми металів, зі свого боку, дуже різноманітні, що пов'язано з процесами гідролізу, гідролітичної полімеризації (утворення поліядерних гідрокомплексів) і комплексоутворення з різними лігандами. Відповідно, як каталітичні властивості металів, так і доступність для водних мікроорганізмів залежать від форм існування їх у водній екосистемі.

Багато металів утворюють досить міцні комплекси з органічними сполуками; ці комплекси є однією з найважливіших форм міграції елементів у природних водах. Переважна кількість органічних комплексів утворюються за хелатним механізмом і є стійкими. Комплекси, утворені ґрунтовими кислотами із солями заліза, алюмінію, титану, урану, ванадію, міді, молібдену та інших важких металів, порівняно добре розчинні в умовах нейтрального, слабокислого і слаболужного середовищ. Тому металоорганічні комплекси здатні мігрувати в природних водах на досить значні відстані. Особливо важливо це для маломінералізованих і, насамперед, поверхневих вод, у яких утворення інших комплексів неможливо.

Для розуміння чинників, які впливають на концентрацію металу в природних водах, їх хімічну реакційну здатність, біологічну доступність і токсичність, треба знати не тільки валовий вміст, а й частку вільних і зв'язаних форм металу.

Перехід металів у водному середовищі в металокомплексну форму має три наслідки:

- може відбуватися збільшення сумарної концентрації іонів металу завдяки переходу його в розчин із донних відкладень;
- мембранна проникність комплексних іонів може істотно відрізнятися від проникності гідратованих іонів;
- токсичність металу в результаті комплексоутворення може сильно змінитися.

Так, хелатні форми міді, кадмію, ртуті менш токсичні, ніж вільні іони.

Джерелами забруднення вод важкими металами служать стічні води гальванічних цехів підприємств гірничодобувної промисловості, чорної й кольорової металургії, машинобудівних заводів. Важкі метали входять до складу добрив і пестицидів і можуть потрапляти у водойми разом зі стоком із сільськогосподарських угідь.

Підвищення концентрації важких металів у природних водах часто пов'язане з іншими видами забруднення, наприклад, з закисленням. Випадання кислотних опадів сприяє зниженню рН і переходу металів із сорбованого (на мінеральних і органічних речовинах) стану у вільний.

Важкі метали, потрапляючи у воду, можуть бути у вигляді розчинних токсичних солей і комплексних сполук (іноді дуже стійких),

колоїдних частинок, опадів (вільних металів, оксидів, гідроксидів і ін.). Важкі метали у водоймі викликають цілу низку негативних наслідків: потрапляючи в харчові ланцюги й порушуючи елементний склад біологічних тканин, вони надають тим самим прямий або непрямий токсичний вплив на водні організми. Важкі метали по харчових ланцюгах потрапляють в організм людини.

Важкі метали за характером біологічної дії можна поділити на токсиканти й мікроелементи, які мають принципово різний характер впливу на живі організми. Характер залежності ефекту, що чиниться елементом на організми, залежить від його концентрації у воді (і, отже, як правило, у тканинах організму).

Токсиканти мають негативний вплив на організми за будь-якої концентрації, у той час як мікроелементи мають область недостатності, що викликає негативний ефект (менше C_1), й область необхідних для життя концентрацій, у разі перевищення яких знову виникає негативний ефект (більше C_2). Типовими токсикантами є кадмій, свинець, ртуть; мікроелементами — марганець, мідь, кобальт.

В організм водних тварин метали потрапляють в основному з їжею. Для водних рослин — через поверхню, шляхом безпосереднього проникнення в тканини. Токсичність металів залежить від концентрації, тривалості дії, температури, насиченості води киснем і інших чинників. Особливості токсичної дії металів полягають у їх універсальному впливі на живі організми як загальноплазматичних отрут і здатності до утворення комплексів із компонентами клітин, білків, амінокислот і інших радикалів. Дія важких металів обумовлена денатурувальним ефектом на тканини, клітини, білки, що полягає в порушенні структури колоїдних систем, осадженні білків, у зв'язуванні і блокуванні активних центрів ферментів. У результаті отруєння важкими металами порушується проникність оболонок клітин крові. Це доведено на прикладі дії свинцю, у разі отруєння яким еритроцити стають проникні для калію. Утворені через потрапляння в організм важко розчинні гідроксиди, фосфати, альбумінати або стійкі комплекси з важкими металами погано всмоктуються зі шлунково-кишкового тракту і здатні відкладатися в органах і тканинах, вибірково накопичуючись у них. Наприклад, у нирках відзначено високий вміст ртуті, в еритроцитах — свинцю, хрому, миш'яку й селену. В іонізованому стані метали переважно депонуються в кістковій тканині (кадмій викликає викривлення й деформацію кісток, що супроводжуються сильними болями).

3.2.2 Методи визначення забруднюючих речовин в гідросфері

Об'єктами аналізу води є атмосферні опади, природні (поверхневі, підземні, морські, океанічні), питні, стічні і технічні води. Аналіз води проводиться з метою визначення рівня забруднення, ідентифікації забруднюючих речовин та джерел їх надходження; дослідження процесів формування хімічного складу природних вод та самоочищення водних об'єктів; визначення якості води та встановлення її відповідності гігієнічним, екологічним і технологічним нормам; контролю технологій очищення природних і стічних вод та оцінки їхньої ефективності; розширення наукових знань про природу побічних продуктів, що утворюються при обробленні води хлором, озоном, хлораминами тощо, про стан і перетворення забруднюючих речовин у природних водних середовищах. Аналіз води є важливою частиною системи державного моніторингу довкілля. Перелік показників, за якими проводиться аналіз води, його обсяг і періодичність визначаються програмою досліджень або відповідними нормативними документами, які регламентують вимоги до якості води через систему гранично-допустимих значень показників. Так, в Україні якість питної води нормує державний стандарт за 28-ма показниками; санітарні правила і норми визначають гранично-допустимі концентрації 56-ти компонентів у питній воді, 1400 – у поверхневих водах і 910 – у водах, що використовуються в рибному господарстві; у зворотних водах нормується викидання 155 забруднюючих речовин. Аналіз природних вод для визначення фізичних властивостей і хімічного складу проводять за показниками, перелік яких наведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Показники гідрохімічного та токсикологічного забруднення

Фізичні показники якості води	Загально-санітарні показники якості води	Специфічні показники якості води
Температура, °C	pH	Феноли, мг/дм ³
Запах, бали	Розчинний кисень, мг/дм ³	Нафтопродукти, мг/дм ³
Прозорість, см	ХСК, мгО/дм ³	Амінопродукти, мг/дм ³
Завислі речовини, мг/дм ³	Окислювальність	Нітропродукти, мг/дм ³
	перманганатна, мгО/дм ³	Фтор, мг/дм ³
	БСК ₅ , мгО ₂ /дм ³	СПАР, мг/дм ³
	БСК ₂₀ , мгО ₂ /дм ³	Хром ³⁺ , мг/дм ³
	Лужність, мг-екв./дм ³	Хром ⁶⁺ , мг/дм ³
Кольоровість, градуси	Аміак, мг/дм ³	Мідь, мг/дм ³
	Нітрити, мг/дм ³	Цинк, мг/дм ³
	Нітрати, мг/дм ³	Нікель, мг/дм ³
	Залізо загальне, мг/дм ³	Марганець, мг/дм ³

Продовження табл. 3.1

Мутність, мг/дм ³	Фосфати, мг/дм ³ Фосфор загальний, мг/дм ³ Загальна жорсткість, мг-екв./дм ³ Кальцій, мг/дм ³ Магній, мг/дм ³ Хлориди, мг/дм ³ Сульфати, мг/дм ³ Натрій, мг/дм ³ Калій, мг/дм ³ Кислотність, мг-екв./дм ³ Двооксид вуглецю, мг/дм ³ Кремній, мг/дм ³ Мінералізація (сума іонів), мг/дм ³ Сухий залишок, мг/дм ³	Алюміній, мг/дм ³ Кобальт, мг/дм ³ Кадмій, мг/дм ³ Ртуть, мг/дм ³ Фосфорорганічні інсектициди, мг/дм ³ Триазинові гербіциди, мг/дм ³ Хлорорганічні пестициди, мг/дм ³
------------------------------	---	--

Компоненти води можуть знаходитися у різних фазово-дисперсних (розчинні, нерозчинні, колоїдні, сорбовані на завислих частинках) і хімічних (іони, комплекси металів, сполуки елементів в різних ступенях окиснення) станах, їх концентрація змінюється в межах від 1 г/дм³ до $1 \cdot 10^{-9}$ г/дм³. Важливими елементами системи контролю забруднення води є гідробіологічний і мікробіологічний аналіз, біотестування, визначення загальних показників хімічного складу (мінералізації, окиснюваності, біологічного споживання кисню, загального органічного вуглецю тощо).

Для аналізу води використовують практично всі методи сучасної аналітичної хімії: титриметричні, фотометричні, кінетичні, флуоресцентні, електрохімічні, атомно-абсорбційні, атомно-емісійні із збудженням у плазмі, рентгенофлуоресцентні, мас-спектрометричні, хроматографічні (іонна, газова і рідинна хроматографія) з різними детекторами, зокрема й мас-спектрометричним, атомно-емісійним. Ці методи дозволяють визначати неорганічні та органічні компоненти в широкому інтервалі концентрацій, а також проводити ідентифікацію сполук у пробах води невідомого складу. Вибір методів аналізу води залежить від мети, оснащення лабораторій вимірювальним обладнанням, кваліфікації спеціалістів і наявності відповідних методик. Основні галузі застосування результатів аналізу води – охорона природних вод від забруднення і вичерпання, забезпечення населення якісною питною водою, використання водних ресурсів для задоволення потреб людини і різних галузей промисловості.

З метою регулювання забруднення поверхневих, підземних і морських вод та здійснення системи моніторингу вод в Україні використовуються наступні нормативно-правові документи:

- Водний кодекс України від 06.06.95 р. Стаття 21 «Державний моніторинг вод»;
- Закон України «Про загальнодержавну програму «Питна вода України» на 2006 – 2020 роки» від 03.03.2005 р. № 2455-IV, розділ 4;
- Постанова КМУ «Про затвердження Порядку здійснення державного моніторингу вод» від 20.07.96 р. № 815;
- Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения. СанПин № 4630-88, 1988 г.;
- Єдине міжвідомче керівництво по організації та здійсненню державного моніторингу вод від 24.10.2001 р. № 485;
- Порядок розроблення і затвердження нормативів гранично допустимого скидання забруднюючих речовин. Затверджено постановою КМУ «Про порядок розроблення і затвердження нормативів гранично допустимого скидання забруднюючих речовин та перелік забруднюючих речовин, скидання яких нормується» від 11.09.96 р. № 1100;
- Інструкція про порядок розробки та затвердження гранично допустимих скидів (ГДС) речовин в водні об'єкти із зворотніми водами. Затверджено наказом Міністерства охорони навколишнього природного середовища України від 15.12.94 р. № 116;
- Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями. – К.: СИМВОЛ-Т, 1998. 28 с.;
- Перечень рыбохозяйственных нормативов: предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. – М.: Изд-во ВНИРО, 1999. – 304 с.;
- ГОСТ 2874 – 82 Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством. Утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 18 октября 1982 г. № 3989;
- Державні санітарні правила та норми «Вода питна. Гігієнічні вимоги до якості води централізованого господарсько-питного водопостачання». Затверджено наказом Міністерства охорони здоров'я України від 23.12.96 р. № 383.

3.3 Хімічна екологія літосфери

3.3.1 Джерела забруднення літосфери

Ступінь застосування й переробки численних видів мінеральної сировини визначає прогрес і добробут суспільства. Основними сировинними ресурсами служать метали, вода, мінеральна й органічна сировина. Темпи експлуатації земних надр прискорюються з року в рік. За останні 100 років щорічне споживання вугілля, заліза, марганцю й нікелю збільшилося в 50–60 разів, вольфраму, алюмінію, молібдену й калію – у 200–1000 разів.

В останні роки зріс видобуток енергетичних ресурсів — нафти, природного газу.

Сучасна епоха характеризується всезростаючим споживанням мінерально-сировинних ресурсів. Тому виникає проблема більш раціонального використання мінеральних ресурсів, яку можна вирішити такими методами:

- нових високоефективних способів геологічної розвідки корисних копалин, ресурсозберігаючих методів видобутку;
- комплексне використання мінеральної сировини;
- скорочення втрат сировини на всіх етапах освоєння і використання запасів надр, особливо на стадіях збагачення й переробки сировини;
- створення нових речовин, органічний синтез мінеральної сировини.

Крім того, важлива роль у раціональному використанні природних ресурсів належить ресурсозберезувальним технологіям, що дозволяють забезпечити насамперед енергетичну ефективність — співвідношення між витраченою енергією й корисним продуктом, одержуваним за цими витратами. Основним принципом використання енергії має бути відповідність якості енергії поставленим завданням. Для обігріву осель можна використовувати сонячну енергію, енергію термальних джерел, вітру, що вже застосовується в деяких країнах.

У суспільстві майбутнього, в основі якого лежить розумне використання енергії та рециркуляції речовини, вторинне використання невідновних ресурсів, не повинно відбуватися перевищення порогу екологічної стійкості навколишнього середовища. Наприклад, значно простіше й дешевше запобігти потраплянню забруднюючих речовин у природне середовище, ніж намагатися очистити його від цього забруднення. Відходи виробництва, побуту, транспорту тощо можуть реально й потенційно використовуватися як продукти в інших галузях народного господарства або під час регенерації.

Шкідливі відходи повинні піддаватися нейтралізації, а невикористані вважаються непотребом. Основні види відходів діляться на побутові, відходи виробництва і виробничого споживання.

Побутові (комунальні) відходи — твердий (зокрема твердий складник стічних вод — їх осади) непотріб, який не утилізований у побуті, що утворюються в результаті амортизації предметів побуту й самого життя людей (включно лазні, пральні, їдальні, лікарні та ін.). Для знищення побутових відходів споруджують потужні сміттєспалювальні установки або заводи, які дають електроенергію або пар, що йдуть на обігрів підприємств і житла.

Відходи виробництва (промислові) — залишки сировини, матеріалів, напівфабрикатів, що утворилися в процесі виробництва продукції. Вони можуть бути безповоротними (випаровування, угар, усушка) і поворотними, що підлягають переробці. За даними зарубіжних джерел, у країнах ЄЕС 60 % побутових відходів піддається захороненню, 33 % спалюється і 7 % компостується, що ж стосується промислових і сільськогосподарських відходів, то понад 60 і 95 % відповідно піддаються інтенсивній переробці (рисунок 3.3).

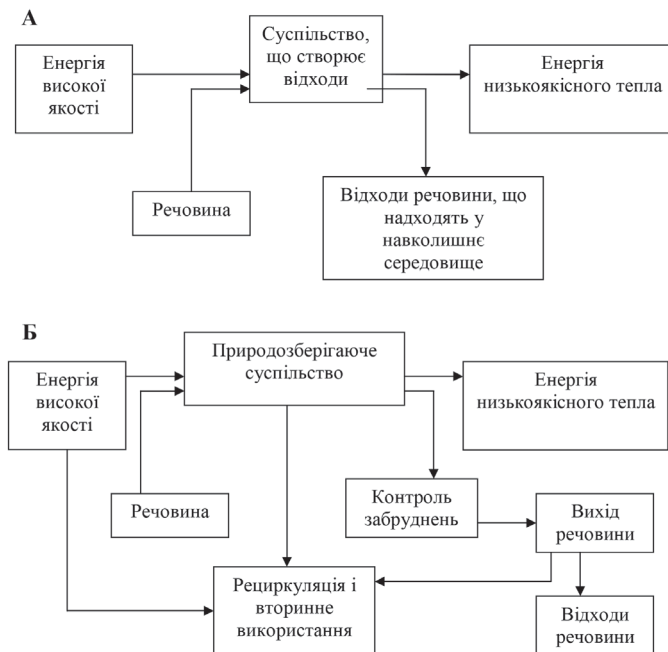


Рис. 3.3 — Моделі суспільства одноразового споживання, що створює відходи (А), і природозберігаючого суспільства (Б)

Відходи виробничого споживання — непридатні для подальшого використання машини, механізми, інструменти та ін. Вони можуть бути сільськогосподарськими, будівельними, виробничими, радіоактивними. Останні вельми небезпечні й потребують ретельного поховання або дезактивації.

В останні роки збільшилася кількість небезпечних (токсичних) відходів, здатних викликати отруєння чи інші ураження живих істот. Це насамперед не використані різні отрутохімікати в сільському господарстві, відходи промислових виробництв, що містять канцерогенні й мутагенні речовини.

На території багатьох країн є так звані «пастки», тобто давно забуті поховання небезпечних відходів, на яких згодом побудували житлові будинки та інші об'єкти, що дають про себе знати появою дивних захворювань місцевого населення. До таких «пасток» можна віднести й місця проведення ядерних випробувань у мирних цілях.

Найбільшій трансформації піддається поверхневий горизонт літосфери в межах суші. Земля займає 29,2 % поверхні земної кулі і включає землі різних категорій, з яких найважливіше значення має родючий ґрунт.

Для поліпшення ґрунту в цілях сільськогосподарського виробництва проводять систему заходів, звану **меліорацією**. До меліорації належать: осушення, зрошення, окультурення пусток, занедбаних земель і боліт. У результаті проведення меліорації втрачено особливо багато водно-болотних угідь, що сприяло процесу вимирання видів. Проведення заходів щодо докорінної меліорації часто призводить до зіткнення інтересів сільського господарства й охорони природи. Рішення про проведення меліорації має прийматися лише після складання комплексного екологічного обґрунтування й порівняння короткострокових вигод із довгостроковими економічними витратами й екологічним збитком. Меліорацію супроводжує так зване вторинне засолення ґрунтів, що відбувається внаслідок штучної зміни водно-солівого режиму, найчастіше в разі неправильного зрошення, рідше — через надмірний випас на луках, у разі неправильного регулювання паводків, неправильного осушення території тощо. **Засолення** — це накопичення в ґрунтах легкорозчинних солей. У природних умовах воно відбувається через випадання солей із засолених ґрунтових вод або у зв'язку з еоловим приносом солей із морів, океанів і з територій, де широко поширені солоні озера. На зрошуваних масивах істотним джерелом солей можуть бути зрошувальні води і випадання солей у ґрунтову товщу з мінералізованих ґрунтових вод, рівень яких у процесі зрошення часто піднімається. У разі недостатнього дренажу вторинне засолення може мати катастрофічні наслідки, оскільки великі

масиви земель стають непридатними для землеробства через велике накопичення солей у ґрунтах, що супроводжується забрудненням ґрунтів важкими металами, пестицидами, гербіцидами, нітратами, сполуками бору.

Пестицидами є хімічні речовини, що застосовуються для знищення тих чи інших шкідливих організмів. Залежно від напрямку використання вони поділяються на кілька груп.

1. Гербіциди (діурон, симазин, атразин, монурон і ін.), що використовуються для боротьби з бур'янами.

2. Альгіциди (сульфат міді та його комплекси з алканоамінами, акролеїн та його похідні) — для боротьби з водоростями та іншою водною рослинністю.

3. Арборіциди (каяфенон, кусагард, фанерон, ТХАН, трісбен, лонтрела та ін.) — для знищення небажаної деревної й чагарникової рослинності.

4. Фунгіциди (солі міді, цинеб, каптан, фталана, додін, хлорталоніл, беном, карбоксин) — для боротьби з грибковими хворобами рослин.

5. Бактерициди (стрептоміцин, бронопол, 2-трихлорметил-6-хлорпіридин і ін.) — для боротьби з бактеріями й бактеріальними хворобами.

6. Інсектициди (ДДТ, ліндан, дільрін, альдрин, хлорофос, діфос, карбофос та ін.) — для боротьби зі шкідливими комахами.

7. Акарициди (бромпропілат, дикофол, дінобутон, ДНОК, тетрадифон) — для боротьби з кліщами.

8. Зооциди (родентициди, ратицидів, авіциди, іхтіюциди) — для боротьби зі шкідливими хребетними — гризунами (миші й щури), птахами і смітцевою рибою.

9. Лімациди (метальдегід, метіокарб, тріфенморф, ніклосамід) — для боротьби з молюсками.

10. Нематоциди (ДД, ДДБ, трапекс, карбатіон, тіазон) — для боротьби з круглими хробаками.

11. Афіциди — для боротьби з попелицями.

До пестицидів належать також хімічні засоби стимулювання й гальмування росту рослин, препарати для видалення листя (дефоліанти) і підсушування рослин (десиканти).

Найбільшу групу речовин серед пестицидів як за масштабами практичного застосування (40–50 %), так і за асортиментом (40 %) складають гербіциди. За допомогою гербіцидів вдається за малих витрат і в порівняно короткий термін знизити забур'яненість полів на 70–95 %, що сприятливо впливає на режим поживних речовин у ґрунті, підвищує ефективність використання органічних і мінеральних добрив.

Застосування пестицидів у сільському господарстві сприяє підвищенню його продуктивності і зниженню втрат, однак пов'язане з можливістю залишкового потрапляння пестицидів у продукти харчування є екологічною небезпекою. Наприклад, накопичення пестицидів у ґрунті, потрапляння їх у ґрунтові та поверхневі води, порушення природних біоценозів, шкідливий вплив на здоров'я людей і фауну.

Найбільшу небезпеку становлять стійкі пестициди і їх метаболіти, здатні накопичуватися і зберігатися в природному середовищі до декількох десятків років. За певних умов із метаболітів пестицидів утворюються метаболіти другого порядку, роль, значення і вплив яких на навколишнє середовище в багатьох випадках залишаються невідомими. Наслідки надмірного застосування пестицидів можуть бути найнесподіванішими, а головне, біологічно непередбачуваними. Тому за асортиментом і технікою застосування пестицидів встановлений жорсткий контроль.

Пестициди вражають різні компоненти природних систем: зменшують біологічну продуктивність фітоценозів, видове різноманіття тваринного світу, знижують чисельність корисних комах і птахів, а в підсумку становлять небезпеку і для людини. Підраховано, що 98 % інсектицидів і фунгіцидів, 60–95 % гербіцидів не досягають об'єктів пригнічення, а потрапляють у повітря і воду. Зооциди створюють у ґрунті безжиттєве середовище.

Тому останнім часом найбільше застосування знаходять пестициди з низькими нормами витрати (5–50 г/га), поширення набувають безпечні синтетичні феромони й інші біологічні методи захисту.

Найбільше застосування до першої половини 90-х років знаходили пестициди групи органічних сполук: хлоровані вуглеводні (гексахлоран та ін.), дієни (альдрин, севин і ін.), складні ефіри фосфорних кислот карбаматів (карбін, тиллами та ін.), заміщені сечовини (фенурон, монурон і ін.).

Частина пестицидів випаровується, якась кількість їх піддається *фотолізу* (розкладання під дією ультрафіолету сонячних променів). Проникаючи в ґрунти, пестициди сорбуються органічними й мінеральними колоїдами; сорбція їх оборотна.

Основними ґрунтовими властивостями, що визначають їх поглинальну здатність, є вміст гумусу, гранулометричний і мінералогічний склад. Тому для отримання однакової гербіцидної дії на ґрунтах важкого складу потрібно більше препаратів, ніж на легких. Адсорбція гербіцидів ґрунтом значною мірою залежить також і від зовнішніх умов, таких як рН, температура, вологість. Так, сухий

грунт адсорбує більше токсикантів у порівнянні з вологим, водночас здатність до десорбції знижується. Вплив температури обумовлений тим, що адсорбція – це екзотермічний процес, тому за підвищення температури адсорбція зменшується. Величина рН може впливати на властивості пестицидів і їх сорбцію: підкислення середовища підвищує їх адсорбцію, а зменшення кислотності в процесі вапнування, навпаки, знижує.

Накопичення залишків пестицидів у ґрунті насамперед залежить від властивостей токсикантів. Найбільш стійкі – хлорорганічні сполуки і група дієнів. Вони зберігаються в ґрунті кілька років. Крім того, чим більше доза, тим довше зберігається токсикант. Фосфорорганічні сполуки й похідні карбамідної кислоти втрачають свою токсичність менше ніж за 3 місяці і в процесі розпаду не утворюють токсичних метаболітів, що робить ці сполуки кращими.

Надлишок токсикантів може мігрувати з низхідним гравітаційним потоком і потрапити в ґрунтові води. Накопичуючись у ґрунті, вони можуть передаватися по харчових ланцюгах і викликати захворювання тварин і людей.

На території України найбільше забруднення ґрунтів пестицидами зазначалося в західній частині Полісся, у Закарпатті, у Дністровсько-Дніпровській провінції і в Криму.

У разі внесення пестицидів авіаметодом можливе потрапляння їх у ґрунти на великих площах. Багато біоцидів та їх метаболіти виявляються там, де їх ніколи не застосовували (наприклад, в Антарктиді).

Процеси *природної детоксикації* йдуть активніше там, де найбільш інтенсивні перетворення й мінералізація органічних речовин.

Одна з основних умов охорони ґрунтів від забруднення пестицидами — створення й застосування менш токсичних і менш стійких сполук, а також зменшення їх доз внесення в ґрунти.

Повна детоксикація біоцидів відбувається лише в разі їх розпаду на нетоксичні компоненти. Цьому сприяють реакції окислення, відновлення й гідролізу. Найбільш активна роль у розкладанні належить мікроорганізмам, які використовують для своєї життєдіяльності вуглець, азот, фосфор, калій, що входять до складу пестицидів.

Охорона ґрунтів від надлишку токсичних речовин (в тому числі з добрив) повинна включати такий аспект, як *застосування гранулювання форм субстратів, комплексних форм сполук*; крім того, *необхідно використовувати правильні технології внесення добрив, дотримання правил зберігання та транспортування. Усе це оберігає ґрунти від надлишку агрохімікатів.*

Для підвищення врожайності культурних рослин у ґрунти вносять неорганічні й органічні речовини, звані **добривами**. У природному біоценозі панує природний кругообіг речовин: мінеральні речовини, що забираються рослинами з ґрунту, після відмирання рослин знову повертаються в нього. Якщо ж у результаті відчуження врожаю для власного споживання або на продаж система порушується, стає необхідним застосування добрив.

Добрива поділяють на мінеральні, здобуті з надр, промислово отримані хімічні сполуки, які містять основні елементи харчування (азот, фосфор, калій) і важливі для життєдіяльності мікроелементи (мідь, бор, марганець і ін.), а також органічні складники (перегній, гній, торф, птишиний послід, компости та ін.), що сприяють розвитку корисної мікрофлори ґрунту й підвищують її родючість.

Однак часто добрива вносять у кількостях, які не збалансовані зі споживанням сільськогосподарськими рослинами, тому вони стають потужними джерелами забруднення ґрунтів, сільськогосподарської продукції, ґрунтових вод, а також природних водойм, річок, атмосфери. Застосування надлишкових мінеральних добрив може мати такі негативні наслідки:

- зміна властивостей ґрунтів за тривалого внесення добрив;
- внесення великих кількостей азотних добрив призводить до забруднення ґрунтів, сільськогосподарської продукції та прісних вод нітратами, а атмосфери — оксидами азоту. Усе сказане стосується і фосфорних добрив;
- мінеральні добрива служать джерелом забруднення ґрунтів важкими металами. Найбільш забруднені важкими металами фосфорні добрива. Крім того, фосфорні добрива є джерелом забруднення іншими токсичними елементами — фтором, миш'яком, природними радіонуклідами (ураном, торієм, радієм). Значна кількість важких металів потрапляє в ґрунти і з органічними добривами (торфом, гноєм), через високі дози (у порівнянні з мінеральними) внесення.

Перевищення внесення добрив призводить до високого вмісту нітратів у питній воді та деяких культурах (коренеплодах і листових овочах). Самі собою нітрати порівняно нетоксичні. Однак бактерії, що мешкають в організмі людини, можуть перетворювати їх у набагато більш токсичні нітрити. Останні здатні реагувати в шлунку з амінами (наприклад, із сиру), утворюючи досить канцерогенні нітрозоаміни. Друга небезпека підвищених доз нітритів пов'язана з розвитком ціанозу (мет-гемоглобінемія немовляти, або синюшність) у грудних і маленьких дітей. Гранично допустимі кількості (ГДК) нітратів для людини, за рекомендацією ВАО, не повинні пе-

ревищувати 500 мг N-NO_3^- на добу. Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ) допускає вміст нітратів у продуктах до 300 мг на 1 кг сирової речовини.

Отже, надмірне залучення сполук азоту в біосферу вельми небезпечне. Щоби знизити негативні наслідки, доцільно використовувати спільне внесення органічних і мінеральних добрив (у разі зменшення норми мінеральних і збільшення частки органічних добрив). Необхідно забороняти внесення добрив до снігу, з літаків, скидати відходи тваринництва в навколишнє середовище. Доцільно розробляти форми азотних добрив із невеликою швидкістю розчинення.

Для запобігання забруднення ґрунтів і ландшафтів різними елементами, у результаті внесення добрив, слід застосовувати комплекс агротехнічних, агролісомеліоративних та гідротехнічних прийомів у поєднанні з інтенсифікацією природних механізмів очищення. До таких прийомів можна віднести полезахисну агротехніку, мінімальну обробку ґрунтів, вдосконалення асортименту засобів хімізації, мало- і мікрооб'ємні внесення добрив разом із насінням, оптимізацію строків і доз внесення. Крім того, цьому сприятиме створення агролісомеліоративних систем і організація системи хімічного контролю за складом мінеральних добрив, вмістом важких металів і токсичних сполук.

Загалом слід зазначити, що визначення вмісту забруднюючих речовин у компонентах довкілля та біоценозах екосистеми проводять за допомогою фізичних, фізико-хімічних та хімічних методів аналізу. Забрудненість, як результат взаємодії всіх абіотичних та біотичних процесів, які протікають у навколишньому середовищі внаслідок його антропогенного забруднення і характеризує ступінь небезпеки середовища мешкання для біотичної складової слід оцінювати за інтегральним показником – токсичністю.

3.3.2 Методи визначення забруднюючих речовин в літосфері

Ґрунти забруднюються різними хімічними речовинами, пестицидами, відходами сільського господарства, промислового виробництва і комунально-побутових підприємств.

Хімічні сполуки, що надходять у ґрунти, накопичуються та призводять до поступової зміни хімічних і фізичних властивостей ґрунту, знижують чисельність живих організмів, погіршують родючість.

Тож ґрунти є важливішим ресурсом для народного господарства. *Земельними ресурсами є всі землі, що використовуються або можуть використовуватися у народному господарстві.*

Земельний фонд країни або якої-небудь території являє собою всю земельну площу, включаючи внутрішні води.

Структура земельного фонду:

- сільськогосподарські угіддя, у тому числі рілля, багаторічні насадження, сіножаті та пасовища;
- ліси та інші лісовкриті площі;
- забудовані землі (житловою забудовою, промисловими об'єктами тощо);
- відкриті заболочені землі, відкриті землі без рослинного покриву або з незначним рослинним покривом (піски, яри, землі, зайняті зсувами, щебенем, галькою, голими скелями тощо).

Проблема забруднення та деградації ґрунтового покриву дуже актуальна для України у зв'язку з існуванням розвиненого сільського господарства. Земельний фонд України становить 60,4 млн га. Сільськогосподарські землі займають 72 % території, з них сільськогосподарські угіддя — 69,3, в тому числі рілля — 54,4, перелоги — 0,4, багаторічні насадження — 1,6, сіножаті — 3,8, пасовища — 9,1 %. Лісові та інші насадження займають 17,2, заболочені землі — 1,6, відкриті землі без рослинного покриву — 1,8, землі, вкриті водою — 4,0 %.

Найбільш важливими проблемами, які впливають на загальний стан земельних ресурсів в Україні, є:

- великий ступінь розорювання земель;
- низький рівень лісистості;
- відносно мала загальна площа природно-заповідного фонду;
- розвиток ендегенних та екзогенних геологічних процесів;
- деградація ґрунтового покриву внаслідок ерозії ґрунтів, збіднення його гумусом та поживними речовинами;
- руйнування ґрунтів внаслідок підтоплення та господарської діяльності;
- хімічне та бактеріологічне забруднення ґрунтів різного призначення;
- засоленість зрошуваних земель.

Розглянемо деякі визначення, які стосуються забруднення ґрунтів.

***Хімічне забруднення ґрунтів** — зміна хімічного складу ґрунту в результаті антропогенної діяльності, здатна викликати погіршення його якості. Зміна хімічного складу обумовлена не тільки появою нових хімічних речовин, яких немає у незабрудненому природному ґрунті, але і збільшенням вмісту речовин, які характерні для складу цього незабрудненого природного ґрунту.*

• **Контроль хімічного забруднення ґрунту** — перевірка відповідності хімічного забруднення ґрунту встановленим нормам і вимогам.

• **Забрудненість ґрунтів хімічною речовиною** – величина, що характеризує ступінь змін хімічного складу ґрунтів.

• **Якість ґрунтів** – характеристика складу та властивостей ґрунтів, що визначає їх родючість.

• **Забруднююча ґрунти хімічна речовина** – хімічна речовина, яка надходить до ґрунту в результаті антропогенної діяльності, здатна спричинити несприятливий вплив на якість ґрунтів та рослинності.

• **Забруднююча ґрунти пріоритетна речовина** – забруднююча ґрунти хімічна речовина, яка підлягає спостереженню у першу чергу.

• **Поверхнева щільність хімічного забруднення ґрунтів** – маса забруднюючої ґрунт хімічної речовини в шарі заданої глибини, що віднесена до одиниці поверхні ґрунту.

• **Самоочищення ґрунту** – зменшення кількості забруднюючої ґрунт хімічної речовини в результаті процесів, що відбуваються у ґрунті: міграції, перетворення, розкладання.

• **Час самоочищення ґрунту** – інтервал часу, за який відбувається зменшення масової долі забруднюючої ґрунт хімічної речовини на 96 % від первинного значення або до його фонового вмісту.

• **Міграція забруднюючої ґрунт хімічної речовини** – горизонтальні та (або) вертикальні переміщення забруднюючої хімічної речовини у ґрунті та (або) з нього в інші об'єкти природного середовища і навпаки.

Охороні ґрунтів від забруднення підлягають ґрунти сільськогосподарських та лісових угідь, включаючи рілля, пасовиська, сінокоси, ґрунти під багаторічними насадженнями, а також ґрунти заповідників, національних природних парків, зон рекреації, населених пунктів.

Охорона ґрунтів від забруднення повинна здійснюватися з урахуванням наступних вимог:

визначення норм, термінів та техніки внесення добрив, хімічних меліорантів та інших засобів хімізації з урахуванням даних агрохімічного обстеження ґрунтів, прогнозів появи шкідників та хвороб, фактичного засмічення посіву;

- використання відходів промисловості та житлово-комунального господарства як добрива та хімічних меліорантів після детального вивчення їх хімічного складу, не допускаючи внесення у ґрунти відходів, що містять важкі метали та інші токсичні елементи і сполуки;
- включення до проектів на нові підприємства та технологічні лінії очисних споруд від усіх компонентів, що забруднюють ґрунт;
- здійснення заходів щодо запобігання забруднення ґрунтів відходами та осадами стічних вод;

- транспортування та зберігання пестицидів у відповідності до встановлених вимог.

Основними критеріями, що використовуються для оцінки ступеня забруднення ґрунтів, повинні бути гранично допустимі концентрації (ГДК) та орієнтовно допустимі концентрації (ОДК) хімічних речовин у ґрунті згідно з ГОСТ 17.4.1.03-84, нормативи допустимих концентрацій забруднюючих речовин у суміжних природних середовищах та сільськогосподарській продукції, показники санітарного стану ґрунтів згідно з ГОСТ 17.4.2.01-81.

До категорії забруднених слід відносити ґрунти, в яких кількість забруднюючих речовин знаходиться на рівні або вище гранично допустимих концентрацій.

Класифікацію ґрунтів за ступенем забрудненості здійснюють шляхом порівняння фактичних концентрацій хімічних речовин у ґрунтах з їх ГДК.

За ступенем забрудненості ґрунти слід поділяти на:

- сильно забруднені – ґрунти, які містять забруднюючі речовини, концентрація яких у декілька разів перевищує ГДК. Такі ґрунти під впливом хімічного забруднення мають низьку біологічну продуктивність, істотну зміну фізико-механічних, хімічних та біологічних характеристик;
- середньо забруднені – ґрунти, в яких встановлено незначне перевищення ГДК без видимих змін у властивостях ґрунтів;
- слабо забруднені – ґрунти, які містять хімічні речовини у концентраціях, не перевищуючих ГДК, але більше природного фону.

Ступінь стійкості ґрунту до хімічних забруднюючих речовин оцінюють по відношенню до конкретної хімічної забруднюючої речовини або до групи речовин, якими забруднений ґрунт. При цьому слід відрізняти

- геохімічно активні речовини, які створюють кислотно-лужні та окислювально-відновлювальні умови у ґрунтах та впливають таким чином на загальну ґрунтово-геохімічну обстановку. Це здебільшого мікроелементи та їх сполуки;
- біохімічно активні речовини, що впливають, у першу чергу, на організми (мікрофлору, рослин, тварин);
- речовини, що здатні знаходитися у ґрунтах у таких формах, які ведуть до їх міграції у атмосферне повітря, рослинність, поверхневі, ґрунтові та підземні води.

За ступенем стійкості до хімічних забруднюючих речовин та за характером відповідних реакцій ґрунти слід поділяти на дуже стійкі, середньо стійкі та малостійкі.

Ступінь стійкості ґрунту до хімічних забруднюючих речовин характеризується наступними основними показниками:

- гумусним станом ґрунтів;
- кислотно-лужними властивостями;
- окислювально-відновлювальними властивостями;
- катіоно-обмінними властивостями;
- біологічною активністю.

При оцінці стійкості ґрунтів до хімічних забруднюючих речовин необхідно враховувати наступні показники:

- показники, що характеризують сезонні або короткотермінові (2–5 років) зміни властивостей ґрунтів та необхідні для оцінки поточного стану ґрунтового покриву у зв'язку з прогнозуванням урожайності та рекомендаціями щодо сезонного внесення добрив і пестицидів, зрошування та іншим заходам збільшення врожаю. Короткотермінові зміни властивостей ґрунтів діагностуються згідно з динамікою вологості, величиною рН, складом ґрунтових розчинів, активністю процесів дихання ґрунтів, вмістом доступних рослинам живильних речовин;
- показники довгострокових змін, що проявляються протягом 5–10 років і більше, які відображають несприятливі тенденції зміни властивостей ґрунтів внаслідок забруднення. Вони включають періодичні зміни вмісту та запасу гумусу, відношення вуглецю гумінових кислот до вуглецю фульвокислот, ерозійні втрати ґрунту, структурний стан, склад обмінних катіонів, загальну лужність, кислотність, вміст солей;
- показники ранньої діагностики розвитку (появи) несприятливих змін властивостей ґрунтів придатні для біологічних тестів, мікроморфологічних спостережень, аналізів водного, сольового, окислювально-відновлювального та кислотно-лужного режимів ґрунтів.

ґрунти, віднесені до категорії забруднених, мають знаходитися під постійним контролем внутрішньовідомчих та державних служб контролю.

Особливу увагу слід приділяти ґрунтам, що прилягають до підприємств та об'єктів промисловості, житлово-комунального та сільського господарства, транспорту, які за характером своєї діяльності можуть забруднити ґрунти внаслідок здійснення викидів, скидів, утворення відходів та скидів стічних вод.

При проведенні контролю за забрудненням ґрунтів слід враховувати клас небезпеки хімічних речовин, ступінь небезпеки патогенних та умовно-патогенних організмів та дотримуватися наступних вимог:

- використовувати фізико-хімічні та біологічні методи, що дозволяють отримати якісну та кількісну інформацію щодо вмісту забруднюючих речовин у ґрунті;
- реєструвати у журналах якісний та кількісний склад, об'єми та дати викидів, скидів, утворення відходів та ін.; використання засобів хімізації із зазначенням об'єму та асортименту фактично використаних хімічних речовин, розмірів території, що обробляється, способів та дати їх внесення;
- визначати кількість забруднюючих речовин, що здатні надавати ґрунтам фітотоксичні властивості, а також спричиняти негативну дію на якість ґрунтів та рослинної продукції.

3.4 Стандарти якості навколишнього середовища

Стандарти якості навколишнього середовища — це сукупність єдиних вимог до стану природних і промислових об'єктів. У них передбачені заходи, що дозволяють забезпечити оптимальний стан навколишнього середовища, його якість, які складаються з технічних, економічних, організаційних норм, що визначають якісні параметри навколишнього середовища.

Критеріями оцінки стану навколишнього середовища служать показники природного не порушеного стану природних комплексів або фонові параметри середовища. Нормативні показники, що характеризують міру можливого впливу на природу, встановлюють на основі спеціальних досліджень або в результаті експертних оцінок. Виключити потрапляння шкідливих речовин у навколишнє середовище з огляду на економічні і технологічні причини неможливо, тому доводиться вводити норми гранично допустимих концентрацій (ГДК) шкідливих речовин. Усі нинішні норми ГДК є компромісом між допустимим і реально наявним рівнем забруднення атмосфери, гідросфери та літосфери. Нормативні показники, що використовуються для моніторингу, діляться на дві основні групи: санітарно-гігієнічні та екологічні.

Санітарно-гігієнічні показники встановлюються з огляду на вимоги екологічної безпеки населення, але вони не враховують реакції інших організмів на забруднення. Тому для оцінки стану природного середовища використовують також екологічні критерії, які розглядаються як міра антропогенного впливу на екосистеми й ландшафти. До них належать індикатори стану повітря, вод, ґрунтів і біогеоценотичного покриття загалом, а також важливе місце займають

біоіндикатори. Поєднання різноманітних критеріїв дає можливість отримати комплексну оцінку екологічної ситуації. Є багато підходів до вирішення цього завдання, але, загалом, пошук комплексних показників стану навколишнього середовища залишається складним і до кінця невирішеним завданням.

Екологічне нормування передбачає врахування так званого допустимого навантаження на екосистему. **Допустимим** вважається таке навантаження, під впливом якого відхилення від нормального стану системи не перевищує природних змін і, отже, не викликає небажаних наслідків у живих організмів і не веде до погіршення якості середовища. До теперішнього часу відомі лише деякі спроби обліку навантаження для рослин суші і для спільнот водойм рибогосподарського призначення.

Як екологічне, так і санітарно-гігієнічне нормування ґрунтується на знанні ефектів, що надаються різноманітними чинниками впливу на живі організми. Одним із важливих понять у токсикології й у нормуванні є поняття шкідливої речовини. У спеціальній літературі прийнято називати **шкідливими** всі речовини, вплив яких на біологічні системи може призвести до негативних наслідків. Крім того, як правило, усі **ксенобіотики** (чужорідні для живих організмів, штучно синтезовані речовини) розглядають як шкідливі.

Встановлення нормативів якості навколишнього середовища і продуктів харчування ґрунтується на концепції порогового впливу. **Поріг шкідливої дії** — це мінімальна доза речовини, у разі впливу якої в організмі виникають зміни, що виходять за межі фізіологічних і пристосувальних реакцій, або прихована (тимчасово компенсована) патологія. Отже, гранична доза речовини (або порогова дія взагалі) викликає в біологічного організму відгук, який не може бути компенсованим завдяки гомеостатичним механізмам (механізмам підтримки внутрішньої рівноваги організму).

Нормативи, що обмежують шкідливий вплив, встановлюються й затверджуються спеціально уповноваженими державними органами в галузі охорони навколишнього природного середовища, санітарно-епідеміологічного нагляду і вдосконалюються за мірою розвитку науки й техніки з урахуванням міжнародних стандартів. В основі санітарно-гігієнічного нормування лежить поняття гранично допустимої концентрації.

Гранично допустимі концентрації (ГДК) — нормативи, що встановлюють концентрації шкідливої речовини в одиниці об'єму (повітря, води), маси (харчових продуктів, ґрунту) або поверхні (шкіра працюючих), які в разі впливу за певний проміжок часу практично

не впливають на здоров'я людини й не викликають несприятливих наслідків у її потомства.

Для речовин, про дію яких не накопичено достатньої інформації, можуть встановлюватися **тимчасово допустимі концентрації (ТДК)** — отримані розрахунковим шляхом нормативи, рекомендовані для використання строком на 2–3 роки.

У публікаціях іноді трапляються й інші характеристики забруднюючих речовин. Під **токсичністю** розуміють здатність речовин викликати порушення фізіологічних функцій організму, що так само призводить до захворювань (інтоксикацій, отруень) або, у важких випадках, до загибелі. Фактично токсичність — міра несумісності речовини з життям.

Санітарно-гігієнічні та екологічні нормативи визначають якість навколишнього середовища щодо здоров'я людини і стану екосистем, але не вказують на джерело впливу й не регулюють його діяльність. Вимоги, що пред'являються власне до джерел впливу, відображають **науково-технічні нормативи**. До таких належать нормативи викидів і скидів шкідливих речовин (ГДВ та ГДС), а також технологічні, будівельні, містобудівні норми і правила, що містять вимоги з охорони навколишнього природного середовища. В основу встановлення науково-технічних нормативів покладено такий принцип: за умови дотримання цих нормативів підприємствами регіону вміст будь-якої домішки у воді, повітрі та ґрунті має задовольняти вимогам санітарно-гігієнічного нормування.

Науково-технічне нормування передбачає введення обмежень діяльності господарських об'єктів щодо забруднення навколишнього середовища, іншими словами, визначає гранично допустимі потоки шкідливих речовин, які можуть надходити від джерел впливу в повітря, воду, ґрунти. Отже, від підприємств потрібно не власне забезпечення тих чи інших ГДК, а дотримання меж викидів і скидів шкідливих речовин, встановлених для об'єкта загалом або для конкретних джерел, що входять до його складу. Зафіксоване перевищення величин ГДК у навколишньому середовищі само собою не є порушенням із боку підприємства, хоча, як правило, служить сигналом невиконання встановлених науково-технічних нормативів (або свідченням необхідності їх перегляду).

3.4.1 Нормування атмосферних забруднень

Відповідно до ДСП-201-97, забрудненням атмосфери називається зміна складу атмосфери в результаті наявності в ній домішок. Забруднення, зумовлене діяльністю людини, називається антропогенним за-

брудненням. Під **домішкою** той же ДСП розуміє розсіяну в атмосфері речовину, що не міститься в її постійному складі. Отже, до домішок можуть ставитися не тільки токсичні, але й нетоксичні речовини.

Для кожної речовини, забруднюючої атмосферне повітря, встановлені два нормативи:

1) максимальна разова гранично допустима концентрація за 20 хвилин вимірювання (осереднення) — $ГДК_{м.р.}$, мг/м³;

2) середньодобова гранично допустима концентрація, осереднена за тривалий проміжок часу (аж до року) — $ГДК_{с.с.}$, мг/м³.

ГДК шкідливої речовини в атмосфері — це максимальна концентрація, віднесена до певного періоду осереднення (20–30 хвилин, 24 години, місяць, рік), яка не робить ні прямого, ні шкідливого непрямого впливу на людину й санітарно-гігієнічні умови життя.

Під час дії на організм одночасно декількох шкідливих речовин, що володіють сумарною дією, сума відносин фактичних концентрацій кожної речовини ($C_1, C_2, \dots, C_n$) у повітрі і його гранично допустимої концентрації ($ПДК_1, ПДК_2, \dots, ПДК_n$) не повинна перевищувати одиницю: $C_1/ПДК_1 + C_2/ПДК_2 + \dots + C_n/ПДК_n \leq 1$.

Гігієнічне нормування стикається із суттєвими труднощами організаційного, технічного і фізіологічного характеру. Екологічна ніша людини незмінна, тому умови — концентрація забруднюючої речовини повинна бути менше або дорівнювати ГДК — необхідно дотримуватися в будь-яких місцях перебування людини. Це означає, що для кожної шкідливої речовини встановлюється декілька максимальних разових гранично допустимих концентрацій у повітряному середовищі.

Поряд із гранично допустимими концентраціями бувають тимчасово допустимі концентрації (ТДК), інакше звані орієнтовно безпечними рівнями впливу (ОБРВ). Гранично допустимі концентрації встановлюються на основі експериментів із піддослідними тваринами, що вимагає досить тривалого часу. На першому етапі встановлення ГДК визначаються основні токсикометричні характеристики досліджуваних речовин, і фактично встановлені в результаті експериментів нормативи вважаються тимчасово допустимими концентраціями. На другому етапі ці дослідження тривають і носять характер перевірки, а на третьому — здійснюються клініко-статистичні дослідження працюючих протягом трьох років для перевірки правильності отриманих в експериментах на тваринах значень. Тільки після другого етапу отримані нормативи можуть бути затверджені як ГДК.

Для регулювання якості навколишнього середовища введений і строго контролюється **гранично допустимий викид (ГДВ)**, який є

науково обґрунтованою технічною нормою викиду шкідливих речовин із промислових джерел в атмосферу, яка визначається на основі різних параметрів джерел, властивостей речовин, що викидаються, й атмосферних умов.

3.4.2 Нормування забруднюючих речовин у водних об'єктах

У нашій країні за основу прийняті «природні» нормативи якості води (тобто базуються на біологічній оцінці ступеня шкідливості нормованої речовини як у разі розробки санітарно-гігієнічних норм, так і рибогосподарських нормативів). Це є великим кроком у порівнянні з «технічними» нормативами, так званими «standards», прийнятими за основу в США. В останні роки там з'явилися й біологічні нормативи «criteria», але вони не є обов'язковими. Технічні нормативи визначаються можливостями наявних методів оцінки стічних вод, і вони більш практичні. Біологічні нормативи, зі свого боку, дають можливість оцінювати реальний стан водних екосистем і застосовувати більш ефективні методи ліквідації забруднень.

Забрудненням водойм називається будь-який негативний вплив (порушення або погіршення умов водокористування), викликаний надходженням або появою у водоймі речовин, пов'язаних прямо чи побічно з діяльністю людини. Розрізняють три види забруднень:

1) первинне забруднення — викликане надходженням забруднюючих речовин і процесами безпосереднього їх перетворення. У циклі первинного забруднення можуть з'являтися вторинні й наступні забруднюючі речовини;

2) вторинне забруднення — розвивається як наслідок первинного забруднення і являє собою новий цикл забруднення;

3) повторне забруднення — викликане повторним винесенням забруднюючих речовин унаслідок первинного забруднення. Наприклад, винос осілих на дно або вмерзнувших у лід нафтопродуктів під час паводка або танення льоду.

Джерела забруднення водних об'єктів можуть бути організованими, з локалізованим місцем надходження і пристроями для скидання (господарсько-побутові стоки, промислові стічні води); неорганізованими, що не мають локалізованого місця скидання і пристроїв або пристосувань для скидання (лісосплави, змиви добрив із полів, замети пестицидів у процесі авіаобробки).

За часом дії забруднення водойм може бути постійним (що надходять протягом усієї вегетаційної частини року), періодичним (водоймище не встигає відновлювати свої властивості в проміжках між

надходженням забруднюючих речовин) і разовим (водоймище встигає відновлюватися).

Інтенсивність прямої дії забруднюючих речовин оцінюється такими параметрами:

- гостролетальними концентраціями, що викликають загибель живих організмів протягом декількох годин до 10 діб;
- хронічними летальними концентраціями, що викликають загибель живих організмів у більш тривалі терміни;
- сублетальними концентраціями (пригнічують), такими, що порушують основні життєві функції — зростання, розмноження, обмін речовин;
- стимулюючими концентраціями;
- не чинними концентраціями.

Характер впливу забруднюючих речовин на водойми і водні організми поділяється на три основні групи, які прийнято називати лімітувальними показниками шкідливості (ЛПШ).

1. Загальносанітарний ЛПШ. Включає в себе зміну трофності водойм, зниження концентрації розчиненого кисню, зміну солоності й температури середовища, механічне забруднення твердими й рідкими речовинами.

2. Токсикологічний ЛПШ. Відображає пряму токсичну дію речовин на водні організми.

3. Господарський (рибогосподарський) ЛПШ. Показує псування товарної якості промислових водних організмів.

Є дві групи нормативів для забруднюючих речовин, що надходять у водне середовище.

1. Нормативи надходження забруднюючих речовин, згідно з якими зберігаються охоронювані цими нормативами властивості водойм і їх мешканців, — **гранично допустимий скид (ГДС)**.

2. Нормативи вмісту, згідно з якими охоронювані властивості водойми не порушуються, — **гранично допустима концентрація (ГДК)**.

ГДК встановлюється за найменшою граничною концентрацією з урахуванням таких сторін дії: стабільності шкідливих речовин у воді, впливу їх на санітарний режим (здатність до самоочищення) водойм, впливу на органолептичні властивості води, вплив на здоров'я населення, що використовує воду. Зазначені показники належать до ГДК_в і вважаються санітарно-гігієнічними. Є ще один вид ГДК, що відображає не тільки санітарно-гігієнічні вимоги до якості води, але й екологічні — ГДК_{р.в.} (рибогосподарських водойм).

Рибогосподарська ГДК — це така максимальна концентрація забруднюючої речовини, за постійної наявності якої у водоймі не спо-

стерігається негативних наслідків для рибогосподарського використання водойми. Слід враховувати, що забруднюючі речовини у водоймах не завжди присутні постійно. У цьому випадку використовують значення гранично допустимих разових концентрацій (ГДРК). Це така максимальна спочатку створена у водоймі концентрація одноразово потрапленої туди речовини, за якої ця речовина і шкідливі продукти її розпаду не викликають негативних наслідків для рибогосподарського використання водойми.

Рибогосподарське нормування включає в себе такі аспекти — оцінки впливу речовини на гідрохімічний режим водойми (концентрація розчиненого у воді кисню, окислюваність за Кубелем, $\text{БСК}_{5\text{ і }20'}$ зміна вмісту трьох форм азоту — іонів амонію, нітритів та нітратів), на кормову базу риб (водорості, зоопланктон і бентос), на мікроорганізми, на зростання й розвиток риби (ікру, молодь і дорослих особин), її товарні якості, а також оцінку швидкості руйнування забруднюючої речовини.

Гранично допустима концентрація речовини у воді встановлюється: *для господарсько-питного й культурно-побутового водокористування* ($\text{ГДК}_\text{в}$) з урахуванням трьох показників шкідливості:

- органолептичного;
- загальносанітарного;
- санітарно-токсикологічного;

для рибогосподарського водокористування ($\text{ГДК}_\text{вр}$) з урахуванням п'яти показників шкідливості:

- органолептичного;
- санітарного;
- санітарно-токсикологічного;
- токсикологічного;
- рибогосподарського.

Органолептичний показник шкідливості характеризує здатність речовини змінювати органолептичні властивості води. **Загальносанітарний** — визначає вплив речовини на процеси природного самоочищення вод за допомогою біохімічних та хімічних реакцій за участю природної мікрофлори. **Санітарно-токсикологічний** показник характеризує шкідливий вплив на організм людини, а **токсикологічний** — показує токсичність речовини для живих організмів, що населяють водний об'єкт. **Рибогосподарський** показник шкідливості визначає псування якостей промислових риб.

Найменша з нешкідливих концентрацій за трьома (п'ятьма) показниками шкідливості приймається за ГДК із зазначенням лімітуючого показника шкідливості.

Рибогосподарські ГДК повинні задовольняти низці умов, за яких не повинні спостерігатися:

- загибель риб і кормових організмів для риб;
- поступове зникнення видів риб і кормових організмів;
- погіршення товарних якостей риби, що мешкає у водному об'єкті;
- заміна цінних видів риб на малоцінні.

За ступенем небезпеки забруднюючих речовин для ГДК_{Р.В.} поділяються:

1) особливо небезпечні (ГДК із вмістом забруднюючих речовин менше 0,0001 мг/л), що передбачають відсутність шкідливої речовини у воді;

2) небезпечні (токсичні, але стабільні), лімітується за ГДК;

3) токсичні (стабільні й не накопичуються);

4) екологічні, лімітується за загальносанітарним ЛПШ.

Другим нормованим показником, використовуваним для охорони водного середовища від забруднень, є гранично допустимий скид (ГДС). Відповідно до ДСТУ, під гранично допустимим скидом речовин у водний об'єкт розуміється маса речовини в стічних водах, максимально допустима до відведення зі встановленим режимом у даному пункті водного об'єкта в одиницю часу для забезпечення норм якості води в контрольному пункті.

ГДС встановлюється з урахуванням ГДК речовин у місцях водокористування, асиміляційної здатності водного об'єкта та оптимального розподілу маси речовин, що скидаються між водокористувачами, які скидають стічні води. У разі скидання речовин з однаковими ГДК ГДС встановлюється так, щоби з урахуванням домішок, які надійшли у водойму або водостік від вище розташованих випусків, сума відносин концентрацій кожної речовини у водному об'єкті до відповідних ГДК не перевищувала одиниці.

Проекти ГДС розробляються й затверджуються для підприємств і організацій, що мають (або проєктують) самостійні випуски стічних вод у водні об'єкти, насамперед в зонах підвищеного забруднення для дотримання ГДК у контрольних створах водокористування. Величини ГДС дійсні тільки на встановлений період, після чого підлягають перегляду.

3.4.3 Нормування вмісту шкідливих речовин у ґрунті

Завданням екологічного моніторингу є оцінка стану навколишнього середовища на основі регулярного спостереження. «Ціною» в таких умовах є нормативи якості навколишнього середовища. Мета екологічного нормування — збереження екосистеми, її струк-

тури і функціонування. Підходи до оцінки якості навколишнього середовища (в тому числі ґрунтів) різняться. Одні мають чітку антропоцентристську спрямованість, тобто за «нормальне» приймається середовище, що забезпечує необхідну якість життя людини. Згідно з екосистемним підходом, «нормальною» слід вважати таку екосистему, у якій значущі антропогенні порушення відсутні у всіх ланках екосистеми. Це є гарантією забезпечення збереження живих організмів і життя людини. Санітарно-гігієнічне нормування стану ґрунтів — яскравий приклад антропоцентристського підходу, екологічне нормування — приклад екосистемного підходу.

Контроль за санітарним станом ґрунту включає проведення санітарно-фізико-хімічних, санітарно-ентомологічних, санітарно-гельмінтологічних, санітарно-бактеріологічних і вірусологічних досліджень.

Практичне визначення ГДК хімічних речовин у ґрунтах та інших природних середовищах проводиться в лабораторних умовах шляхом виявлення взаємозв'язку між станом живих організмів і вмістом хімічних речовин у навколишньому середовищі (воді, повітрі, їжі). Експеримент ведеться за типом: «доза-ефект», тобто простежується зміна стану дослідчених рослин і тварин за мінливого рівня змісту різних хімічних речовин у середовищі. Завжди є зона оптимального вмісту хімічних речовин у навколишньому середовищі, що забезпечує найбільш сприятливі умови для живих організмів. У разі відхилення від цієї оптимальної області вмісту хімічних речовин у сторону зниження вмісту цих речовин (недостатність елементів, збіднення ними середовища) або в бік підвищення (надмірність елементів, зокрема забруднення ними середовища) завжди спостерігається порушення й погіршення стану організмів, аж до їх загибелі.

Основним токсикологічним показником є загальний санітарний показник, для якого використовується параметр LD_{50} — доза хімічної речовини, яка викликає загибель 50 % піддослідних тварин. За півлетальної дози речовини в повітрі, яким дихають тварини, у воді та їжі, яку вони споживають, визначають допустимий для живих організмів вміст речовин відповідно у воді, повітрі, продуктах харчування.

Але з ґрунтом прямі контакти людини несуттєві або не мають місця взагалі. Контакт ґрунту з організмом людини відбувається опосередковано по ланцюжках: ґрунт — рослина — людина; ґрунт — рослина — тварина — людина; ґрунт — повітря — людина; ґрунт — вода — людина. Визначення ГДК хімічних речовин у ґрунтах фактично зводиться до експериментального визначення здатності цих речовин підтримувати допустиму для живих організмів концентрацію речовин у контактуючих із ґрунтом воді, повітрі, рослинах.

Саме тому ГДК хімічних речовин для ґрунтів встановлюється не тільки за загальносанітарним показником, як це прийнято для інших природних середовищ, а ще й за трьома іншими показниками: транслокаційному, міграційному водному й міграційному повітряному.

Транслокаційний показник визначають за здатністю ґрунтів забезпечувати вміст хімічних речовин на допустимому рівні в рослинах (тест-культурами служать редис, салат, горох, квасоля, капуста та ін.). Відповідно міграційний водний і міграційний повітряний — за здатністю забезпечувати вміст цих речовин у воді й у повітрі не вище ГДК. Як об'єкт лабораторного дослідження використовували зразок верхнього горизонту дерново-підзолистих ґрунтів.

Норматив для ґрунтів встановлюється за найменшим з усіх експериментально знайдених показників. Наприклад, для загального вмісту ванадію в ґрунті встановлено рівень ГДК, рівний 150 мг/кг, у той час як цьому рівню відповідає тільки загальносанітарний показник, а водний міграційний дорівнює 350 мг/кг ґрунту. ГДК вмісту рухомих сполук цинку в ґрунті вимірюється 23 мг/кг, цей рівень встановлено за загальносанітарним показником, водночас міграційний водневий показник дорівнює 200 мг/кг.

Рівні ГДК, встановлені за різними показниками, відображають як токсичність хімічних речовин, так і домінуючий механізм їх поширення в природних середовищах. Наприклад, для бенз(а)пірену і ртуті лімітувальним показником є загальносанітарний, для миш'яку — транслокаційний, для хлористого калію — водний, для сірководню — повітряний (табл. 3.2).

Таблиця 3.2

ГДК хімічних речовин у ґрунтах (мг / кг) і їх лімітувальні показники

Речовина	ГДК (загальний вміст)	Лімітувальний показник
Бенз (а) пірен	0,02	Загальносанітарний
Ксилол	0,3	Транслокаційний
Ртуть	2,1	Транслокаційний
Свинець	32	Загальносанітарний
Сірководень	0,4	Повітряний міграційний
Формальдегід	7,0	Повітряний міграційний
Стирол	0,1	Повітряний міграційний

Однак санітарно-гігієнічні нормативи якості ґрунтів не позбавлені недоліків:

- умови модельного експерименту визначення ГДК і природні умови різняться досить істотно;

- за встановленням ГДК моделюється дія на живі організми, як правило, одного чинника, у крайньому випадку двох або трьох. Але в реальних умовах організм піддається комплексному впливу низки чинників, спільна дія яких до уваги не береться;
- не враховуються генетичні наслідки, можливість збереження порушень у живих організмах під впливом хімічних речовин;
- багато поллютантів, наприклад, важкі метали, пестициди, володіють кумулятивним ефектом. Не враховується здатність хімічних речовин концентруватися в трофічному ланцюзі. Хімічні речовини концентруються в організмі людини в більшій мірі, ніж в організмі тварин, а ті, зі свого боку, більшою мірою, ніж у рослинах. А це означає, що в тих випадках, коли рівні ГДК хімічних речовин у нижчих ланках трофічного ланцюжка не досягнуті, не виключається можливість їх накопичення на більш високих рівнях;
- не враховується можливість трансформації хімічних речовин, їх накопичення на різних біогеохімічних бар'єрах;
- не враховується взаємодія хімічних речовин. При різних видах взаємодії (адитивність, антагонізм, синергізм) можливе утворення структур більш небезпечних, ніж вихідні сполуки.

Одним з етапів розв'язання проблеми екологічного нормування був підхід, який ґрунтується на визначенні допустимого навантаження на ґрунти з урахуванням їх буферних властивостей, що забезпечують здатність ґрунту обмежувати рухливість хімічних речовин, що надходять ззовні, здатність до самоочищення.

Однак розробити ГДК для кожного типу ґрунтів неможливо. Доцільна розробка нормативів хімічних речовин для ґрунтово-геохімічних асоціацій, об'єднаних спільністю основних фізико-хімічних властивостей, що визначають їх стійкість до хімічного забруднення.

У цей час у підходах до нормування вмісту хімічних елементів у ґрунтах усе більшого поширення набуває екосистемна спрямованість.

Початок екосистемному нормуванню покладено роботами за екологічною експертизою, основним завданням якої була оцінка конкретного виду техногенного впливу на стан навколишнього середовища в конкретному регіоні.

Сучасна концепція екологічного нормування спирається на екосистемний підхід. У цій концепції немає місця уявленням про гранично допустимі концентрації, про поріг у зміні стану організмів. В екосистемі порогів немає. Розглядається безпорогова модель. Головним є теза про те, що нормальним стан екосистеми може бути тіль-

ки в разі збереження цілісності екосистеми, за забезпеченістю збереження біогеохімічних циклів усіх хімічних елементів в екосистемі.

Екосистема — це складно організована система, яку можна уявити як поєднання щільно упакованих екологічних ніш. У разі ураження одних організмів, під час зниження активності їх діяльності ніші, що звільнилися, заповнюються більш толерантними видами. Це веде до згладжування ефекту впливу, до зняття порогів.

Екосистемне нормування не допускає не тільки патологічних, але й передпатологічних змін. Мета екосистемного нормування полягає в тому, щоби зберегти природу в такому стані, коли всі живі організми мають рівне право на існування. Такий підхід забезпечує збереження й людини (популяції, індивідуума) як компонента екосистеми. Людина відрізняється від інших організмів, зокрема, тим, що є кінцевим консументом у переважній кількості трофічних ланцюгів. Завдання полягає в тому, щоби перевірити, чи зберігається рівень вмісту цієї речовини за будь-якого антропогенного впливу на екосистеми в межах флуктуації його змісту в природних умовах або виходить за ці межі.

Для виявлення максимально допустимого впливу на екосистему потрібно насамперед серед усіх впливів виявити ті, які надають найбільш сильний негативний вплив на екосистему. Таким впливом, як правило, є хімічне забруднення.

Потрібно враховувати всі сили в екосистемі, які здатні компенсувати зовнішній техногенний вплив на неї. Під час оцінки його впливу застосовується принцип «слабкої ланки». Він ґрунтується на уявленнях про лімітувальні чинники в складній системі. Слід приділити увагу тим видам впливу, які можуть лімітувати розвиток екосистеми. Це означає, що навантаження, допустимі для найбільш уразливого компонента екосистеми, приймаються як допустимі для системи загалом. Але екологічні нормативи повинні бути диференційовані, що досягається регіональним або басейновим підходом у разі отримання його показників.

У контексті екосистемного підходу потрібно брати до уваги не тільки токсичну дію хімічної речовини. Слід оцінювати й інші можливі види порушення екосистеми, такі як скорочення видової різноманітності, зміна окремих груп біоти, випадання з екосистеми видів — домінантів, зміна величини продуктивності, спрощення трофічного ланцюга, зменшення асиміляційної ємності екосистеми і її здатності до самоочищення, руйнування екосистеми.

Під **асиміляційною ємністю** розуміється кількість полютанта, яку система здатна сприйняти (асимілювати) без порушення закономірностей її функціонування. Під час її розрахунку беруться до уваги всі потоки речовини: його надходження з різних джерел, винос

за межі системи, сорбція ґрунтовими компонентами, переклад у нерозчинні форми, біотична й абіотична деструкція та ін. Допускається використання як розрахункових, так і експериментальних (в тому числі лабораторних) даних, екстраполяція й інтерполяція результатів, отриманих для близьких за структурою та функціонуванням екосистем. Важливо включення не тільки біогенних, а й абіогенних показників (наприклад, гідрохімічних).

Вибір показників, контроль яких проводиться під час екосистемного нормування, залежить від того, на якому рівні організації екосистеми оцінюються зміни. Наприклад, пропонується в якості критеріїв екологічного стану екосистеми використовувати показники збереження вертикальної й горизонтальної структури фітоценозу, показники завершеності кругообігу речовин (кінцевим результатом чого є родючість ґрунтів).

Як показник збереження екосистеми можна використовувати баланс гумусу в ґрунті. Також пропонується вважати навантаження на екосистеми допустимими, якщо в ґрунті підтримується позитивний баланс гумусу, що свідчить про виконання ґрунтами їх функцій у біосфері. Є пропозиція ознакою порушення в збереженні й цілісності екосистеми вважати накопичення в зоні техногенного впливу на біогеоценоз нерозкладеної підстилки, що може свідчити про незавершеність кругообігу вуглецю.

КОНТРОЛЬ-КОЛОКВІУМ

до розділу 3

1. Наведіть класифікацію пилу за походженням.
2. Чим зумовлено антропогенне забруднення атмосфери? Наведіть найбільш поширені речовини, присутні у викидах атмосфери.
3. Наведіть основні джерела потрапляння радіоактивних речовин в атмосферу.
4. Наведіть різні класифікації джерел забруднення атмосфери.
5. Які показники необхідно враховувати під час підготовки вихідних даних для розрахунку гранично допустимих викидів?
6. Дайте основні характеристики організованих і неорганізованих джерел викидів.
7. Наведіть основні методи визначення забруднювальних речовин із прикладами.
8. Наведіть основні групи джерел забруднення вод.
9. Наведіть і схарактеризуйте основні групи стічних вод.
10. Наведіть класифікацію промислових стічних вод за дисперсним складом.
11. Від яких фізико-хімічних параметрів залежить самоочищення природних водойм?
12. Наведіть узагальнений показник, що дозволяє оцінити сумарну кількість забруднень у воді з поглинання кисню.

13. Який процес називають евтрофікацією? Які його наслідки?
14. Як сільськогосподарське виробництво підсилює евтрофікацію?
15. Назвіть джерела й наслідки теплового забруднення водойм.
16. Схарактеризуйте наслідки забруднення водойм нафтою.
17. Наведіть основні методи визначення забруднюючих речовин у гідросфері з прикладами.
18. Перерахуйте методи розв'язання проблеми раціонального використання ресурсів.
19. Які відходи називають побутовими (комунальними)?
20. Які відходи називають виробничими (промисловими)?
21. Які відходи називають відходами виробничого споживання?
22. Які заходи належать до меліораційних? Схарактеризуйте їх наслідки.
23. Який процес називають засоленням? Визначте наслідки вторинного засолення.
24. Наведіть класифікацію пестицидів залежно від напрямку використання.
25. Які речовини називають добривами?
26. Визначте наслідки надмірного внесення добрив.
27. Які дії необхідно зробити, щоби знизити негативні наслідки внесення добрив?
28. Назвіть методи визначення забруднюючих речовин у ґрунтах. Наведіть приклади.
29. Назвіть методи визначення складу відходів. Наведіть приклади.
30. Що розуміють під стандартами якості навколишнього середовища?
31. Які показники служать критеріями оцінки стану навколишнього середовища. На основі чого встановлюються нормативні показники, що характеризують міру можливого впливу на природу?
32. Який показник називають ГДК шкідливої речовини?
33. Назвіть дослідні етапи встановлення ГДК.
34. Який показник називають ГДВ?
35. Які види забруднень водних об'єктів розрізняють?
36. Якими параметрами оцінюється інтенсивність прямої дії забруднюючих речовин?
37. Які групи лімітувальних показників шкідливості розрізняють?
38. Назвіть дві групи нормативів для забруднюючих речовин, що надходять у водне середовище.
39. Який показник називають рибогосподарською ГДК?
40. Який показник називають гранично допустимою разовою концентрацією?
41. Який показник розуміють під гранично допустимим скиданням?
42. З урахуванням яких показників встановлюється ГДС?
43. Проведення досліджень включає контроль за санітарним станом ґрунту?
44. Які показники враховує санітарно-гігієнічне нормування хімічних сполук у ґрунті?
45. Схарактеризуйте основні напрямки досліджень під час нормування.

ТЕСТОВИЙ КОНТРОЛЬ до розділу 3

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Каразінський навчально-науковий інститут екології
(159 балів)

Хімічна екологія

Прізвище, ім'я, по батькові _____

№ зал. книжки _____ Дата контролю _____ Тривалість контролю _____

Частина I (51 бал)

Творчо-алгоритмічний рівень пізнання

Умови виконання завдання. Дайте коротку відповідь.

1. Чим зумовлено антропогенне забруднення атмосфери. Наведіть найбільш поширені речовини, присутні у викидах атмосфери. _____

_____ (10 б.)

2. Який процес називають евтрофікацією? Які його наслідки? _____

_____ (10 б.)

3. Перерахуйте методи розв'язання проблеми раціонального використання ресурсів.

_____ (8 б.)

4. Які відходи називають побутовими, а які виробничими? _____

_____ (6 б.)

5. Що розуміють під стандартами якості навколишнього середовища? _____

_____ (4 б.)

6. Який показник називають ГДК шкідливої речовини? _____

_____ (6 б.)

7. Який показник називають ГДВ? _____

_____ (7 б.)

Частина II (5 балів)

Алгоритмічний рівень пізнання

Умови виконання завдання. Визначте правильно наведені твердження.

- | | | | |
|----|---|-----|----|
| 1. | Радіоактивні речовини потрапляють в атмосферу в результаті тільки природної радіоактивності | Так | Ні |
| 2. | Організовані викиди зазвичай проводяться зі стаціонарних джерел | Так | Ні |
| 3. | Відходи виробничого споживання вельми небезпечні й потребують ретельного захоронення й дезактивації | Так | Ні |
| 4. | Нормативні показники, що характеризують міру можливого впливу на природу, встановлюються в результаті експертних оцінок | Так | Ні |
| 5. | Санітарно-гігієнічне нормування враховує три показники (міграційний водний, міграційний повітряний, загальносанітарний) | Так | Ні |

Частина III (16 балів)

Репродуктивний рівень пізнання

Умови виконання завдання. Проаналізуйте варіанти відповідей і визначте правильні.

- Джерела забруднення атмосфери розрізняють:
а) за потужністю; б) за висотою викиду; в) за компонентом, що викидають.
- До методів визначення забруднюючих речовин відносять:
а) гравіметричний; б) хроматографічний; в) атомно-абсорбційний.
- Розрізняють такі основні групи стічних вод:
а) містять органічні речовини; б) містять важкі метали; в) містять неорганічні речовини.
- До меліоративних заходів відносять:
а) осушення; б) зрошення; в) окультурення пусток.
- Застосування надмірної кількості мінеральних добрив має такі негативні наслідки:
а) забруднення ґрунтів важкими металами; б) забруднення ґрунтів нітратами;
в) зміна властивостей ґрунтів.
- Групи лімітувальних показників шкідливості:
а) загальносанітарний; б) гігієнічний; в) токсикологічний;
г) рибогосподарський.

Частина IV (19 балів)

Репродуктивно-алгоритмічний рівень пізнання

Умови виконання завдання. Відновіть пропущені ключові слова, числа тощо.

1. Класифікація промислових стічних вод за дисперсним складом дозволяє визначити для кожної групи _____ (3 сл.) стічних вод. (3 б.)
2. Унаслідок теплового забруднення водойми _____ (1 сл.) біля місць скидання на великій площі _____ (1 сл.) на кілька градусів, що призводить до _____ (2 сл.) і _____ (2 сл.). (6 б.)
3. Засолення ґрунту — це _____ (1 сл.) у ґрунтах _____ (2 сл.). (36.)
4. Для підвищення врожайності культурних рослин у ґрунти вносять _____ (1 сл.) і _____ (1 сл.) речовини, які називаються _____ (1 сл.). (3 б.)
5. Рибогосподарський ГДК — це така _____ (1 сл.) концентрація забруднюючої речовини, за _____ (1 сл.) наявності якої у водоймі, не спостерігається _____ (2 сл.) для рибогосподарського використання водойми. (4 б.)

Частина V (19 балів)

Репродуктивно-алгоритмічний рівень пізнання

Умови виконання завдання. Знайдіть відповідність показникам з групи А показників із групи Б.

Група А		Група Б	
А	Пил	1	Мінеральна
Б	Джерела забруднення природних вод	2	Промислові стічні води
В	Методи визначення забруднюючих речовин у геосферах	3	Гербіциди
Г	Пестициди	4	Первинні
Д	Види забруднень водних об'єктів	5	Атомно-абсорбційний
		6	Вторинне
		7	Органічна
А		8	Міські стічні води
Б		9	Гравіметричний
В		10	Атмосферні опади
Г		11	Космічна
Д		12	Повторне
		13	Сільськогосподарські стічні води
		14	Фунгіциди
		15	Титриметричний
		16	Інсектициди
		17	Фотоколориметричний
		18	Зооциди
		19	Флуоресцентний

Частина VI (49 балів)

Творчий рівень пізнання

*Умови виконання завдання. Визначте, що буде, якщо...,
викладіть свою точку зору щодо наведеного.*

1. Які дані необхідно враховувати під час підготовки вихідних даних для розрахунку гранично допустимих викидів? _____

_____ (4 б.)

2. Від яких, на Вашу думку, фізико-хімічних параметрів залежить самоочищення природних водойм? _____

_____ (7 б.)

3. Порівняйте показники БПК і ХПК. _____

_____ (8 б.)

4. Як сільськогосподарське виробництво підсилює евтрофікацію? _____

_____ (10 б.)

5. Схарактеризуйте наслідки забруднення водойм нафтою. _____

_____ (10 б.)

6. Які дії необхідно зробити, щоби усунути негативні наслідки внесення добрив? _____

_____ (10 б.)

ДЛЯ НОТАТОК

Навчальне видання

Крайнюков Олексій Миколайович

ХІМІЧНА ЕКОЛОГІЯ

Навчальний посібник

Коректор *О. В. Анцибора*
Комп'ютерне верстання *Н. О. Ваніна*
Макет обкладинки *О. Д. Чорна*

Формат 60х84/16. Ум. друк. арк. 6,74. Наклад 100 пр. Зам. № 103/2020.

Видавець і виготовлювач
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,
61022, м. Харків, майдан Свободи, 4.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3367 від 13.01.2009

Видавництво ХНУ імені В. Н. Каразіна
Тел. 705-24-32