

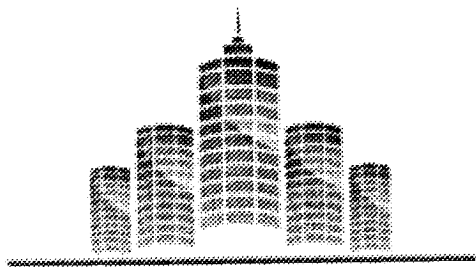
Г.П. Марчук
Т.А. Біла

ГЕОХІМІЯ ДОВКІЛЛЯ



55(075)
М30

Г.П.Марчук, Т.А.Біла



ГЕОХІМІЯ ДОВКІЛЛЯ

Навчальний посібник

КНУРОСХОВИЩЕ

Херсон
ОЛДІ-ПЛЮС
2013

[550.4+502.3](075)

УДК: 550.47

ББК 26.30

Г 35

Рецензенти:

Ю.В. Пилипенко – доктор сільськогосподарських наук,
професор;

Ю.О. Лавриненко – доктор сільськогосподарських наук,
професор, член-кореспондент НААНУ.

Марчук Г.П., Біла Т.А.

Г 35 Геохімія довкілля: Навчальний посібник. – Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС,
2013. – 242 с.

ISBN 978-966-2393-48-4

465573

Навчальний посібник містить основні поняття геохімії довкілля. Викладено теоретичні основи геохімії компонентів біосфери, міграції хімічних елементів, геохімічних процесів. Розглянуто основні типи геохімічних ландшафтів, види моніторингу навколишнього природного середовища та методи контролю забруднення біосфери. До кожної теми надані питання та тести для самоконтролю. У кожному розділі наведені приклади розв'язання задач та перелік необхідної літератури.

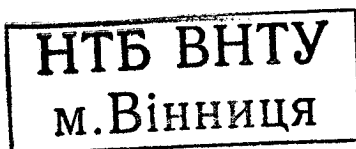
Для студентів вищих навчальних закладів за напрямком підготовки 6.040106 «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування».

ББК 26.30

ISBN 978-966-2393-48-4

© Марчук Г.П., 2013

© Біла Т.А., 2013



ЗМІСТ

| | |
|---|----------|
| Вступ | 5 |
| РОЗДІЛ I. ГЕОХІМІЯ БІОСФЕРИ..... | 6 |
| 1.1. Геохімія середовища існування рослин, тварин та людини. | 6 |
| Запитання для самоконтролю..... | 14 |
| Тести для самоконтролю..... | 15 |
| 1.2. Атмосфера..... | 17 |
| Запитання для самоконтролю..... | 38 |
| Тести для самоконтролю..... | 39 |
| 1.3. Гідросфера..... | 40 |
| Запитання для самоконтролю..... | 52 |
| Тести для самоконтролю..... | 53 |
| 1.4. Жива речовина та ґрунти..... | 55 |
| Запитання для самоконтролю..... | 68 |
| Тести для самоконтролю..... | 68 |
| 1.5. Міграція хімічних елементів..... | 70 |
| Запитання для самоконтролю..... | 92 |
| Тести для самоконтролю..... | 92 |
| 1.6. Геохімічні процеси..... | 94 |
| Запитання для самоконтролю..... | 99 |
| Тести для самоконтролю..... | 100 |
| Приклади розв'язання задач..... | 102 |
| Список рекомендованої літератури..... | 106 |

| | |
|--|------------|
| РОЗДІЛ II. ГЕОХІМІЧНІ ЛАНДШАФТИ ТА МОНІТОРИНГ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА..... | 108 |
| 2.1. Геохімічні ландшафти..... | 108 |
| Запитання для самоконтролю..... | 124 |
| Тести для самоконтролю..... | 125 |
| 2.2. Моніторинг навколишнього природного середовища..... | 127 |
| Запитання для самоконтролю..... | 182 |

| | |
|---------------------------------------|-----|
| Тести для самоконтролю..... | 182 |
| 2.3. Забруднення біосфери..... | 184 |
| Запитання для самоконтролю..... | 212 |
| Тести для самоконтролю..... | 212 |
| Приклади розв'язання задач..... | 214 |
| Список рекомендованої літератури..... | 215 |

ТЕРМІНОЛОГІЧНИЙ СЛОВНИК.....

ДОДАТКИ.....

| | |
|---|-----|
| 1. Кларки деяких хімічних елементів в літосфері і ґрунті (за даними О.П.Виноградова)..... | 233 |
| 2. Величини іонних радіусів, E (за Г.Б.Бокієм та М.В.Беловим)..... | 234 |
| 3. Гранично допустимі концентрації (ГДК) шкідливих речовин у атмосфері населених пунктів..... | 235 |
| 4. Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у воді водних об'єктів господарсько-питного та культурно- побутового водокористування..... | 237 |
| 5. Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у питній воді..... | 238 |
| 6. Значення ГДК хімічних речовин у ґрунтах..... | 239 |
| 7. Дозволені рівні вмісту ^{137}Cs і ^{90}Sr у продуктах харчування та питній воді (ДР-97)..... | 241 |

ВСТУП

Геохімія довкілля займає важливе місце серед природничих наук.

Вивчення геохімії довкілля сприяє пізнанню істини про Землю і допомагає формуванню загального екологічного мислення і сучасного наукового світогляду. Сьогодні відбувається перелом у свідомості людини, її світорозумінні, ставленні до навколишнього світу. Це стосується у першу чергу фахівців – екологів, робота яких безпосередньо пов'язана із природою. Розв'язання екологічних проблем поряд із соціальними, біологічними, географічними аспектами потребує й хімічного підходу. Але, на жаль, навчальна література практично відсутня.

Теоретична частина курсу геохімії довкілля передбачає одержання студентами знань, використання яких на практиці сприяє проведенню ландшафтно-геохімічного аналізу й оцінки екологічного стану середовища існування регіонів та екологічного моніторингу; розумінню хімічних аспектів заходів, спрямованих на охорону навколишнього середовища.

У першому розділі послідовно проаналізовані всі компоненти біосфери – атмосфера, гідросфера, літосфера; достатньо повно викладені дані про біогеохімічний кругообіг та міграцію хімічних елементів, дана характеристика геохімічних процесів.

Другий розділ присвячений проблемі забруднення довкілля, охорони і раціонального використання природних ресурсів та проведенню моніторингу оточуючого середовища.

Кожна тема розділу завершується контрольними питаннями та тестовими завданнями для самоперевірки, що полегшує самостійне опрацювання тем і сприяє глибокому осмисленню матеріалу й закріпленню знань.

РОЗДІЛ І. ГЕОХІМІЯ БІОСФЕРИ

1.1. Геохімія середовища існування рослин, тварин та людини.

- Геохімічна класифікація хімічних елементів.
- Форми знаходження хімічних елементів.
- Особливості розподілу основних та розсіяних елементів.
- Геохімічні аномалії.
- Кларк концентрацій.
- Геохімічний фон, геохімічні провінції.

Запитання для роздумів:

- *Як пояснити закон фізико-хімічної єдності живої речовини біосфери: «Уся жива хімічна речовина Землі є хімічно єдиною»?*

Геохімічна класифікація хімічних елементів

Поведінка хімічних елементів у земній корі досить різноманітна, незважаючи на їх спорідненість за властивостями. Тому В.І. Вернадський запропонував геохімічну класифікацію, в якій враховані найважливіші особливості історії елементів у земній корі. Головна увага у цій класифікації приділена радіоактивності, зворотності або незворотності міграції, здатності утворювати мінерали, які складаються з кількох різноманітних атомів. Найбільша група (циклічні елементи) бере участь у складних кругообігах

біосфери. З них переважно побудовані гірські породи, води, організми (табл. 1.1).

Таблиця 1.1.

Геохімічні групи елементів

| Група | Склад групи | К-сть елементів | Абсолютна маса елементів у земній корі,т | % від загальної маси земної кори |
|-------------------------------|--|-----------------|--|----------------------------------|
| I. Благородні газы | He, Ne, Ar, Kr, Xe | 5 | 10^{14} | 5×10^{-4} |
| II. Благородні метали | Ru, Rh, Pb, Os, Ir, Pt, Au | 7 | 10^{12} | 5×10^{-6} |
| III. Циклічні елементи | H, (Be), B, C, N, O, F, Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, V, (Cr), Mn, Fe, Co, (Ni), Cu, Zn, (Ge), As, Se, Sr, (Zr), Mo, Ag, Cd, (Sn), (Sb), (Te), Ba, (Hf), (W) (Re), (Hg), (Tl), (Rb), (Bi) | 44 | 2×10^{19} | 99,8 |
| IV. Розсіяні елементи | Li, Se, Ga, Br, Rb, Y, (Nb), In, I, Cs, Ta | 11 | 10^{16} | 5×10^{-2} |
| V. Дуже радіоактивні елементи | Po, Rn, Ra, Ac, Th, Pa, U | 7 | 10^{15} | 5×10^{-3} |
| VI. Рідкоземельні елементи | La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu | 15 | 10^{16} | 5×10^{-2} |

За класифікацією норвезького геохіміка В.М. Гольдшміда (1924) всі хімічні елементи об'єднуються у п'ять груп. Перша з них – літофільні елементи (у перекладі з грецької – «ті, що люблять

камінія»). Літофільні елементи досить легко утворюють мінерали, які містять кисень, тобто володіють спорідненістю з ним. Ці мінерали складають основу більшості гірських порід. До літофільних відносяться Si, Ti, S, P, Cl, Al, Se, Na, K, Ca, Mg тощо (всього 54 елементи). Друга група – це 19 халькофільних («міднолюбивих») елементів. Таку назву вони одержали завдяки тому, що у своїй геометричній поведінці вони нагадують Купрум, зокрема охоче вступають у сполуки з Сульфуром. Це елементи Cu, Ag, Au, Zn, Hg, Ge, Pb, Cd, Fe, Mn та інші. Третя група – 11 сидерофільних елементів («залізолубиві»), вони розчиняються в залізних розплавах і утворюють сплави з ферумом: Fe, Ni, Co, P, S, Pt, Au, St, Mo, Re, Ir. У четверту групу В.М. Гольдшмідт включив елементи, що входять до складу земної атмосфери (атмофіли) – H, N, C, O, He, Ar, Kr, Xe, Cl, Br, I. В особливу групу він виділив елементи, які концентруються в живих організмах – елементи – біофіли: C, H, O, N, P, S, Cl, I та ін.

Форми знаходження хімічних елементів

Здатність елементів до міграції визначається формою їх знаходження. У земній корі В.І.Вернадський виділяє чотири основні форми знаходження:

- гірські породи і мінерали (у тому числі природні води і гази);
- жива речовина;
- магми (силікатні розплави);
- розсіювання.

Звичайно, кожна група поділяється на типи, класи і т.д. Наприклад, у першій групі різко розрізняються водні розчини і мінерали.

С.М. Квятковський виділяє мінеральний, безмінеральний, концентрований і розсіяний види існування елементів. У зв'язку з техногенезом додаються такі форми: ізоморфні суміші; водні розчини; газові суміші; колоїдна форма з рідким дисперсійним середовищем; техногенні сполуки, які не мають природних аналогів.

В.І. Вернадський називає формами знаходження елементів різний стан атомів у твердій речовині земної кори. Кристалічний і розсіяний стани є двома найважливішими формами знаходження атомів у земній корі. Перевага тієї чи іншої форми залежить від кларка елемента.

Якщо хімічний елемент знаходиться у кристалічній ґратці – це мінерал, й індивідуальні властивості елемента часто не проявляються. Наприклад, Калій і Натрій утворюють легкорозчинні сполуки, але якщо Калій входить до складу ортоклазу, а Натрій до складу альбіту – мінералів, стійких до вивітрювання у сухому кліматі, то інтенсивність міграції Калію і Натрію у цих умовах визначається не розчинністю їх солей, а швидкістю руйнування кристалічної ґратки польових шпатів.

Входячи до складу мінералів, елемент втрачає індивідуальні властивості. Тому низька міграційна здатність часто залежить не від хімічних властивостей елемента, а від властивостей мінералу, наприклад, від здатності кристалічної ґратки до руйнування. Таким чином, форми знаходження елементів у системі необхідно враховувати при вивченні геохімічної системи.

Особливості розподілу основних та розсіяних елементів. Геохімічні аномалії

Якщо на вміст хімічного елемента у системі впливає велика кількість випадкових, не залежних одна від одної причин, то розподіл елемента відбувається за нормальним законом Гауса.

До параметрів нормального розподілу відносяться середнє арифметичне \bar{x} , значення якого співпадає з модою (найбільш поширеним значенням) і медіаною (середнє значення у ранжуванні ряду величин), середнє квадратичне відхилення σ , що характеризує неупорядкованість величини, яку вивчають, та коефіцієнт варіації v :

$$v = (\sigma / \bar{x}) \times 100.$$

Але побудова кривих на основі дослідних даних дає можливість говорити про наближення до нормального закону, тобто про апроксимацію.

Наприклад, якщо x Літію у кварцево-біотитових сланцях становить

$$4,2 \times 10^{-3} \%, \text{ а } \sigma = + 2,3 \times 10^{-3} \%, \text{ то } v = 54 \%:$$

$$v = 2,3 \times 10^{-3} / 4,2 \times 10^{-3} \times 100 = 54 \%.$$

Якщо $\sigma = 12,6 \times 10^{-3}$, $v = 300 \%$.

При нормальному розподілі (за законом Гауса) у межах $\bar{x} + \sigma$ знаходиться 68,3 % значень, якщо користуватися величиною $\bar{x} + 3\sigma$, то у її межах буде не більше 3 %.

Таким чином, якщо розподіл елементів у системі визначається нормальним законом, то з ймовірністю 99,7 % можна вважати, що всі значення у межах $x + 3\sigma$ будуть відноситися до даної системи і відмінність між ними визначаються випадковими причинами.

Значення, що відрізняється від $x + 3\sigma$, будуть відноситись до геохімічних аномалій C_a , тобто будуть належати до іншої системи. Тому за нижню межу аномальності C_a приймають величину $C_f + 3\sigma$ («правило трьох сигм»): $C_a > C_f + 3\sigma$, де C_f – фонові концентрації (середнє арифметичне).

Дослідним шляхом встановлено, що існують геохімічні аномалії, які відповідають і таким критеріям:

$$C_a > C_f + 2\sigma \quad \text{або} \quad C_a > C_f + \sigma.$$

Розподіл хімічних елементів, що апроксимується нормальним законом, спостерігається у деяких мінералах, ґрунтах, водах. Найчастіше розподіл підпорядкований логарифмічно нормальному (логнормальному) закону – нормальний розподіл характерний не для самої величини, а для її логарифма. Параметрами у цьому випадку буде не середнє арифметичне, а середнє геометричне і сигма (σ) логарифмованих значень ознаки, що позначається символом E .

Відповідно жорсткий критерій аномальності буде $C_a > C_f \times E^3$, а більш м'який: $C_a > C_f \times E^2$ і $C_a > C_f \times E$.

Розподіл різних елементів у одних і тих же об'єктах відбувається за різними законами.

За Д.А.Родіоновим, розподіл елементів у мінералах підпорядкований логнормальному закону. Цей закон характерний і для розподілу у вивержених породах тих елементів, які концентруються у одному мінералі. Розподіл розсіяних елементів у багатьох мінералах приблизно в однакових кількостях підпорядкований нормальному закону.

Кларк концентрацій

Кларк – середній вміст хімічного елемента у відсотках від маси даного кожного елемента, що знаходиться у земній корі будь-якої її частини, Землі в цілому, у планетах та інших космічних об'єктах (О.Є.Ферсман).

Для того, щоб кількісно оцінити неоднорідність розподілу хімічних елементів у земній корі, В.І. Вернадський запропонував особливу геохімічну величину – **кларк концентрації**. Ця величина показує ступінь відхилення вмісту хімічного елемента від його кларка. Кларк концентрації K_k дорівнює:

$$K_k = A/K,$$

де: А – вміст хімічного елемента в гірській породі;

К – кларк елемента в земній корі.

Кларк концентрацій (K_k) у живих організмах називається біофільністю. Частково біофільність бере до уваги здатність живих організмів переважно захоплювати й акумулювати деякі поживні й

енергетично важливі для їх життєдіяльності елементи. Ідея біофільності належить О.І. Перельману. Кларк концентрацій (K_k) підкреслює геохімічну особливість окремої природної системи, пов'язаної із вмістом літосфери. Кількісно K_k оцінюється як відношення середнього вмісту елемента в живій речовині до його середнього вмісту в літосфері:

$$K_k = m_{\text{ел.жив.реч.}} / m_{\text{ел.літ.}},$$

де: $m_{\text{ел.жив.реч.}}$ – середній вміст елемента в живій речовині;

$m_{\text{ел.літ.}}$ – середній вміст елемента в літосфері.

Якщо вміст елемента виражається в кларках, формула набуває вигляду:

$$K_k = m_{\text{ел.жив.реч.}} / m_{\text{літ.}}$$

Майже половина твердої земної кори складається із одного елемента – О, земна кора – це «киснева сфера»; киснева речовина, на другому місці Si (кларк 29,5), на третьому Al (8,05), а в сумі 84,55%. Якщо до цього числа додати Fe (4,65), Ca (2,96), Na (2,50), K (2,50), Mg (1,78), Ti (0,45), буде 99,48 %, тобто практично майже вся земна кора. Останні елементи займають менше 1 %. Кларки більшості елементів не перевищують 0,01 – 0,0001%. Такі елементи називають **рідкісні**. Якщо вони мають невелику здатність до концентрації, їх називають **рідкісні розсіяні** (Br, In, Ra, I, Sc та ін.).

Якщо кларк концентрації більше 1, то це вказує на підвищений вміст елемента, якщо кларк концентрації менше 1, це значить, що у даному місці вміст елемента нижче його середнього значення для земної кори в цілому.

Геохімічний фон, геохімічні провінції

Поняття «геохімічна провінція» запропоновано А.Є.Ферсманом для геохімічно однорідних областей, що характеризуються певною асоціацією елементів. За А.А. Смысловим, **геохімічна провінція** – це великі геоструктурні утворення земної кори з аномальним вмістом хімічних елементів або аномальним ступенем їх диференціації.

Геохімічні провінції виділяються за даними розподілу локальних концентрацій елементів, одержаних при різних геохімічних зйомках.

У межах провінцій є різні типи гірських порід, які також відрізняються вмістом розсіяних елементів - це **геохімічний фон**.

? Запитання для самоконтролю

1. Оцініть на основі розрахунків масу людства та площу, яку воно займає, якщо припустити, що на одну людину припадає 1 м² поверхні. Порівняйте обчислені дані з масою Землі, земної кори, з поверхнею планети і зробіть висновки, в чому проявляється геологічна сила людства.
2. Охарактеризуйте геохімічні класифікації елементів В.І. Вернадського та В.М. Гольдшмідта.

3. Назвіть п'ять найбільш поширених хімічних елементів у земній корі і п'ять найбільш рідкісних.
4. Чим рідкісні розсіяні елементи відрізняються від рідкісних елементів? Наведіть приклади.
5. У чому полягає відмінність нормального і логнормального закону розподілу хімічних елементів?
6. Яка різниця між основними і розсіяними елементами у земній корі?
7. Які найбільш розповсюджені форми знаходження елементів у земній корі?
8. Дайте визначення геохімічних параметрів «кларк», «кларк концентрацій».
9. Чому необхідно обчислювати кларки концентрацій?
10. Охарактеризуйте поняття «геохімічний фон», «геохімічна провінція», «геохімічна аномалія».

Тести для самоконтролю

Виберіть правильну відповідь:

1. Розсіяні елементи – це:

- а) елементи, родовища яких невідомі і вони не утворюють самостійних мінералів;
- б) елементи органічних і неорганічних субстратів живої речовини;
- в) компоненти гормонів, ферментів та інших життєво важливих сполук;

г) елементи, фізіологічна роль яких у організмах не повністю з'ясована.

2. Елементи, загальний вміст яких становить 99,15 % маси земної кори, називаються:

- а) рідкісні;
- б) поширені;
- в) розсіяні;
- г) ультрамікроелементи.

3. Елементи, що зустрічаються у вигляді природних сполук, у геохімії називаються:

- а) біометали;
- б) органогени;
- в) мінерали;
- г) біофіли.

4. Доповніть:

Кількісною геохімічною характеристикою твердої оболонки біосфери є середній вміст хімічних елементів, виражений у відсотках від маси даного компонента. За пропозицією акад. О.Є. Ферсмана ця величина називається _____.

5. Встановіть відповідність:

Класифікація елементів:

- 1) поширені;
- 2) рідкісні;
- 3) розсіяні.

Групи елементів:

- а) Li, Rb, La, Re;
- б) Hg, Ga, Ge, In;
- в) Zn, Cu, Mn, O;
- г) Sr, Ba, Cl, S.

6. Виберіть правильну відповідь: Зони, в яких організмами концентрується переважно один або декілька елементів, називаються:

- а) геохімічний фон;
- б) геохімічна провінція;
- в) кларки елементів;

г) кларки концентрацій.

7. Різний стан атомів у твердій речовині земної кори називається:

- а) форми знаходження елементів;
- б) концентрація;
- в) розсіювання;
- г) аномалія.

8. Відношення середнього вмісту хімічного елемента у даній системі до його середнього вмісту в земній корі називається:

- а) кларк;
- б) кларк концентрацій;
- в) концентрація;
- г) масова частка.

9. Доповніть: Кларк концентрацій (K_k) у живих організмах називається...

10. Кількісно кларк концентрацій у живих організмах визначається за формулою:

- а) $K_k = A / K$;
- б) $K_k = m \text{ ел.жив.реч.} / m \text{ ел.літ.}$;
- в) $K_k = K \text{ жив.реч.} / K \text{ літ.}$;
- г) Ваша відповідь...

1.2. Атмосфера

- Атмосфера, її будова.
- Хімічний склад атмосфери.
- Забруднення атмосфери.
- Методи очищення газів від аерозолів і шкідливих компонентів.

Запитання для роздумів:

• Чому на думку деяких вчених атмосферу Землі називають робочим тілом «теплової машини» планети?

Атмосфера, її будова

Атмосфера – газова частина біосфери. Її загальна маса дорівнює $5,2 \cdot 10^{15}$ т. Утримуючись гравітаційним полем Землі, атмосфера має зональну будову. Нижня частина атмосфери, що прилягає до земної поверхні, висотою 80 км, називається гомосферою. Густина гомосфери зменшується з висотою так, що 99% її маси заключається між рівнем поверхні океану і висотою 29 км, але її хімічний склад (кількісні співвідношення між газами) сталий. Хімічний склад гомосфери по відношенню до основних газоподібних компонентів такий: основні компоненти: азот – 78%, кисень – 21%; вторинні компоненти: аргон – 0,9%, вуглекислий газ – 0,033%, мікрокомпоненти: неон – $182 \cdot 10^{-5}$ %, гелій – $53 \cdot 10^{-5}$ %, кріптон – $12 \cdot 10^{-5}$ %, ксенон – $0,9 \cdot 10^{-5}$ %, водень – $5 \cdot 10^{-5}$ %; ксенокомпоненти: метан – $15 \cdot 10^{-5}$ %, нітроген (I) оксид – $5 \cdot 10^{-5}$ %, озон – $4 \cdot 10^{-5}$ %, радон – $4,5 \cdot 10^{-17}$ %.

Гомосфера, в свою чергу, поділяється на три оболонки, які відрізняються за характером температурного режиму: 1) найнижча з них – тропосфера, має основне значення для життя на Землі. Маса тропосфери складає $5,13 \cdot 10^{21}$ г; 2) стратосфера; 3) мезосфера.

До тропопаузи (верхня межа тропосфери) температура закономірно зменшується із збільшенням висоти, в стратосфері

спостерігається слабке підвищення температури, приблизно до 0°C . В мезосфері температура знову спадає із збільшенням висоти.

Оболонка Землі, яка розташовується над гомосферою, має назву гетеросфера. На висоті 90 – 200 км розміщений шар молекулярного азоту. Після нього, до висоти 1100 км, розташований шар атмосферного кисню, у складі якого переважають атоми Оксигену. Далі, між 1100 і 3500 км, знаходиться гелієвий шар. Цей шар далі змінюється водневим шаром, в якому переважну роль відіграють атоми Гідрогену. Умовною межею водневого шару вважають висоту 10000 км, чіткої межі він не має.

Радіоактивні випромінювання, космічні промені та інші фактори частково йонізують тропосферу, сприяють утворенню позитивно і негативно заряджених частинок, розміром 10^{-3} см, це легкі аеройони, а важкі аерофони – частинки розміром 10^{-5} см.

У стратосфері міститься близько 20% маси атмосфери, а у більш високих шарах не більше 0,5%, густина верхніх шарів атмосфери дуже мала, частинки тут рухаються з великою швидкістю і температура середовища перевищує 100°C . У стратосфері і мезосфері у результаті фотохімічних реакцій утворюється озон $\text{O}_2 + \text{O} \rightarrow \text{O}_3$, його загальна маса невелика, але достатня, щоб затримувати згубний вплив радіації Сонця. В останні роки встановлено зменшення концентрації озону над Антарктикою, менш виражене це явище в Арктиці.

У верхніх шарах атмосфери під впливом електромагнітного і корпускулярного випромінювання Сонця відбувається дисоціація газів з утворенням вільних атомів. На висоті 100 – 400 км гази йонізуються, цей шар називається **іоносферою**.

Розглядаючи будову підземної атмосфери, В.А. Соколов стверджує, що в осадових породах міститься $2,14 \times 10^{14}$ т газів, серед яких переважають CH_4 (39%), CO_2 (27,4%), N_2 (26%), важкі вуглеводні (6,4%), H_2 (0,2%) і $\text{H}_2\text{S} + \text{SO}_2$ (0,3%); у магматичних породах гранітного шару міститься 1×10^{15} т газів, в основному – це CO_2 (83,8%), N_2 (11%), H_2 (3%), $\text{H}_2\text{S} + \text{SO}_2$ (2%), CH_4 (0,2%).

Більшість газів у стандартних умовах мало розчиняються у воді і тільки полярні гази – CO_2 , H_2S , NH_3 , HCl , HF – добре розчинні. Із збільшенням температури розчинність газів знижується, а із збільшенням тиску – зростає. Тиск має більший вплив, тому на глибині 2-3 км вода містить більше газів, ніж на земній поверхні. У водах океанів і морів близько $13 \text{ см}^3/\text{л}$ N_2 і $3 \text{ см}^3/\text{л}$ O_2 , а у підземних водах на глибині 1 – 4 км міститься $500 \text{ см}^3/\text{л}$ газів, а у Західному Сибіру до $1000 - 1500 \text{ см}^3/\text{л}$ (в основному це CH_4).

Вуглеводні краще розчиняються у нафті, ніж у воді, і міграція газів з нафтою має важливе геохімічне значення.

При розчиненні у газах рідин і твердих речовин, а також газів, утворюються газові розчини (особливо при підвищеному тиску). Гази, що містяться у закритих порах і кристалічній ґратці мінералів, називаються оклюдованими. Їх одержують під час подрібнення порід, всі гірські породи містять сорбований газ, кількість якого в 1 кг осадових порід коливається від десятих часток до декількох см^3 . Під час геологічного розвитку відбувається розростання платформи і,

відповідно, послаблюється газова міграція. При цьому змінюється і якісний склад газів – збільшується роль вуглеводнів, O_2 , HCl і HF .

Атмосфера Землі є унікальною за своєю природою, як і кожен з компонентів біосфери. Атмосфера є невідокремленою від живої речовини біосфери, вона створена життям і знаходиться з ним в нерозривному ланцюжку. Сучасне земне життя пристосоване до кисневого дихання, але і сам кисень – продукт фотосинтезу рослинного світу. Однак не завжди цей системний ланцюжок відповідав сучасному стану; численні факти й ознаки свідчать про планетарні атмосферно - дихальні катаклізми, що породжували вимирання одних видів, появу нових, переродження ландшафтів і усього вигляду планети.

У даний час гіпотеза зміни географічної оболонки Землі катастрофами космічної природи (наприклад зіткненнями з метеоритами) конкурує з теорією п'яти революцій, відповідно до якої протягом мільйонорічних періодів причиною перетворення біогеоценозів були корінні перетворення системи «життя – атмосфера». Її автор, американський натураліст Р. Фейрбридж, першу революцію пов'язує з моментом зародження життя при безкисневому обміні речовин; другу – з виникненням фотосинтезу і появою Оксигену в газовій оболонці планети з одночасним формуванням озонового шару – перешкоди згубному ультрафіолету. Третя революція – це стан атмосфери, схожий на сьогodнішню атмосферу Венери – суцільний CO_2 , N_2 , і 1% O_2 . Четверта революція пов'язується зі зниженням концентрації карбону (IV) оксиду і різкого надвиробництва вільного Оксигену зеленими рослинами

(кам'яновугільний і пермський періоди). П'ята революція обумовлена порушенням рівноваги між атмосферою й океаном, збідненням спочатку океану, а потім і атмосфери на карбонатну кислоту і CO_2 , відповідно ера мезозою знаменувала собою великі вимирання не тільки видів, але і родів живого світу (ящери-гіганти, безхребетні, голонасінні тощо).

Ймовірне пояснення гігантської катастрофи таке: карбон (IV) оксид володіє тепловим ефектом, він є прозорим для видимого світла, але стає перешкодою на шляху інфрачервоного теплового випромінювання нагрітої поверхні планети. Карбон (IV) оксид прекрасно поглинає 14 видів променів і зберігає тепло в нижніх шарах атмосфери. Зниження в атмосфері вмісту CO_2 за рахунок глобального крейдового відкладення дрібних морських тварин призвело до зниження теплозапасу на поверхні землі і неможливості мешкання теплолюбивих видів живого світу. Таким чином, склад атмосфери безпосередньо пов'язаний з діяльністю живої речовини, і це не є однобічний зв'язок.

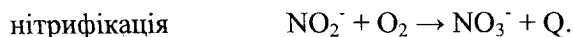
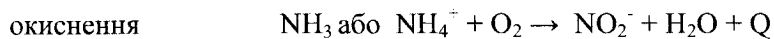
Хімічний склад атмосфери

Головними компонентами атмосфери є **азот** та **кисень**.

Азот – один із головних компонентів, має дуже велике значення для життя на нашій планеті.

Азот постійно надходить в атмосферу з вулканічними виверженнями. Із 16×10^{20} моль азоту, що міститься в земній корі, тільки $0,0014 \times 10^{20}$ моль азоту відіграють активну роль в кругообігу цього елемента в біосфері.

У біосфері відбувається акумуляція та фіксація азоту із повітря різними групами мікроорганізмів, які беруть участь в перетворенні молекулярного азоту N_2 в амоніак NH_3 або катіон амонію NH_4^+ . Процес цей відбувається з поглинанням енергії. Інші групи бактерій беруть участь в окисненні NH_3 та NH_4^+ до нітрит-іону NO_2^- , а далі до нітрат-іону NO_3^- . Цей процес відбувається за схемою:



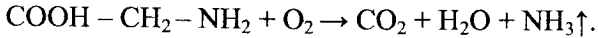
Обидва процеси відбуваються з виділенням тепла. Нітрати і нітрити накопичуються в ґрунті і, в свою чергу, асимілюються рослинами. При цьому знову відбувається відновлення їх до NH_3 , який потім використовується для побудови аміногруп складних амінокислот.

Тварини, що вживають в їжу рослини, отримують необхідний для життя Нітроген безпосередньо у вигляді аміногруп. Важливими азотовмісними сполуками тварин та рослин є білки, що містять до 18% Нітрогену. Таким чином, органічні сполуки азоту, що входять до складу живої речовини, можна розглядати як акумулятори енергії.

Окрім процесів накопичення і зв'язування азоту повітря рослинами, в природі спостерігається і зворотній процес денітрифікації. Цей процес здійснюється в анаеробних умовах групою бактерій денітрифікаторів. У результаті цього процесу, який вимагає витрат енергії, нітрат NO_3^- або нітрит-йони NO_2^- відновлюються до молекулярного азоту N_2 або N_2O .

Підраховано, що в результаті денітрифікації з 1 га ґрунту в атмосферу щорічно надходить 50 – 60 кг азоту. Вивільнення азоту у

вигляді NH_3 відбувається також внаслідок розкладу органічних залишків, що супроводжується окисненням і розпадом амінокислот. При цьому виділяється CO_2 і H_2O . Процес відбувається з виділенням енергії за схемою (на прикладі гліцину):



У порівнянні з біосферою, де міграція Нітрогену супроводжується утворенням і розпадом його сполук, в атмосфері утворення оксидів Нітрогену – рідкісне явище.

Оскільки сполучення азоту з киснем повітря вимагає значних витрат енергії, в атмосфері такі реакції відбуваються тільки під час блискавок. Таким чином, вміст NO_2 (в тропосфері NO швидко окиснюється до NO_2) залежить від кількості та інтенсивності гроз.

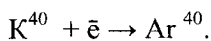
Кисень. Запаси кисню в атмосфері складають приблизно $1,5 \times 10^{20}$ моль. Єдиним джерелом надходження кисню в навколишнє середовище є процеси фотосинтезу. Зелені рослини біосфери щорічно виділяють в атмосферу близько $4,67 \times 10^{17}$ г кисню.

Таким чином, рослини, і особливо рослини океану, відіграють велику роль у накопиченні кисню в атмосфері Землі. У процесах гіпергенезу на поверхні земної кори відбувається безперервне зв'язування вільного кисню атмосфери під час окислення сполук Fe^{3+} , сполук двовалентного Мангану (з утворенням MnO_2), сульфідів (з утворенням SO_4^{2-}), органічних залишків.

Діяльність людини також в основному призводить до зменшення кількості кисню в атмосфері. У зв'язуванні вільного кисню повітря

заключається суть згоряння будь-якого органічного палива. Щорічно людиною в процесі згоряння палива з атмосфери використовується 9×10^{15} г кисню, що складає майже 2% його кількості, яка виробляється за цей період рослинами біосфери. Розширення площ, які займає зелена рослинність, підвищення її фотосинтетичної діяльності й продуктивності – основні умови збереження постійного газового складу атмосфери.

Вторинні компоненти атмосфери. Аргон. Це найбільш поширений інертний газ атмосфери, який майже повністю має радіогенне походження і утворюється в результаті розпаду радіоактивного ізотопу калію K^{40} за схемою:

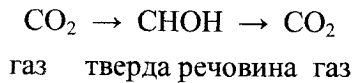


Період напіврозпаду K^{40} дорівнює 1,3 млрд. років. Отже, надходження аргону в повітряну оболонку Землі з літосфери відбувається безперервно.

Вуглекислий газ. В атмосфері міститься 58×10^{15} моль карбону в складі вуглекислого газу. На відміну від кисню, маса якого в основному міститься в атмосфері, лише близько 2% вільного CO_2 знаходиться в газоподібному стані у повітрі. 98 % CO_2 розчинені в гідросфері і, таким чином, у Світовому океані.

Зелені рослини в процесі фотосинтезу накопичують карбон з повітря, перетворюючи CO_2 в складні вуглеводні із загальною формулою – $СНОН$ -. Цей відновлювальний процес супроводжується поглинанням або накопиченням енергії. За підрахунками Б. Боліна,

$2,1 \times 10^{15}$ моль карбону у вигляді вуглекислого газу щорічно поглинаються наземною рослинністю з атмосфери. Менш ніж за 28 років процеси фотосинтезу повністю використовують кількість CO_2 , що міститься в атмосфері. В результаті дихання відбувається зворотний процес – окиснення фіксованого у живій речовині карбону у вуглекислий газ, який знов надходить в атмосферу. Процес відбувається з виділенням енергії. Отже здійснюється відомий біологічний цикл карбону в навколишньому середовищі, який відображається схемою:



В.І. Вернадський називав цей рівноважний цикл життєвим: $\text{CO}_2 \leftrightarrow$ жива речовина.

Органічна речовина, яка є акумулятором сонячної енергії, при певних умовах після загибелі рослин та живих організмів може бути перетворена на копалини, збагачені карбоном, – тверді та рідкі органічні продукти, що концентрують енергію, накопичену живою речовиною. Ці продукти – кам'яне вугілля та нафта.

За останнє століття людина дуже швидко використовує горючі копалини, які накопичувалися в земній корі протягом мільярдів років. У процесі їх згоряння відбувається окислення карбону до CO_2 . Щорічно, в атмосферу надходить $0,42 \times 10^{15}$ моль карбону, що призвело до збільшення його вмісту в атмосфері.

Ефект дії зростаючої концентрації CO_2 в атмосфері на навколишнє середовище дуже активно обговорюється спеціалістами. Відомо, що здатність CO_2 до адсорбції довгохвильового випромінювання призводить до парникового ефекту, внаслідок чого відбувається поступове потепління клімату. Розрахунковий рівень потепління складає 2°C .

Мікрокомпоненти атмосфери. Інертні гази в умовах атмосфери Землі та в біосфері не вступають у будь-які хімічні реакції. Найбільш розповсюджений Ar за масою складає близько 1% атмосфери, а найменш розповсюджений – Rn (лише $6 \times 10^{-18} \%$).

Неон – Ne^{20} – стабільний ізотоп атмосферного неону (90,92 %). Вважають, що основна маса неону у зв'язку з легкістю цього газу (Ne в 1,5 раза легший за повітря) була втрачена атмосферою на ранніх стадіях геологічної еволюції Землі.

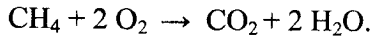
Криптон і Ксенон знаходяться в атмосфері в стані розсіювання. Вони надходять в атмосферу з вулканічними виверженнями та газами термальних джерел.

Гелій – найлегший і після водню найбільш розповсюджений елемент. Він є кінцевим продуктом радіоактивного розпаду урану і торію. Кількість гелію, що надходить в атмосферу в процесі геологічної еволюції літосфери, повинна бути значно більшою його кількості, що знаходиться в тропосфері та стратосфері. У цьому зв'язку, був зроблений висновок про безперервний перехід гелію із атмосфери Землі в космічний простір.

Водень. Його джерелом є вулканічні процеси, магматичні та осадкові породи, а також деякі біогенні процеси, які відбуваються за

участью водневоутворюючих бактерій. В атмосфері водень нестійкий і легко сполучається з киснем.

Ксенокомпоненти атмосфери. **Метан** постійно знаходиться в земній атмосфері. Він утворюється в процесі розкладу органічної речовини при умові нестачі кисню в ґрунтах, особливо в болотах. Деяка частина метану в біосфері окислюється особливими видами бактерій до вуглекислого газу і води за схемою:



Джерелом техногенних газоподібних вуглеводнів в оточуючому середовищі є двигуни внутрішнього згоряння.

Озон – дуже сильний окислювач, він оказує токсичну і руйнівну дію на живу матерію. В тропосфері озон може виникати в результаті фотохімічних реакцій перетворення Нітроген оксидів і органічної речовини.

Радон. Це інертний газ, продукт радіоактивного розпаду ізотопів Радія, що знаходиться в гірських породах в незначній кількості. Ізотопи радона, мігруючи із гірських порід в атмосферу, швидко розпадаються, не встигаючи досягнути її вищих шарів.

Забруднення атмосфери

Повітря як об'єкт аналізу є складною проблемою через наступні особливості: нестійкість і постійна зміна складових в просторі і за часом; наявність у газоподібному стані численних забруднювачів

різних класів органічного і неорганічного походження. Атмосфера повсякденно піддається антропогенній дії.

Виділяють два напрямки впливу антропогенних чинників на атмосферу:

I – добування окремих газів;

II – надходження в атмосферу певних речовин.

I. Атмосферне повітря є основним джерелом отримання у вільному стані O_2 , N_2 , Ne, Ar, Kr, Xe. Зазвичай, така діяльність не впливає істотно на склад атмосфери завдяки швидкому перемішуванню та комплексному використанню повітря. Але, в умовах напівпустельних ландшафтів та при вибіркового видаленні кисню (металургійні підприємства), така техногенна діяльність може впливати на склад атмосфери.

II. Основні техногенні забруднювачі атмосфери об'єднують у три групи:

1) речовини, які утворюються при спалюванні палива;

2) промислові викиди;

3) атмосферні забруднення, пов'язані з процесами утилізації побутових та промислових відходів.

Перший тип техногенного забруднення пов'язаний з роботою транспорту, особливо автомобільного. Основними токсичними речовинами, які поступають у атмосферу внаслідок роботи транспорту, є: CO , NO_x , C_nH_m , Pb, альдегіди (речовини з групою $-COH$), бензопірен (канцерогенний вуглеводень із конденсованими бензольними кільцями), сажа. Крім того, часто у випускних газах містяться SO_2 , Br_2 ,

P, Cl₂. Токсичні речовини у бензинових двигунах складають близько 18 % їх об'єму, а у дизельних – близько 1 %.

Головними забруднювачами атмосфери при спалюванні палива є: вуглекислий газ (CO₂), карбон (II)оксид (CO), вуглеводні (які неповністю згоріли) і окиснені речовини (кислоти й альдегіди), оксиди Сульфуру (SO₂, SO₃), оксиди Нітрогену (NO і NO₂), сажа, дим, пил.

Промислові викиди (друга група техногенних забруднювачів) складають різноманітний пил (хімічні елементи у мінеральній формі), дим (дисперсна фаза), запахи, газоподібні сполуки й окремі хімічні елементи, компоненти з фотохімічним ефектом. Серед пилу переважають, головним чином, оксиди. Аеросупензії (дими) – це, в основному, заряджені частки. Газоподібні компоненти містять у більшості: CO₂, CO, SO₂, SO₃, NO, NO₂, NH₃, іноді зустрічається Cl₂. Неприємні запахи можуть бути пов'язані з меркаптанами (C_nH_m-SH), фенолом (C₆H₅OH), акролеїном (CH₂=C-C(O)H) та ін.

До третьої групи забруднень, пов'язаних із процесами утилізації побутових та промислових відходів, відносяться забруднення, які виникають у зоні захоронення відходів і при роботі сміттєспалювальних устаткувань. Головним чином – це альдегіди, вуглеводні, органічні кислоти, оксиди, аміак і пил.

Внаслідок техногенних процесів в атмосферу у великій кількості надходять оксиди (CO₂, SO₂, NO, CO, NO₂), вуглеводні, ацетальдегіди та інші сполуки (табл. 1.2).

Таблиця 1.2

Утворення частинок антропогенного походження в атмосфері

| Джерело | Кількість (10 ⁶ т/рік) |
|----------------------------------|-----------------------------------|
| Безпосередня емісія частинок | 10 – 90 |
| Газові викиди: | |
| Сульфоксиди (SO ₂) | 130 – 200 |
| Нітрогеноксиди (NO) _x | 30 – 35 |
| Вуглеводні | 15 – 90 |
| Всього | 185 – 415 |

Склад атмосфери і кількість речовин, які забруднюють повітря, відображені в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3

Склад фонового повітря і вміст забруднювачів

| Компонент повітря | Вміст, % (за масою) | Компонент антропогенного забруднення | Маса викидів, млн. т/рік | Час перебування у нижніх шарах атмосфери |
|-------------------------|---------------------|--------------------------------------|--------------------------|--|
| Азот | 75,53 | Карбон (IV) оксид | 210 | 8 років |
| Кисень | 23,14 | Метали | 600 | 3 роки |
| Аргон | 1,28 | Карбон оксид | 300 | 0,1-3 роки |
| Карбон діоксид | 0,05 | Нітроген (I) оксид | 100 | 5 днів |
| H ₂ O (пара) | 0,01 | Нітроген (I) оксид | 100 | 5 днів |
| Неон | 0,001 | Нітроген (IV) оксид | 100 | 5 днів |
| Метан | 0,00008 | Сульфур (IV) оксид | 70 | 5 днів |
| Нітроген (I) оксид | 0,00008 | Гідрогенсульфур | 70 | 0,5 днів |
| Гелій | 0,00007 | Вуглеводні | 50 | - |
| Озон | 0,00007 | Водяна пара | 6 | 10 днів |
| Криптон | 0,00003 | Аміак | 4 | 1-5 днів |
| Водень | 0,000003 | Фреони | 1 | 30-70 років |

Для різних частин біосфери встановлені контрольні значення концентрацій забруднювальних речовин, які отримали назву гранично допустимих концентрацій (ГДК) та інших нормованих показників: гранично допустимий викид (ГДВ), середньодобова ГДК (ГДК с.д.), максимально-разова ГДК (ГДК м.р.) та ін.

ГДК – це норматив, що встановлює концентрацію шкідливої речовини в одиниці об'єму повітря, яка при дії на організм певного проміжку часу є практично безпечною для здоров'я людини і його нащадків.

ГДВ нормує викид окремим джерелом за одиницю часу.

ГДК с.д. – це концентрація шкідливої речовини в повітрі населених пунктів, яка не повинна викликати пряму або непряму дію на людину при необмежено довгому вдиханні.

ГДК м.р. нормує безпечну концентрацію при щоденній восьмигодинній роботі (крім вихідних) протягом всього робочого часу.

Однак, ГДК можуть використовуватись лише у випадку наявності однієї шкідливої речовини, але на практиці у атмосфері одночасно перебувають декілька забруднювачів.

В умовах сучасного зростання і бурхливого розвитку промисловості велика увага приділяється її екологічній обґрунтованості, а саме проблемі очищення й утилізації відходів.

У газоподібних промислових викидах шкідливі домішки можна розділити на дві групи:

- 1) зважені частки (аерозолі) твердих речовин - пил, дим; рідин - туман;
- 2) газоподібні й пароподібні речовини.

Наприклад підприємства хімічної промисловості характеризуються великим розмаїттям токсичних газових викидів, перелік яких наведено в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4

Характерні викиди до атмосфери основних виробництв хімічної промисловості

| Виробництво | Шкідливі викиди в атмосферу |
|-----------------------|---|
| Кислот: | |
| - нітратної | NO, NO ₂ , NH ₃ |
| - сульфатної | NO, NO ₂ , SO ₂ , SO ₃ , H ₂ SO ₄ , Fe ₂ O ₃ (пил) |
| - хлоридної | HCl, Cl ₂ |
| - фосфатної (фосфору) | P ₂ O ₅ , H ₃ PO ₄ , HF, фосфогіпс (пил) |
| - ацетатної | CH ₃ CHO, CH ₃ COOH |
| Добрив: | |
| - складних | NO, NO ₂ , NH ₃ , HF, H ₂ SO ₄ , P ₂ O ₅ , HNO ₃ , (пил) |
| - карбаміду | NH ₃ , CO, (NH ₂) ₂ CO (пил) |
| - аміачної селітри | CO, NH ₃ , HNO ₃ , NH ₄ NO ₃ (пил) |
| - аміачної води | NH ₃ |
| - суперфосфату | H ₂ SO ₄ , HF, пил |
| - хлориду кальцію | HCl, H ₂ SO ₄ , CaCl ₂ (пил) |
| - хлористого вапна | Cl ₂ , CaCl ₂ (пил) |
| Ацетону | CH ₃ CHO, (CH ₃) ₂ CO |
| Аміаку | NH ₃ , CO |
| Метанолу | CH ₃ OH, CO |
| Титан (IV) оксиду | TiO ₂ , FeO, Fe ₂ O ₃ |
| Ацетилену | C ₂ H ₂ , (сажа) |
| Каталізаторів | NO, NO ₂ , (пил) |
| Штучних волокон | H ₂ S, CS ₂ |

У наш час коли безвідхідна технологія перебуває в періоді становлення і повністю безвідхідних підприємств ще не існує, основним завданням газоочищення служить доведення вмісту токсичних домішок у газових викидах до гранично допустимих концентрацій, встановлених санітарними нормами.

Для захисту атмосфери від забруднення розроблена і впроваджена в промисловості велика кількість різних методів очищення газів від технічних забруднень: аерозолів, NO_2 , SO_2 , H_2S , NH_3 , CO , різних органічних і неорганічних речовин.

Методи очищення газів від аерозолів і шкідливих компонентів

Методи очищення за основним принципом можна поділити на:

- 1) механічне очищення;
- 2) електростатичне очищення;
- 3) очищення за допомогою звукової й ультразвукової коагуляції.

Механічне очищення газів включає сухі й мокрі методи. До сухих методів відносяться:

- 1) гравітаційне осадження;
- 2) інерційне й відцентроване пиловловлення;
- 3) фільтрація.

Гравітаційне осадження засноване на осадженні зважених часток під дією сили ваги під час руху запиленого газу з малою швидкістю без зміни напрямку потоку.

Інерційне осадження засноване на здатності зважених часток зберігати первісний напрямок руху при зміні напрямку газового потоку. Процес проводять у відстійних газоходах і пилоосаджувальних камерах.

Відцентровані методи очищення газів засновані на дії відцентрової сили, що виникає при обертанні газового потоку в очисному апараті або при обертанні частин самого апарата.

Фільтрація заснована на проходженні газу, що очищується, через різні фільтруючі тканини (бавовна, вовна, хімічні волокна, скловолокно та ін.) або через інші фільтруючі матеріали (кераміка, металокераміка, пористі перетинки з пластмаси та ін.).

Мокре очищення газів від аерозолів засновано на промиванні газу рідиною (звичайною водою) при якомога більшій поверхні контакту рідини із частками аерозолу й найінтенсивнішому перемішуванню газу, що очищується рідиною.

Електростатичне очищення газів є універсальним засобом, придатним для будь-яких аерозолів, включаючи тумани кислот, і при будь-яких розмірах часток. Метод заснований на іонізації й зарядженні часток аерозолу при проходженні газу через електричне поле високої напруги.

Очищення газів від пароподібних і газоподібних домішок.

Промислові способи очищення газових викидів від газо- і пароподібних токсичних домішок можна розділити на три основні групи:

- 1) адсорбція рідинами;
- 2) адсорбція твердими поглиначами;

3) каталітичне очищення.

Адсорбційний метод є одним з найпоширеніших засобів захисту повітряного басейну від забруднень.

Адсорбція – процес поглинання одного або декількох компонентів газової суміші твердою речовиною – адсорбентом. Компонент, що поглинається, називається адсорбатом або адсорбтивом. Зворотний процес – виділення газу з твердої речовини називають десорбцією. Адсорбцію поділяють на фізичну і хімічну.

Фізична адсорбція викликана взаємним притягненням молекул адсорбенту й адсорбату під дією сил Ван-дер-Ваальса.

Хімічна адсорбція супроводжується хімічною реакцією між складовими газової суміші з адсорбентом із утворенням хімічних зв'язків.

Різновидом фізичної адсорбції є заповнення пор адсорбенту рідиною, що утворюється в результаті конденсації парів.

Як адсорбенти використовують пористі тверді речовини з великою питомою поверхнею.

Промисловість використовує найрізноманітніші адсорбенти природного та штучного походження. Серед них: активоване вугілля, силікагелі, цеоліти та ін. Активоване вугілля одержують шляхом термічної обробки різних карбоновмісних речовин (дерево, кістки) і видаленням смолистих речовин, а також введенням активаторів (цинку хлориду, кислот, лугів та ін.) Питома поверхня активованого вугілля 800 – 1700 м/г. Воно добре поглинає пари органічних речовин, сульфур (IV) оксид та інші гази.

Силікагелі – продукти зневоднення гелю силікатної кислоти. Вони використовуються в основному для осушення газів. Цеоліти – синтетичні або природні мінерали-алюмосилікати, що мають переважно мікропори, їх поглинаюча здатність дуже велика, тому їх широко використовують не тільки для процесів очищення, але й для процесів розділення сумішей на окремі компоненти.

Каталітичні методи очищення газів засновані на реакціях у присутності твердих каталізаторів, тобто на закономірностях гетерогенного каталізу. Є декілька методів каталітичного перетворення домішок при очищенні газових викидів:

1. Окиснення домішок (вуглеводнів, спиртів, а також інших органічних речовин) до нешкідливих продуктів – CO_2 та H_2O .
2. Окиснення домішок (хлорорганічних речовин, оксидів азоту, сірчастого газу) до необхідних продуктів (Cl_2 , HNO_3 , H_2SO_4).
3. Відновлення домішок до нешкідливих продуктів (NO в N_2).
4. Відновлення домішок до необхідних продуктів (SO_2 в S).
5. Розкладання домішок до нешкідливих продуктів.

Термічне допалювання – це метод знешкодження газів шляхом термічного окиснення різних шкідливих речовин, головним чином органічних, до практично нешкідливих або менш шкідливих, переважно CO_2 та H_2O .

Біохімічні методи очищення засновані на здатності мікроорганізмів руйнувати й перетворювати різні сполуки. Розкладання речовин відбувається під дією ферментів, які виробляються мікроорганізмами в газовому середовищі, що

очищується. Біохімічне газоочищення проводять в біофільтрах або в біоскуберах.

Плазмохімічний метод заснований на пропусканні через високовольтний розряд повітряної суміші із шкідливими домішками.

Плазмокatalітичний метод використовує два відомих методи – плазмохімічний і кatalітичний.

Фотокatalітичний метод широко вивчається і розвивається. Базується на окисненні органічних речовин з використанням кatalізаторів на основі TiO_2 , які опромінюються ультрафіолетом.

? Запитання для самоконтролю

1. Охарактеризуйте хімічний склад атмосфери Землі.
2. Перелічіть постійні та змінні компоненти атмосфери.
3. Як впливає на формування приземного шару повітря ґрунт і рослинний покрив?
4. Чому В.І. Вернадський називав рівноважний цикл $CO_2 \leftrightarrow$ жива речовина життєвим?
5. Назвіть джерела надходження органічних речовин до атмосфери.
6. В чому полягають особливості глобального атмосферного циклу Сульфуру та Нітрогену?
7. Поясніть можливість утворення нітроген (II) оксиду при роботі двигунів внутрішнього згорання.
8. Охарактеризуйте первинні та вторинні забруднювачі атмосферного повітря.
9. Які методи використовуються для визначення хімічних забруднювачів повітря?

10. Дайте пояснення стосовно причин та механізмів утворення кислотних дощів.

Тести для самоконтролю

Виберіть правильну відповідь:

- 1. Атмосфера** – це частина біосфери:
 - а) водна;
 - б) газова;
 - в) тверда;
 - г) інший варіант.
- 2. Нижня частина атмосфери називається:**
 - а) мезосфера;
 - б) гомосфера;
 - в) гетеросфера;
 - г) тропосфера.
- 3. На які три оболонки поділяється гомосфера:**
 - а) тропосфера, стратосфера, мезосфера;
 - б) гетеросфера, мезосфера, стратосфера;
 - в) тропосфера, гетеросфера, мезосфера.
- 4. Доповніть:** Оболонка Землі над гомосферою, називається _____.
- 5. Головними компонентами атмосфери є:**
 - а) азот;
 - б) кисень;
 - в) водень;
 - г) вуглець.
- 6. Доповніть:** Джерелом надходження кисню в навколишнє середовище є процес _____.

7. **Мікрокомпоненти атмосфери – це:**
 - а) метан;
 - б) сірководень;
 - в) інертні гази;
 - г) водень.
8. **Доповніть:** Біологічний цикл карбону в навколишньому середовищі, що відбувається за схемою $\text{CO}_2 \leftrightarrow$ жива речовина, називається
9. **Закінчить речення:** «Вуглекислий газ надходить у атмосферу внаслідок _____».
10. **Закінчить речення:** Парниковий ефект – це _____.

1.3. Гідросфера

- Гідросфера та її складові частини. Хімічний склад гідросфери.
- Геохімічна класифікація вод в залежності від значень рН, Eh.
- Забруднення гідросфери.

Запитання для роздумів:

- За В.І.Вернадським, «Вода стоїть відокремлено в історії нашої планети». Чому?

Гідросфера та її складові частини

До гідросфери нашої планети, крім вод Світового океану (океани, моря, річки, озера, струмки, термальні джерела), включаються підземні (грунтові) води, вода опадів (дощ, сніг, роса, туман), води гірських

льодовиків і льоду Арктики й Антарктики, а також вода атмосферна (газоподібний стан) і вода дна водойм (у т.ч. мулів) – поверхонь розділу: «вода – повітря», «педосфера – повітря», «дно – вода» .

Сучасна складова гідросфери представлена антропогенними джерелами – водами штучних водойм; стічними водами промислових, енергетичних, сільськогосподарських підприємств; водою як побічним продуктом різних хімічних реакцій такого типу, як нейтралізації, поліконденсації, етерифікації і т.д., що мають місце у хімічній промисловості і виробництві полімерів; штучно отриманою водою в наукових цілях і військовій діяльності, у т.ч. опрісненою, переробленою з продуктів метаболізму (космічні станції), і тією, що утворилась в результаті військових випробувань зброї (наприклад водневої бомби).

Характеристика гідросфери буде не повною, якщо не враховувати воду як складову частину усіх живих організмів, без якої їх існування неможливе.

Вода визначає усі процеси у водних об'єктах, продуктивність ґрунту, метеорологічні і кліматичні процеси, життєзабезпечення усієї біосфери завдяки унікальним хімічним і фізичним властивостям. Дослідження води настільки є багатограним, що її властивості і функції вивчаються численними науками: гідрохімією, гідрологією, гідрогеологією, гідрогеохімією, гідробіологією, гідрографією, гідродинамікою, гідростатикою, гідроакустикомією і т.д. Будучи компонентом біосфери, вода вивчається і біогеохімією в аспекті міграції елементів і речовин, біогеохімічних кругообігів, фізико-хімічних бар'єрів, спільності і єдності з життям.

Води Світового океану мають високу теплоємність. Світовий океан поглинає 80% усієї сонячної радіації, яка досягає поверхні планети. Поглинальна здатність океанів складає 90 ккал/см^2 на рік, а суходолу – тільки 50 ккал/см^2 на рік. Природно, що основна частина тепла поглинається океанами в тропіках. У помірних та крайніх північних і південних широтах, навпаки, йде віддача в атмосферу. Океан – це важлива «фабрика» погоди на планеті та основний стабілізатор середньої температури Землі. За відсутності Світового океану на континентах при зміні сезонів виникали б досить різкі коливання температур, мало сумісні з існуванням живих організмів.

Світовий океан виконує й іншу роботу в біосфері. У холодних областях вода поглинає вуглекислий газ з атмосфери, а в теплих – відбувається його виділення. У цілому Світовий океан дуже важливий для планетного обміну речовин та обміну енергією.

Моря та прісні води є середовищем життя багатьох видів організмів. Вода – щільне середовище, і живі організми знаходяться в ній або в завислому стані, або підтримують себе в потрібному їм шарі води шляхом активного плавання. Життям пронизана практично вся товща гідросфери. У Світовому океані синтезується 21 млрд. тонн органічних речовин. Це в основному біомаса фітопланктону. Завдяки автотрофним морським організмам океани продукують вільний кисень. Його вихід з океанів оцінюється в 61 млрд. тонн на рік.

Континентальні води переважно прісні, їхня солоність не перевищує в середньому 1-2 г/л солей. На континентах гідросфера представлена річками та озерами. У ріки суходолу стікає приблизно

половина тієї кількості води, що випадає на суходіл у вигляді опадів. В Україні загальний стік води в річках становить 87 млрд. тонн на рік.

Для гідросфери досить важливе співвідношення рідкої та замерзлої (лід) води. Воно визначається температурними умовами. Нині під льодом знаходиться до 10% поверхні суходолу. Сукупність усього льоду планети В.І. Вернадський називав кріосферою. Потужність кріосфери не стабільна. Упродовж довгих періодів при змінах клімату в тих чи інших регіонах планети може переважати утворення льоду. Він починає вкривати поверхню ґрунту та формувати цілорічний льодовиковий щит. Такі періоди в історії Землі отримали назву льодовикових.

В останню льодовикову епоху площа льодовиків у Європі збільшилася в 2 рази, а в епоху максимального зледеніння – у 4 рази. При цьому південна межа льодовика проходила на 48° п.ш.

Формування хімічного складу природних вод зумовлене такими факторами: фізико-географічними (рельєф, випаровування, вивітрювання, ґрунтовий покрив, кліматичні особливості); геологічними (тектонічна будова, склад ґрунтових і гірських порід, гідрологічні умови); фізико-хімічними (фізичні і хімічні властивості хімічних елементів і їх сполук, рН, Eh середовища, окисно-відновні, фотохімічні і обмінні процеси); біологічними (фотосинтез і діяльність живої речовини), антропогенними (стічні викиди різноманітних виробництв та інші фактори діяльності людини).

Гідросфера відіграє величезну роль у формуванні поверхні Землі, її ландшафтів, у розвитку екзогенних процесів, у перенесенні хімічних речовин, в акумулюванні сонячної енергії, формуванні клімату. Для

багатьох організмів вода – це середовище життя, хімічний склад якого суттєво впливає на умови існування живих організмів, що видно із таблиці 1.5.

Таблиця 1.5

Середній вміст іонів у морській та прісній воді (млн.т)

| Розчинені іони | Морська вода | Прісна вода |
|-------------------------------|--------------|-------------|
| Катіони: | | |
| Na ⁺ | 10561 | 40 |
| Mg ⁺² | 1272 | 6 |
| Ca ⁺² | 400 | 26 |
| K ⁺ | 380 | 5 |
| Mn ⁺² | – | 0,005 |
| Fe ⁺² | – | 0,03 |
| Всього | 12613 | 77,035 |
| Аніони: | | |
| Cl ⁻ | 18980 | 19 |
| SO ₄ ⁻² | 2758 | 23 |
| HCO ₃ ⁻ | 142 | – |
| Br ⁻ | 65 | – |
| NO ₃ ⁻ | – | 0,2 |
| F ⁻ | – | 0,7 |
| Всього | 21945 | 43 |
| Всього розчинених іонів | 34558 | 120,035 |

Хімічний склад природних вод у природних умовах та фактори його формування. Хімічний склад води визначається розчиненими газами, іонним складом розчинених сполук макро- і мікроелементів; біогенними, органічними, радіоактивними речовинами і сучасними забруднювачами. Природні води за хімічним складом дуже різноманітні, вони умовно поділяються на 5 груп:

• головні йони, тобто йони, які містяться у найбільшій кількості. Це хлорид-йони Cl^- , сульфат-йони SO_4^{2-} , гідрокарбонат-йони HCO_3^- , карбонат-йони CO_3^{2-} , йони натрію, магнію, кальцію: Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} ;

• розчинені гази – кисень O_2 , вуглекислий газ CO_2 , сірководень H_2S ;

• біогенні елементи – сполуки Нітрогену, Фосфору, Силіцію;

• мікроелементи – всі інші хімічні елементи, які є в природних водах у дуже малих кількостях;

• органічні речовини.

Крім того, якість води визначається такими характеристиками, як твердість, лужність, окисненість, агресивність.

Хімічний склад природних вод є функцією ряду прямих та непрямих факторів.

До прямих факторів відносяться:

- 1) хімічний склад гірських порід та ґрунтів;
- 2) властивості мінералів та ґрунтів;
- 3) життєдіяльність живих організмів та діяльність людини.

До непрямих факторів відносяться:

- 1) умови, що визначають процеси взаємодії речовини з водою, кліматичні;
- 2) рельєф;
- 3) рослинність.

Головні йони. Хлорид-йони присутні майже в усіх природних водоймах. Концентрація їх змінюється від 0,1 мг/л в арктичних снігах до 150 мг/л у розсолах. В атмосферних опадах вміст Cl^- складає менше 1 мг/л, а в поверхневих та підземних водах – від 30 мг/л до 1000 мг/л.

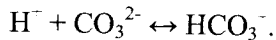
Основними джерелами надходження хлоридів у природні води є:

- 1) винос з ґрунту; 2) внесення хлоридів вітром та з Океану;
- 3) розчинення сольового пилу, що міститься в атмосфері.

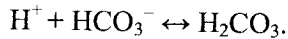
Сульфат-йони знаходяться в усіх природних водах. Концентрація їх коливається в межах 0,2 – 100 мг/л. Атмосферні опади містять SO_4^{2-} до 2 мг/л.

Джерелом сульфатів в атмосфері є пил, а також гази SO_2 , H_2S , які окиснюються до сульфатів.

Карбонатні та гідрокарбонатні йони надходять у природні води за рахунок CO_2 атмосфери, ґрунту та розчинення карбонатних порід. Співвідношення між карбонатними і гідрокарбонатними іонами у воді визначає рН води. Дисоціація HCO_3^- активно відбувається при $\text{pH} > 8,2$. А це означає, що в лужних водах переважають йони CO_3^{2-} . У водоймах з $\text{pH} < 8,2$ частина карбонат-йонів реагує з водневими йонами:



У цьому випадку співвідношення HCO_3^- та CO_3^{2-} складає 100:1. При $\text{pH} < 4,5$ відбувається процес утворення карбонатної кислоти:



Таким чином, у природних водоймах встановлюється динамічна рівновага, що визначається показником рН середовища.

Ca^{2+} – йон, який є найпоширенішим у природних водоймах. Він надходить у воду в результаті вилужування з порід та ґрунтів. Вміст

Кальцію лімітується концентрацією CO_2 . Поверхневі води під час динамічної рівноваги з атмосферним CO_2 можуть вміщувати 20 - 30 мг/л Кальцію при насиченні.

Йон Mg^{2+} за своїми геохімічними властивостями ближчий до йону Ca^{2+} . Розчинність MgCO_3 також залежить від наявності CO_2 . В умовах рівноваги з CO_2 атмосфери у природні води потрапляє до 150 мг/л магнію. Концентрація Mg^{2+} у воді зазвичай складає від 1 до 40 мг/л. Вода, що контактує з породами, багатими на магній, містить до 100 мг/л Mg^{2+} .

Йони Na^+ та K^+ надходять у природні води під час вилужування гірських порід та ґрунтів. Концентрація їх у природних водах складає: Na^+ до 20 мг/л, K^+ до 10 мг/л.

Розчинені гази – це O_2 , N_2 , CO_2 , в тій чи іншій мірі розчинені у воді і є необхідними компонентами природних водних розчинів.

Вміст O_2 визначається двома групами протилежних процесів, один з яких збільшує концентрацію O_2 , а інший її зменшує. Збагачення вод киснем відбувається в результаті їх взаємодії з атмосферою та шляхом виділення його з рослин у процесі фотосинтезу.

Поглинання O_2 пов'язане з біохімічними процесами та процесами окиснення. Кисень необхідний для дихання риб й інших водних тварин, а також для самоочищення водойм від органічних та неорганічних речовин. Багато кисню поглинається природними відкладаннями. Розчинений кисень у воді знаходиться у вигляді молекул O_2 . Концентрація його у воді від 0 до 14,6 мг/л.

CO₂ – вуглекислий газ, розчиняється у воді більше, ніж O₂ чи N₂. Зазвичай, прісні води, в яких відбуваються процеси розкладу органічних речовин, мають підвищений вміст CO₂.

Геохімічна класифікація вод у залежності від значень pH, Eh

Води містять розчинені гази, йони, недисоційовані молекули, деякі колоїдні частинки. При геохімічній класифікації необхідно чітко визначити таксономічне значення кожного компонента вод. В.І. Вернадський вважає воду особливим мінералом і виділяє 485 її видів, хоча їх кількість перевищує 1500. Всі води вчений розділяє на три підгрупи: тверду воду (лід), газоподібну (надземні і підземні пари) і рідку. У рідкій воді були виділені класи прісних, солоних і розсольних вод. В.І. Вернадський для кожного виду вод приводить хімічний елементарний склад за мірою зменшення елементів. Класифікація В.І. Вернадського геолого-геохімічна, тому що вона враховує не тільки геохімічні особливості вод, а й фізико-географічні і геологічні умови їх поширення. Розвиваючи ідею В.І. Вернадського про роль розчинених газів, А.Н. Овчинніков розробив «гідрогеохімічну систему природних вод», в якій виділяє води з газами окиснювальної здатності (N₂, O₂, CO₂ та ін.), води з газами відновлювальної здатності (CH₄, H₂S, CO₂, N₂) та води з газами не відновлювальної здатності (CO₂ та ін.). Надалі він проводить систематику по відношенню катіонів (Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺) і аніонів (SO₄²⁻, HCO₃⁻, Cl⁻). На сьогоднішній день

А.Н. Овчинніков розробив нову геохімічну класифікацію вод, що включає 6 основних таксонів: групу, тип, клас, родину, рід і вид вод.

Кожна природна вода характеризується певною величиною окислювально-відновного потенціалу ($E_o - E_h$), який, як і рН, визначається за допомогою потенціометра. E_h відрізняється від значення E_o , хоча їх співвідношення для різних елементів часто витримується.

За окислювально – відновними умовами виділяють три типи вод:

1. Тип кисневих вод (з окислювальною здатністю) характеризується наявністю у водах вільного Оксигену або інших сильних окисників $E_h > 0,15$ В.
2. Тип сульфідних вод характеризується наявністю H_2S , HS^- , S^{2-} . В таких водах Fe^+ та інші метали часто не мігрують, тому що утворюють важкорозчинні сульфідні. Величина E_h нижче 0.
3. Тип глеевих вод (з відновною безсульфідною здатністю) також характерний для гіпергенних систем. Показником є CH_4 та інші вуглеводні, розчинні органічні сполуки, Fe^{2+} , H_2 . У цій групі мігрує багато металів у формі органічних комплексів.

Таким чином, геохімічні відмінності вод пов'язані з природою відновника – наявністю або відсутністю H_2S та його похідних (HS^- , S^{2-}).

За величиною рН всі води гіпергенеза розділяються на 4 класи:

- до сильнокислих відносяться води з $pH < 3$;
- до слабкокислих відносяться води, рН яких коливається від 3 до 6,5 і їх кислотність зумовлена реакціями розкладу органічних речовин, які сприяють тому, що у воду надходять CO_2 , органічні кислоти;

- нейтральні або слабколужні води мають рН від 6,5 до 8,5. Їх реакція визначається співвідношенням $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ до CaCO_3 або $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ до CO_2 . Ці води менш сприятливі для міграції металів, які осаджуються у формі нерозчинних гідроксидів, карбонатів та інших солей (Se та ін.). Такі води характерні для морів і океанів, вапнякових вод і вивержених порід;
- сильнолужні води з рН > 8,5 зумовлені наявністю соди (NaHCO_3 , рідше Na_2CO_3). У таких водах легко мігрує кремнезем, гумати, Al, Mo.

До речі, для кожного класу вод характерні рухливі і «заборонені» елементи. Наприклад, у сильнолужних кисневих водах легко мігрують Na, Li, F, Mo, Be, D, U та інші елементи, але ці води «заборонені» для Ca, Mg, Ba, Sr, Fe.

Забруднення гідросфери

Забрудненням гідросфери за ЮНЕСКО, називається безпосереднє або непряме внесення людиною у водойми речовин або енергії, які спричиняють шкідливий вплив на біосферу.

Виділяють п'ять типів забруднювачів:

- 1) поживні речовини (добрива, детергенти тощо);
- 2) органічні речовини (до 10^{10} тонн за рік – найбільш небезпечні);
- 3) скаламучені тверді частки (10^9 - 10^{10} тонн за рік);
- 4) теплова дія (призводить до зменшення вмісту кисню у воді);
- 5) радіоактивні відходи.

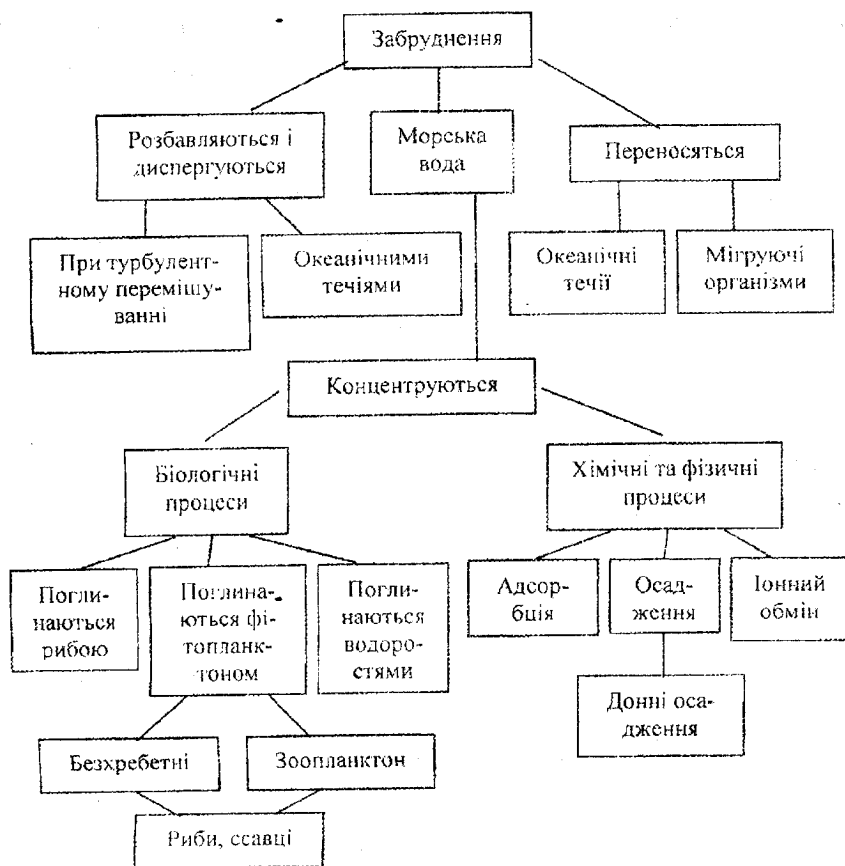


Рис. 1. Процеси, що впливають на розподіл забруднень у морській воді

Основною причиною забруднення є скидання у водойми неочищених або недостатньо очищених стоків промисловими підприємствами, комунальними та сільськогосподарськими об'єктами (рис.1). Аналогічну дію спричиняють залишки мінеральних та

органічних добрив і пестицидів, які вимиваються з ґрунту. Такі стічні води можуть змінювати хімічний склад, органолептичні властивості та вносити в розчиненому чи завислому стані нові інгредієнти, не властиві природним водам. Теплове забруднення спричиняється спуском у водойми підігрітих вод від ТЕС, АЕС та інших енергетичних підприємств. Тепла вода змінює термічний і біологічний режим водойм й шкідливо впливає на їх мешканців. Чорнобильська катастрофа створила умови для надходження радіоактивних продуктів у водні об'єкти України та осідання їх на ґрунті з наступною міграцією підземними водами. Основними радіонуклідами, що формують радіоекологічну ситуацію, є Стронцій-90 (період напіврозпаду – 29 років) і Цезій-137 (період напіврозпаду – 30 років).

Подальша доля забруднювача в гідросфері залежить від його реакційної здатності та доступності реакційних центрів: фізичного, хімічного та біологічного.

? Запитання для самоконтролю

1. Що собою представляє сучасна складова гідросфери?
2. Чому для здоров'я людини сприятливе перебування на морському березі, біля водоспаду або на берегах гірських річок?
3. Як змінювався склад Світового океану під впливом біогеохімічної діяльності протягом геологічної історії?
4. Які біогеохімічні фактори впливають на склад річкових вод?
5. Назвіть основні форми знаходження хімічних елементів у річкових водах?

6. Яке співвідношення мас елементів, що знаходяться у розчинній формі і у складі завислих речовин у річкових водах.
7. Яке геохімічне значення підземної атмосфери?
8. Яке значення електрохімічних процесів у земній корі?
9. Чому значення окислювально-відновного потенціалу E_h недостатньо для геохімічної характеристики відновлювального середовища?
10. У чому полягає особливість класифікації вод за загальною мінералізацією?

Тести для самоконтролю

Виберіть правильну відповідь:

1. До гідросфери нашої планети, крім вод Світового океану, включаються:
 - а) підземні води;
 - б) вода опадів;
 - в) води гірських льодовиків;
 - г) живі організми.
2. **Формування хімічного складу природних вод зумовлене факторами:**
 - а) фізико-хімічними;
 - б) фізико-географічними;
 - в) механічними;
 - г) антропогенними.
3. **Доповніть:** За окиснювально-відновними умовами виділяють _____ типи вод. Ці типи залежать від вмісту у воді O_2 , H_2 , H_2S та інших газів, важливе значення мають Fe^{2+} , Fe^{3+} , S^{2-} , HS^- , H^+ , OH^- та інші іони.

4. Для кисневих вод у зоні гіпергенезу і у лужному середовищі Eh має значення:

- а) $Eh > 0,15$ В;
- б) $Eh < 0$;
- в) величина Eh не відповідає ролі;
- г) $Eh = 0,3 - 0,5$ В.

5. Показником відновлювального середовища для типу глейових вод є наявність:

- а) H_2S ;
- б) S^{2-} ;
- в) CH_4 ;
- г) HS^- .

6. Головним критерієм відновлювальної здатності для типу кисневих вод є:

- а) Fe^{2+} і відсутність вільного Оксигену;
- б) Fe^{3+} , Cu^{2+} , S^{+6} ;
- в) наявність вільного Оксигену;
- г) CH_4 , H_2 , Fe^{2+} .

7. Геохімічні відмінності вод з відновлювальною здатністю зв'язані з:

- а) рН ;
- б) величиною Eh;
- в) природою відновника;
- г) природою окисника .

8. **Доповніть:** Значна частина осадів утворюється за рахунок продуктів вивітрювання і механічного руйнування гірських порід, що утворюють континент. Такі осадки, принесені в моря із землі, називаються _____.

9. Океанічна вода має геохімічну особливість, яка заключається в тому, що співвідношення основних іонів залишається сталим.

Основну масу солей становлять:

- а) сульфати;
- б) хлориди;
- в) карбонати;
- г) гідрокарбонати.

10. **Закінчіть речення:** Безпосереднє або непрямє внесення людиною у водойми речовин або енергії, які спричиняють шкідливий вплив на біосферу, називається процесом _____ гідросфери.

1.4. Жива речовина та ґрунти

- Жива речовина, її склад.
- Надходження хімічних елементів у живу речовину.
- Ґрунти, їх функції та властивості.
- Особливості гумусосфери.

Запитання для роздумів:

- *Як пояснити вислів В.І. Вернадського, що на земній поверхні немає хімічної сили більш могутньої та постійно діючої за своїм кінцевим наслідком, ніж живі організми, взяті в цілому?*

Жива речовина, її склад

«Життя проявляється у неперервних у планетарному масштабі закономірних міграціях атомів в один бік – з біосфери у живу речовину і в зворотній бік – із живої речовини в біосферу» – писав

В.І. Вернадський. Нині маса живої речовини Землі визначається з точністю до порядку величин. Враховуючи організми суходолу і моря, маса живої речовини оцінюється величиною $n \times 10^{13}$ т. Маса земної кори до глибини 16 км, включаючи гідросферу та атмосферу, становить близько $2,5 \times 10^{19}$ т.

У живій речовині визначено понад 80 хімічних елементів. Із збільшенням точності та чутливості виконаних аналізів можна сподіватися на те, що всі хімічні елементи Землі присутні у складі організмів, хоча і в різко відмінних кількостях.

Середній склад живої речовини зручно уявити, якщо розділити хімічні елементи, що входять до її складу, на декади, кожна з яких відрізняється від наступної зміною вмісту в 10 разів (табл.І.6).

Таблиця І.6.

Хімічний склад живої речовини, %

| Декада | Маса | Елемент |
|--------|------|----------------|
| 1 | > 10 | O, H |
| 2 | 1,0 | C, N, Ca |
| 3 | 0,1 | P, Si, K, Cl |
| 4 | 0,01 | Mg, Fe, Na, Cl |

Усі інші хімічні елементи входять до складу живої речовини у кількостях, менших від 0,01%. Варто відмітити таких *три особливості хімічного складу живої речовини*:

1. У складі живої речовини різко *переважають легкі атоми*. Вони ж в основному будують і земну кору. Причина цього явища полягає в особливостях будови атомів легких елементів, зокрема в їх надзвичайно високій стійкості в космосі.

2. На 90% жива речовина побудована з *Оксигену та Гідрогену* й основна їх кількість знаходиться у воді. Організми – водні утворення. Вода – те середовище, у якому відбуваються усі найскладніші хімічні реакції, що забезпечують життя, ріст та розмноження організмів.
3. Чотирнадцять елементів, що становить 99,9% маси живої речовини, це не випадкова сукупність. Ці ж самі елементи утворюють 98,9% маси всієї земної кори. Життя побудоване з тих самих хімічних елементів, які знаходяться в надлишку на поверхні нашої планети. Це забезпечує його стійкість. Однак *елементи входять у живу речовину зовсім не у тих пропорціях, в яких вони існують у середовищі*. Щоб переконатися в цьому, достатньо порівняти склад живої речовини (табл.1.6) з хімічним складом атмосфери, літосфери, гідросфери (табл.1.7).

Таблиця 1.7

Хімічний склад геосфер Землі, %

| Декада | Маса | Гідросфера | Атмосфера | Літосфера |
|--------|-----------|----------------------|------------|---|
| 1 | $>10^1$ | O, H | N, O | O, Si |
| 2 | 10^0 | Cl, Na | Ar | Al, Fe, Ca, Na, K, Mg |
| 3 | 10^{-1} | Mg, S | H | Ti, C |
| 4 | 10^{-2} | Ca, K | C | Mg, P, Ba, S, Cl, Sr, Rb, F, Cr, Zr, V, N |
| 5 | 10^{-3} | Br, C, Sr | Cl, Na, S | - |
| 6 | 10^{-4} | B, P | Mg, Ca, Ne | - |
| 7 | 10^{-5} | Si, Rb, Zn, Ba, N | P, Cr | - |
| 8 | 10^{-6} | Li, I, Fe, As, Al, V | - | - |

Склад живої речовини не відповідає складу жодної оболонки Землі. Тільки перша декада та сама, що і в гідросфері. Карбон знаходиться в третій декаді в літосфері, у четвертій в атмосфері, у п'ятій в гідросфері. Живі організми концентрують Карбон, тому в складі живої речовини він піднімається в другу декаду. Нітроген поглинається рослинами з ґрунту та води. Силіцій концентрується живою речовиною моря з розсіяного стану в десятки тисяч разів. На суходолі спостерігається протилежна ситуація – збіднення організмів Силіцієм у порівнянні з його вмістом у літосфері.

Отже, відбувається перерозподіл хімічних елементів, вибіркоче їх поглинання живою речовиною біосфери.

Надходження хімічних елементів у живу речовину

Для характеристики надходження хімічного елемента у живу речовину використовують **кофіцієнт біологічного поглинання (КБП):**

$$КБП = \frac{X}{K_x},$$

де: X – середній вміст хімічних елементів у золі рослин (%);

K_x – середній вміст хімічних елементів у літосфері (кларк, %).

Показник, за яким визначається біологічна роль елемента, називається **біофільністю (Б)** елемента. Цей критерій запропонував О.І. Перельман для кількісної оцінки групи, до якої належить елемент.

Біофільність визначають майже так само, як і КБП (безрозмірна одиниця), тільки вміст елемента визначається не в золі, а в живих організмах:

$$B = \frac{X}{K_x},$$

де: X – середній вміст елементів у живій речовині (%);

K_x – (кларк) середній вміст елементів у літосфері (%).

Найбільш біофільними елементами є:

C (Б 7800) O (Б 1,5) P (Б 0,75).

N (Б 160) Cl (Б 1,1)

H (Б 70) S (Б 1,0)

Точно встановити кларки хімічних елементів у живій речовині надзвичайно важко як через різноманітність живих організмів, так і через їх метаболічну активність. За основу кларків живої речовини береться фітомаса, яка різко переважає над зоомасою. Головною формою рослин на суші є дерева, тому визначення кларків у живій речовині часто зводиться до визначення складу деревини. Вміст мікро- і ультрамікроелементів у живій речовині визначають у золі (мінеральні частки організмів), а потім перераховують на живу масу. На суші на частку цих елементів приходиться менше 0,1 % маси.

Відмічено, що поглинання рослинами хімічних елементів залежить від їх властивостей: маси, валентності, полярності і т.п. Але найголовніша властивість – це положення даного елемента в періодичній таблиці Д.І. Менделєєва відносно лінії поживних

речовин: життєво необхідні елементи лежать на лінії, домішки – поруч. С.М. Ткалич вивів **правила**, за якими визначають «корисність» хімічних елементів для живих організмів:

- 1) хімічні елементи, що лежать на лінії поживних речовин, найбільш розповсюджені в біосфері;
- 2) вміст хімічних елементів у золі рослин зменшується в міру віддалення від лінії поживних речовин;
- 3) у міру віддалення хімічних елементів від лінії поживних речовин їх коефіцієнт біологічного поглинання (КБП) зменшується;
- 4) при збільшенні атомної маси елемента зростає його токсичність.

Залежно від значення КБП О.І. Перельман розділив елементи на дві групи (табл. 1.8).

1. **Елементи біологічного накопичення** (17 елементів) – КБП яких набуває значення від 1 до 100 та більше (для С, Н, О, N, КБП неможливо розрахувати) – Р, Вг, Cl, I, S, Ca, K, Na, Zn, Mg, В, Se, Sr.
2. **Елементи біологічного захоплення** (КБП менше 1) – Fe, Al, Cu, Co, Sn, Pb, Ba, V, A ... (всі інші), що наведено в табл. 1.8.

У залежності від біологічної ролі Б.Б. Полинов розділив хімічні елементи на **органогени** (21 хімічний елемент) та **домішки** (понад 50).

**Ряди біологічного поглинання хімічних елементів
(за О.І.Перельманом)**

| Елементи | | Коефіцієнти біологічного поглинання | | | | |
|--------------------------|---------------------------|-------------------------------------|------|--|-----|----------------|
| | | 100•n | 10•n | n | 0•n | 0.0•n – 0.00•n |
| Біологічного накопичення | енергійного | P, S, Cl, Br, I | | | | |
| | сильного | | | Ca, Na, K, Mg, Sr, Zn, B, Se | | |
| Біологічного захоплення | середнього | | | Mn, F, Ba, Ni, Ge, Cu, Ga, Co, Pb, Sn, As, Mo, Hg, Ag, Ra, Au | | |
| | слабкого та дуже слабкого | | | Si, Al, Fe, Ti, Zr, Rb, V, Cr, Li, Y, Nb, Th, Sc, Be, Cr, Ta, U, W, Sb, Cd | | |

Органогени діляться на:

- **абсолютні органогени** (8 елементів) – без них неможливе існування життя на Землі: O, H, C, N, Mg, K, P, S;
- **спеціальні органогени** (13 елементів) – елементи, які необхідні багатьом, але не всім видам живих організмів: Si, Na, Ca, Fe, Sb, F, Mn, Sr, B, Br, Cz, I, Zn.

Домішки діляться на:

- **екологічні домішки** – елементи, які частково споживаються рослинами та можуть накопичуватись в деяких із них;
- **абсолютні домішки** – елементи, які не тільки частково не споживаються рослинами, але й не можуть накопичуватись в них (благородні гази, деякі розсіяні елементи).

Грунти, їх функції та властивості

У біосфері крім живої і безживної речовини існують біобезживні системи. Біобезживні тіла характерні для біосфери, для якої вони відіграють виняткову роль. Вони складаються з живих і безживних тіл одночасно, причому неврахування живої матерії при характеристиці біобезживних тіл неможливе. Яскравий приклад таких систем – ґрунти, про що вперше говорив В.В. Докучаєв. Ще у 80-х роках ХІХ століття він визначив ґрунт як природно-історичне тіло, що утворюється під впливом клімату та живих організмів із геологічних порід.

Говорячи про роль та місце ґрунту в природі, слід насамперед зазначити, що він знаходиться на межі взаємодії планетарних оболонок Землі – літосфери, атмосфери, гідросфери, формуючи при цьому особливу геосферу – педосферу, або ґрунтовий покрив Землі. Одночасно ґрунт є компонентом біосфери, тобто області поширення життя на Землі.

Ґрунт у природі виконує глобальні функції.

Перша і головна з них – забезпечення існування життя на нашій планеті. У ґрунті акумулюються необхідні організмам літофільні

елементи в доступних формах хімічних сполук. Без ґрунту неможливе існування природних асоціацій живих організмів. Діалектична єдність біосферних процесів полягає в тому, що ґрунт є наслідком життя і водночас умовою його існування.

Друга глобальна функція полягає в забезпеченні ґрунтом постійної взаємодії великого геологічного та малого біологічного кругообігів речовин на земній поверхні.

При формуванні земної кори, вулканізмі, розломах первинні гірські породи зазнають процесу фізичного вивітрювання. У верхній частині утворюється ґрунт, який акумулює елементи живлення організмів, що поглинаються рослинами і через ряд проміжних циклів (рослини – тварини – мікроорганізми) повертаються знову в ґрунт, що і складає біологічний кругообіг речовин. Але ці елементи частково виносяться атмосферними опадами в гідрографічну мережу, у зони акумуляції і, врешті-решт, до Світового океану, де з них утворюються осадові породи, які в геологічній історії Землі можуть вийти на поверхню, або зазнати глобального метаморфозу. У цьому полягає геологічний кругообіг речовини. Отже, ґрунт виконує роль регулятора взаємодії двох кругообігів речовин.

Третя глобальна функція ґрунту – це регулювання хімічного складу атмосфери та гідросфери. «Дихання» ґрунту разом з фотосинтезом та диханням живих організмів відіграє визначальну роль у створенні та підтриманні складу приземного шару атмосфери, а через нього і атмосфери в цілому. З іншого боку, ґрунтове покриття визначає склад речовин, які потрапляють до гідросфери завдяки глобальному кругообігу води.

Четверта глобальна функція ґрунту полягає в регулюванні біосферних процесів, зокрема щільності життя на Землі, розподілу і характеру біомаси. Звичайно, у цьому вирішальну роль відіграє клімат, але й роль ґрунту, зумовлену його географічною неоднорідністю, теж не можна недооцінювати.

П'ята глобальна функція ґрунту – це акумуляція активної органічної речовини та пов'язаної з нею хімічної енергії на земній поверхні. Один грам перегною ґрунту (гумус) – це близько 20 кДж енергії.

Коли мова заходить про роль ґрунту в житті людського суспільства, слід, насамперед, виходити з того, що, маючи родючість, ґрунт виступає як основний засіб виробництва в сільському господарстві. Використовуючи ґрунт, людина змінює напрямок і інтенсивність ґрунтоутворення. Вона впливає безпосередньо на властивості ґрунту, його режими і родючість. У такій же мірі людина впливає на природні фактори, які визначають ґрунтоутворення.

ґрунти – верхній горизонт літосфери, задіяний в біологічний кругообіг за участю рослин, тварин і мікроорганізмів. Це область максимальної геохімічної енергії живої речовини, яка характеризується особливою нерівноважністю та динамічністю. Процес ґрунтоутворення призводить до диференціації хімічних елементів – однорідна гірська порода перетворюється в неоднорідний ґрунговий профіль, що складається з окремих горизонтів. З геохімічної точки зору ґрунтоутворення полягає в окисно-відновних реакціях, тому і основні відмінності між ґрунтами пов'язані саме з цими реакціями. Усі ґрунти характеризуються окисно-відновною

зональнiстю, а головний елемент останньої – Ферум ($Fe^{2+} \leftrightarrow Fe^{3+}$). Окисно-вiдновна зональнiсть вiдображає найважлившi геохімічні особливостi бiобезживних систем – процеси розкладу органiчних речовин. Загалом видiляють три основні геохімічні ряди: 1) з окисними умовами (глибоке залягання ґрунтових вод, насиченiсть киснем). Ці ґрунти також називаються автономними або елювiальними; 2) з глеєвими умовами (постiйне або перiодичне перезволоження); 3) з вiдновними сiрководневими умовами (переважно солончаки).

Особливостi гумусосфери

Ґрунт – вiдкрита пiдсистема в геохімічному ландшафті. Вона регулює процеси мiграцiї речовини у ландшафтах, виявляючи буфернiсть по вiдношенню до забруднювальних речовин.

Значна частина сполук елементiв, що знаходиться на поверхні ґрунту з водними потоками, затримується у верхньому шарі ґрунту. Склад і кiлькiсть утримуваних елементiв залежать вiд вiмiсту і складу гумусу, кислотно-основних і окислювально-вiдновних умов, сорбцiйної здатностi, iнтенсивностi бiологiчного поглинання. Iнша частина елементiв проникає усередину ґрунтової товщi з радiальними потоками, а також механiчним шляхом за рахунок дiяльностi ґрунтової фауни.

У межах ґрунтового профiлю потiк речовин зустрiчає ряд ґрунтово-геохімічних бар'єрiв. До них вiдносяться карбонатні, гiпсові, солонцеві, глеєві, iлювiально-залiзисто-гумусові горизонти

тощо. Частина високотоксичних елементів може переходити у важкодоступні для рослин сполуки, інші елементи, мобільні в даній ґрунтово-геохімічній обстановці, може мігрувати у ґрунтовій товщі, становлячи потенційну небезпеку для біоти. Частина елементів може виноситися за межі ґрунтового профілю, хоча в ґрунтах з водозастійним режимом такі біогеохімічні активні легкодоступні речовини можуть становити найбільшу небезпеку.

Рухомість елементів суттєво залежить від кислотно-основних і окислювально-відновних умов у ґрунтах. У кислих ґрунтах з переважно окисними умовами (підзолисті ґрунти) такі елементи, як Hg і Cd, утворюють легкорухомі сполуки, але велика група сполук елементів у цих умовах слаборухома (Pb, As, Se). У кислих глеєвих ґрунтах (тундровоглейові, глеєво-підзолисті) рухомість більшості елементів зменшується. Якщо в складі забруднюючих речовин присутні сполуки Сульфуру, то малорухомі сульфідні сполуки можуть утворюватися у відновних умовах.

У нейтральних ґрунтах рухомі сполуки Цинку, Ванадію, Арсену, Селену можуть бути вилуджені при сезонному промиванні ґрунтів. Нагромадженню ряду елементів у нерухомих і слаборухомих сполуках сприяють процеси ізоморфного заміщення в кристалічних решітках, сорбція, співосадження з півтораоксидами, утворення слаборозчинних органо-мінеральних комплексів. Присутність у складі мулістої фракції монтморилоніту, невикристалізованих півтора оксидів, гумінових кислот підсилює сорбційні бар'єри.

Нагромадження рухомих, особливо небезпечних для біоти сполук елементів залежить від водного і повітряного режимів ґрунтів:

їх акумуляція найменша у водопроникних ґрунтах промислового режиму, збільшується в ґрунтах з непромивним режимом і максимальна в ґрунтах з випітним режимом. При випарній концентрації і лужній реакції середовища можуть накопичуватися Se, As, V у легкодоступних для рослин формах, а в умовах відновного середовища – Hg у вигляді метильованих сполук.

Гумус повільно залучається в кругообіг елементів завдяки його мінералізації ґрунтовими мікроорганізмами. Він становить до 90% загального запасу органічних речовин у ґрунтах і містить у хімічних зв'язках $\sim n \times 10^{20}$ кДж енергії. Стільки ж за порядком енергії знаходиться в біомасі суходолу нашої планети. Звідси зрозуміло, наскільки *важливо розкрити таємниці утворення гумусу, оскільки для людства це буде мати не менш важливе значення, ніж опалювання термоядерною енергією*. Адже енергія гумусу витрачається в потрібному місці, в потрібний час і в потрібній кількості, на відміну від енергії термоядерного синтезу.

Запаси гумусу в ґрунтосфері Землі становлять $(2,4 - 2,5) \times 10^{12}$ т. Найбільше його в чорноземах лучних степів – 400-700 т/га, а найменше – у ґрунтах тундр та пустель – 0,6-0,7 т/га. *Гумус значно відрізняється не тільки за кількісним вмістом у ґрунтах різних типів, а й за якістю*, бо він утворюється при розкладенні рослинних решток неоднакового хімічного складу і в різних умовах. У накопиченні гумусу бере участь специфічний для кожної природної зони комплекс організмів.

? Запитання для самоконтролю

1. Що таке жива речовина?
2. Які види живої речовини Вам відомі? Розкрити їх значення для існування біосфери.
3. Який хімічний склад живої речовини?
4. Які основні функції речовини у прижиттєвому обміні речовини?
5. У чому суть закону біологічного поглинання? Як розподіляються хімічні елементи залежно від їх значення?
6. Що таке коефіцієнт біологічного поглинання?
7. Як впливає антропогенна діяльність на живу речовину у Світі і в Україні?
8. Які типи ґрунту Вам відомі?
9. Які функції ґрунту?
10. Яким чином відбувається утворення гумусу? Яке значення гумусу для існування життя на суші?

Тести для самоконтролю

Виберіть правильну відповідь:

1. **Закінчіть речення:** Сукупність живих організмів у біосфері називається _____.
2. **Доповніть:** Показник, за яким визначається біологічна роль елементу, називається _____.
3. **До елементів біологічного накопичення відносяться:**
 - а) P, S, Ca, Na, Zn;
 - б) Mn, F, Ba, Ni, Ge;
 - в) Cu, Ga, Co, Pb, Sn;

- г) Si, Sc, Be, W, Cr.
4. Для елементів біологічного захоплення КБП має значення:
- а) від 1 до 100;
 - б) менше 1;
 - в) більше 1;
 - г) більше 100.
5. Коefіцієнт біологічного поглинання – це:
- а) коефіцієнт для характеристики надходження хімічного елемента у живу речовину;
 - б) показник, за яким визначається біологічна роль елемента;
 - в) величина, що відображає швидкість накопичення хімічних елементів у фітоценозі;
 - г) кількість (маса) хімічних елементів, що знаходяться в складі біомаси (фітомаси) зрілого фітоценозу.
6. Доповніть: Продукт, який утворюється за участю живої речовини внаслідок посмертного розкладу органічних залишків, їх мінералізації зі звільненням зольних (мінеральних) елементів та синтезом якісно нових органо-мінеральних сполук, називається _____.
7. Елементи, без яких неможливе існування життя на Землі, називаються:
- а) абсолютні органогени;
 - б) спеціальні органогени;
 - в) елементи біологічного накопичення;
 - г) елементи біологічного захоплення.
8. Елементи, які частково споживаються рослинами та можуть накопичуватися в деяких із них, називаються:
- а) екологічні домішки;
 - б) елементи біологічного накопичення;
 - в) абсолютні домішки;

- г) елементи біологічного захоплення.
9. **Доповніть:** Всі ґрунти характеризуються _____ зональністю.
10. **Зональність відбувається за допомогою:**
- а) процесів розкладу органічних речовин;
 - б) швидкості накопичення хімічних елементів у фітоценозі;
 - в) поглинання хімічних елементів живими організмами із середовища існування;
 - г) процесів утворення, відмирання та розкладання живої речовини.

1.5. Міграція хімічних елементів

- Характеристика міграції хімічних елементів
- Фактори міграції
- Види міграції
- Геохімічні бар'єри

Запитання для роздумів:

- Чи дійсно міграція хімічних елементів є підтвердженням закону міграції В.І. Вернадського?

Характеристика міграції хімічних елементів

Постійний рух і переміщення хімічних елементів у природі, періодично завершуючись циклом, є міграція. Міграція хімічних елементів безперервна й охоплює всю біосферу. Закон міграції, сформульований В.І. Вернадським, стверджує: «Міграція хімічних елементів у біосфері відбувається при особистій участі живої речовини

(біогенна міграція), або ж відбувається в обстановці, геохімічні особливості якої (наявність O_2 , H_2 , CO_2) обумовлені живою речовиною – як тією, що тепер існує на Землі, так і тією, що виникла протягом минулих геологічних епох».

Йонні радіуси визначають розчинність сполук, їх твердість, температури плавлення і кипіння, структуру й енергію кристалічних ґраток мінералів; від них залежать міграційні здатності, особливості поширення елементів. Величина радіусів атомів елементів зростає у групах, а в періодах – навпаки, зменшується; за діагоналлю – мають близькі розміри (правило діагональних рядів О.Є. Ферсмана); зі збільшенням заряду катіону – зменшується; зі збільшенням заряду аніону – зростають. Роботами О.Є. Ферсмана встановлено, що дальність міграції зростає зі збільшенням радіуса йона хімічних елементів.

Фактори міграції

Фактори, що впливають на міграцію хімічних елементів, поділяють на дві групи: внутрішні та зовнішні.

До внутрішніх факторів відносяться:

- а) форма перебування елемента і його хімічні властивості;
- б) фактор електростатичних властивостей йонів, що мігрують, або показник Картледжа:

$$PK = Z / R_{\text{й}}$$

де: Z – заряд йона, $R_{\text{й}}$ – радіус йона, A° ;

в) енергетичні коефіцієнти для катіонної (ЕК кат.) і аніонної (ЕК ан.) міграцій:

$$EK \text{ кат.} = W^2 / 2 Ri \cdot [0,75 (Ri + 0,2)]$$

$$EK \text{ ан.} = W^2 / 2 Ri,$$

де: W – валентність елемента (заряд йона);

Ri – радіус йона, Å .

Чим більшою є величина ЕК, тим менша віддаленість міграції йонів.

За величиною йонних показників, або картлей, усі хімічні елементи поділяють на три групи:

- 1 група – $ПК \leq 3$ (катіони легко переходять до природних вод, комплексні йони не утворюються);
- 2 група – $ПК = 3 - 12$ (утворюються комплексні йони та погано розчинні гідролізовані сполуки);
- 3 група – $ПК > 12$ (утворюються добре розчинні аніони, наприклад CO_3^{2-} , і комплексні оксигеновмісні йони).

Таким чином, хімічний характер йонів можна встановити за величиною потенціалу Картледжа.

До зовнішніх факторів міграції хімічних елементів відносяться:

- 1) температура;
- 2) тиск;
- 3) показник концентрації іонів гідрогену (рН);
- 4) показник Eh.

Зовнішні фактори визначаються станом навколишнього середовища, не залежать від індивідуальних властивостей міграції речовини і включають такі фактори:

- 1) космічна міграція, що включає гравітаційну, променеву, теплову енергію, тиск і електричні поля;
- 2) фактори міграції в розплавах, що включають умови гравітаційної рівноваги та дифузію;
- 3) фактори міграції у водних розчинах, що включають умови міграції як при високих температурах, так і при низьких;
- 4) фактори міграції в газових сумішах і надкритичних розчинах;
- 5) фактори механічної міграції;
- 6) фактори міграції в колоїдах і монокристалічному середовищі;
- 7) фактори міграції у твердих тілах;
- 8) фактори міграції біохімічної і промислової;
- 9) інші фізико-хімічні фактори.

Види міграції

Міграція хімічних елементів поділяється на декілька видів:

- механічна;
- фізико-хімічна;
- біогенна;
- техногенна.

Механічна міграція (механогенез) обумовлена роботою річок, течій, вітру, льодовиків, вулканів, тектонічних сил та інших факторів. Характерний вплив механогенезу – роздрібнення гірських порід та

мінералів, що призводить до збільшення їх дисперсності, розчинності, розвитку сорбції та інших поверхневих явищ. Під час диспергування різко збільшується сумарна поверхня часточок та їх поверхнева енергія, розчинність мінералів, відбувається розкладення багатьох мінералів. Під час механічної міграції важкі мінерали поводяться як часточки більш крупного розміру. Механічне переміщення мінералів залежить від їх твердості і здатності до вивітрювання, а дальність – ще й від здатності до хімічного вивітрювання.

Механічна денудація – переміщення часточок речовини водними потоками на поверхні суші. Інтенсивність процесу залежить від клімату, геологічної будови та рельєфу.

Еолові процеси класифікуються за ступенем віддаленості переміщення завислих часточок в атмосфері від поверхні Землі:

- локальне перенесення, міграція на десятки та сотні кілометрів;
- тропосферне перенесення, на висотах до 12 км. На сотні і тисячі кілометрів;
- стратосферне перенесення, на висотах до 60 км. Часточки можуть багаторазово обходити земну кулю.

Основною характеристикою механічної міграції є її показник. Показник механічної міграції:

$$P_m = m / s; \text{ т / км}^2,$$

де m : – річна витрата завислих часточок у створі водотоку,

s – площа басейну водотоку.

Фізико-хімічна міграція пов'язана з переміщенням елементів у природних водах, силікатних розплавах (магмах), атмосфері та

підлягає закономірностям різноманітних фізико-хімічних процесів (дифузії, сорбції, розчинення, осадження та ін.). В.М. Гольдшмідт і О.Є. Ферсман були основоположниками йонної концепції в геохімії трактування поведінки елементів у розчинах та розплавах із врахуванням властивостей їх йонів (розмірів радіусів, величини зарядів, тощо). В.М. Гольдшмідт розраховував радіуси йонів більшості елементів та їх сполук і на цій основі пояснив явище ізоморфізму.

Ізоморфізм – це заміщення в кристалічній ґратці мінералів одних йонів та атомів іншими з близькими розмірами. З даної позиції отримали пояснення факти сумісного знаходження елементів у мінералах (K, Ba і Pb; Mo, Fe²⁺ і Ni; Zn і Hf; Ta і Nb; K і Tl; Ca і Na; K і Ba та ін.).

Крім йонів, у багатьох природних водах містяться недисоційовані молекули різних сполук, у т.ч. органічних. Зустрічаються і сполуки в колоїдному стані. Встановлено, що в силікатних розплавах разом із простими йонами (K⁺, Na⁺ і т.д.) розповсюджені комплексні, наприклад [Zn(OH)₄]⁻ або [Pb(OH)₄]⁻. У гідротермальних розчинах часто присутні карбонатні комплекси металів, наприклад [UO₂(CO₃)₃]⁴⁻. Досить типові комплексні іони також для поверхневих і ґрунтових вод.

У мінералах відкриті вільні радикали, що утворюються під впливом ультрафіолетового і радіоактивного випромінювання або інших фізичних факторів. Знайдені такі «незвичайні» йони, як Zn³⁺, Hf³⁺, CO₃⁻, SO₂⁻, SO₃⁻ тощо. Наприклад, з йоном Pb⁺, що входить в кристалічну ґратку польових шпатів, пов'язують зелене забарвлення амоніта, з наявністю Ti³⁺, Fe³⁺, Fe⁴⁺ – фіолетове та інтенсивно сине забарвлення відповідно кварцу, аметиста та лазуриту. Вивчення

вільних радикалів дозволяє розв'язувати різноманітні геологічні задачі.

Важливу роль в земній корі відіграє йонний обмін, найбільш детально від досліджений у ґрунтах та глинах. У гідротермальних умовах до нього здатні польові шпати, фельдшпати, слюди, деякі титано- та цирконосилікати, тантало-ніобати, сульфідні та інші мінерали.

Під час фільтрації вод через гірські породи і ґрунти відбуваються електрохімічні процеси. Так, на поверхні сульфідних мінералів виникає стрибок потенціала, і сульфідні окиснюються. З цим явищем пов'язані численні процеси утворення багатьох руд, особливості пошуку сульфідних родовищ.

Геохімія магматичних, гідротермальних та гіпергенних процесів вивчається на основі уявлень про властивості йонів. Силікатні розплави являють собою йонно-електронні рідини. Вони містять полімерні ланцюги силікатних та алюмосилікатних аніонів з впорядкованою будовою.

Геохімічна специфіка магм у більшості визначається летючим компонентом – парами H_2O , CO_2 , Cl_2 , F_2 та ін. Водна пара і F_2 сприяють деполімеризації кремнекисневих ланцюгів аніонів. У межах окремих типів магматичних порід спостерігаються геохімічні відмінності. Особливо детально вони вивчені у гранітах, серед яких зустрічаються різновиди з підвищеним вмістом рудних елементів (рідкометальні, олово- і вольфрамоносні тощо).

Геохімія гідротермальних процесів багато уваги приділяє сучасним гідротермам (гарячим водам). Вони використовуються як

джерела теплової та електричної енергії. В артезіанських басейнах багатьох районів знайдені глибинні термальні розсоли. Багато металів утворюють в цих водах хлоридні комплекси. Вивчення підземних вод, що надходять у впадини морського дна (наприклад металоносні розсоли впадин Червоного моря, збагачені Mn, Fe, Zn, Pb, Cu, Co), має велике значення при характеристиці гідротерм.

Із гідротерм рудні елементи осаджуються у великих об'ємах гірських порід, які поділяються на промислові поклади корисної копалини (рудне тіло) і первинний геохімічний ареал розсіяння, в якому концентрація елементів не досягає кондицій. Запаси елементів-супутників в ареалах завжди більші, ніж в рудних тілах. Часто за запасами головних руд елементів ареалами не поступаються рудним тілам.

Вивчення первинних ареалів покладено в основу геохімічних методів пошуку корисних копалин.

Процеси, що відбуваються під дією температури і тиску, що близькі до умов земної поверхні, називаються гіпергенними. Для них також характерна йонна міграція.

Велика кількість елементів мігрують в земній корі у газоподібному стані. Розроблена геохімічна класифікація газів, досліджені процеси їх утворення і міграції. У зонах глибинних розломів і вулканах із земних надр до поверхні мігрують He, Ar, пари H₂O, CO₂ та інші гази. На основі визначення вмісту цих газів складені карти глибинних розломів, прогнозування землетрусів, пошуку рудних родовищ, покладів нафти і газу. Особливо детально вивчена геохімія CH₄ та інших вуглеводневих газів.

Вивчення геохімії радіоактивних процесів у земній корі та ізотопів привело до розробки абсолютної шкали геологічного часу. Встановлені вік Землі як планети (близько 4,5 млрд. років), тривалість окремих геологічних епох та періодів, окремих подій історії людства. Визначення вмісту радіо- і нерадіоактивних ізотопів у гірських породах, рудах, мінералах, водах, живих організмах, атмосфері дозволило розв'язати багато задач у науках про Землю (генезис руд, ґрунтознавство, морська геологія та ін.). Ці питання складають зміст геохімії ізотопів. Радіаційно-хімічні явища спостерігаються у багатьох мінералах. Під дією випромінювання урану (U) та торію (Tr) зв'язують часткову втрату кристалічної структури у циркону, ториту, бранериту та інших радіоактивних мінералів.

Найпростіша форма фізико-хімічної міграції – **дифузія** – це процес самочинного та необоротного перенесення речовини із однієї частини системи в іншу, що виникає внаслідок теплового руху часточок. Дифузія протікає як в індивідуальній речовині, так і в суміші і в будь-якому агрегатному стані. Дифузія в гірських породах зазвичай супроводжується взаємодією речовини із середовищем. Внаслідок хаотичного руху часточок дифузія переміщує їх з одного місцезнаходження в інше. У системі, яка складається з двох чи більше речовин, утворюються дифузійні потоки, які здатні вирівняти концентрацію та досягти термодинамічної рівноваги.

Дифузія в гірських породах протікає в більш складній обстановці. Всі вони містять пори різних розмірів і форм. Породи є гетерогенними системами, що містять розчини і (або) гази, які з ними взаємодіють.

Суміжний з дифузією процес – **конвекція** – міграція масових потоків газу або рідини, переміщення часточок відбувається разом з розчинником. Конвекція характерна як для верхньої мантії, так і для земної кори.

Конвекція у пористому середовищі називається **фільтрацією**, яка протікає значно швидше, ніж дифузія, і характерна для верхньої частини земної кори, зони активного водообміну, хоча може розвиватися і в земних глибинах.

Друга форма міграції – **сорбція**, в результаті цього процесу відбувається поглинання газів або рідин твердими чи рідкими речовинами із оточуючого середовища поверхнею (**адсорбція**) або усім об'ємом (**абсорбція**) тіла. Речовини, що поглинають називаються **адсорбентами** (абсорбентами), а ті, що поглинаються, – **адсорбатами** (абсорбатами).

Адсорбція відбувається на межі розподілу фаз внаслідок дії на часточки сил тяжіння, більших ніж сили, що діють рівномірно з усіх сторін. Адсорбція протікає інтенсивніше, якщо більша площа розподілу фаз або розвинута поверхня тіла.

Адсорбція поділяється на два види:

- 1) фізична;
- 2) хімічна.

Фізична адсорбція відбувається тоді, коли адсорбат займає поверхню адсорбенту.

Хімічна адсорбція відбувається тоді, коли адсорбент і адсорбат вступають між собою в хімічну реакцію.

Розвитку фізичної адсорбції створює перепону **десорбція** – процес, зворотний адсорбції, під час якого кількість адсорбованих і десорбованих часточок за одиницю часу однакова.

Під час взаємодії адсорбенту і розчину електроліту відбувається самочинний іонний обмін між адсорбентом і розчинником як на поверхні, так і по всьому об'єму, в результаті дисоціації молекул адсорбенту.

Хімічна адсорбція відбувається з утворенням зв'язків, які визначаються структурою адсорбенту. Існує хімічна адсорбція газів на металах, вугіллі, оксидах металів та при гетерогенному каталізі.

Фізична адсорбція із збільшенням температури здатна перетворюватися в хімічну. Під час хімічної адсорбції виділяється велика кількість тепла.

Гетерогенний процес відбувається, коли реагуючі речовини знаходяться в різних фазах, а це означає, що реакція можлива тільки на межі їх розподілу. У природі гетерогенні реакції відбуваються головним чином між мігруючою речовиною і породою, що її містить.

Будь-які гетерогенні реакції включають наступні стадії протікання:

1. Підхід речовини до поверхні породи.
2. Хімічна взаємодія.
3. Вихід утвореного в результаті реакції продукту реакції.

Швидкість гетерогенного процесу на різних стадіях суттєво відрізняється.

Міграція газів. Газу у процентному відношенні складають соті частки маси земної кори і десяті частки – гідросфери, однак геохімічна

роль газів не пропорційна їх масі. На це впливає ряд факторів: висока рухливість газів, які мігрують інтенсивніше, ніж речовини у твердому чи рідкому стані. У земній корі можна виділити гази повітряного, біохімічного, хімічного і радіоактивного походження.

Міграція газів відбувається шляхом фільтрації та дифузії.

Гази характеризуються таким важливим показником, як розчинність. Більшість газів в стандартних умовах погано розчиняються у воді. Із підвищенням температури розчинність більшості газів знижується, із збільшенням тиску – зростає. Велике геохімічне значення має міграція вуглеводів у нафті. Однак у зв'язку з великим масштабом водної міграції з підземними водами мігрує значно більше вуглеводнів, ніж з нафтою.

Водна міграція. Вода – найбільш універсальна і є важливим середовищем міграції у земній корі. Водні розчини проходять через верхню частину літосфери, вода – це «кров» земної кори.

Природні води часто взаємодіють з різними гірськими породами. Для вод з активною циркуляцією характерна інтенсивність міграції, а для застійних вод – інтенсивність накопичення.

Під час будь-якої міграції виникають електрохімічні процеси. Системи, в яких протікають ці процеси, називаються геоелектрохімічними, а полюси поля, де концентруються елементи, – електрохімічними бар'єрами. У земній корі існують локальні електричні поля – гальванічні, фільтраційні, дифузно-адсорбційні та ін.

Електрохімічні процеси є одним з найважливіших факторів вивітрювання мінералів-діелектриків, причому катіони виносяться у відповідній послідовності.

Біогенна міграція. Утворення живої речовини і розкладення органічних речовин складають єдиний біологічний кругообіг атомів, який в біосфері протікає скрізь, хоча в різних формах і з різною інтенсивністю.

У ландшафті у верхніх горизонтах моря у процесі фотосинтезу утворюється жива речовина, тут й відбувається її мінералізація. Частина органічної речовини мінералізується не повністю і відкладається в мулах. Закон біологічного кругообігу – один із основних законів геохімії, відповідно до якого у біосфері в ході біологічного кругообігу атоми поглинаються живою речовиною і заряджаються енергією, яку віддають в навколишнє середовище. Головними носіями енергії є природні води.

Немінералізовані залишки органічної речовини перетворюються в осадові породи, в тому числі в поклади торфу, вугілля та інших копалин. Загальна їх маса більша маси живої речовини, а, головне, кількість органічного Карбону знаходиться у вигляді невеликих домішок гумусових та вуглеподібних речовин, крапель бітумів тощо.

Головні перетворення з органічними залишками відбуваються в ґрунтах та мулах у період енергійної роботи мікроорганізмів. У подальшому відбувається їх поступова зміна під дією підземних вод під час підвищення температури або в результаті радіолізу.

Основною характеристикою біогенної міграції є біофільність.

Можна виділити декілька типів біогенної міграції:

1. *Міграція, що пов'язана з механічною діяльністю живих організмів.* До неї відносяться риття нір, перемішування ґрунту при просуванні в ньому тварин (зоостурбації), концентрування речовини

при влаштуванні мурашників, термітників, бобрових гребель тощо. Наслідки цієї діяльності не такі вже й малі, як здається на перший погляд. Так, наприклад, мурашки виносять на поверхню до 30 м^3 ґрунту за сезон на одному гектарі. Один земляний черв'як пропускає через себе $\sim 0,5 \text{ кг}$ ґрунту за рік. На одному гектарі черв'яки переробляють $\sim 1,5 \text{ т}$ сухого листя, змішуючи їх із 15-ма тоннами сухого ґрунту, їх екскременти сягають 25 т на гектар. У результаті ґрунт стає більш керованим, водопроникним, формується його агрономічна структура.

2. *Біогенна міграція, що пов'язана з переміщенням живих організмів.* Особливе значення цей тип міграції має для полярних районів та океанічних островів. Наприклад, дослідження в Антарктиді показують, що лишайники селяться передусім на екскрементах птахів, які тимчасово прилітають на цей материк. Перенесення органічного матеріалу, збагаченого енергією і поживними речовинами, стимулює розвиток живих організмів у суворох умовах їх існування. У цьому полягає величезна біогеохімічна роль міграції птахів з помірних широт у високі.

Безпосередньо в самих тілах живих організмів, що мігрують, містяться величезні запаси вільної енергії та хімічних елементів. Так, В.І.Вернадський описує силу-силенну (хмару) сарани, що пролітала цілий день над Червоним морем, маса якої становить $4,4 \times 10^7 \text{ т}$. Це, наприклад, відповідає загальній кількості Купруму, Цинку та Плюмбуму, добутим у всьому світі за сторіччя (за часів В.І.Вернадського). Тому він ототожнює хмару сарани з аналогічною

гірською породою, яка, однак, «рухається і наділена вільною енергією».

Біологічна міграція направлена протилежно фізичній – твердий та рідкий стік у горах переміщує хімічні елементи у складі речовини вниз, а комахи і ґрунтові безхребетні мігрують уверх, на вершини гір.

3. *Міграція, що пов'язана з біохімічними процесами життєдіяльності організмів.* Тут з простих мінеральних сполук атмосфери, літосфери і гідросфери синтезуються складні хімічні сполуки із запасом вільної енергії. Біогенна міграція цього типу зумовлює і концентрування, і розсіювання хімічних елементів, як і в будь-якому іншому міграційному процесі. Однак для багатьох елементів у біосфері (елементи-біофіли) це основний етап концентрування (С, N, P, Fe, Ca, Si).

4. *Біогенна міграція, що пов'язана з відмиранням та розмноженням організмів.* Після відмирання організмів органічні сполуки розкладаються, частина хімічних елементів, сконцентрованих за третім типом біогенної міграції, розсіюється. Мінеральні частини скелетів, які не піддаються біохімічному розкладанню, залишаються місцем концентрації Ca, Mg, Si, Fe та, ймовірно, деяких інших елементів. При розкладанні виділяється CO₂, створюється ґрунтовий і водний гумус – активні агенти хімічного вивітрювання. Це зумовлює розчинення мінеральних сполук, вивільнення хімічних елементів і посилення їх міграції. У цьому типі біогенної міграції здійснюються далекі просторові переміщення хімічних елементів що, не характерно для такого типу міграції. Відбувається нагромадження нерозкладених решток трупів і скелетів на дні водної товщі, міграція органічних

речовин у ґрунтові води, їх винесення в річки та з річковим стоком – в океан. Іде величезний процес перерозподілу хімічних елементів з явною перевагою процесів розсіювання.

Міграція хімічних елементів, пов'язана з розмноженням організмів, має особливий характер. Тому що розмноження – це передача наступним поколінням інформації про склад, будову, тип розвитку та життєві функції організму. Інформація записана з допомогою послідовності нуклеотидів у молекулах ДНК, що входять до складу хромосом. Передача спадкової інформації забезпечує неперервність виконання живою речовиною всіх її біохімічних та біогеохімічних функцій і, отже, *однотипність та спрямованість геохімічних процесів у біосфері в часі.*

5. *Антропогенна міграція хімічних елементів.* Як і будь-який інший вид, людина бере участь у міграції атомів хімічних елементів завдяки обміну речовин, відмиранню та розмноженню. Однак маса речовини, захоплена такою міграцією, мізерна порівняно з масами речовини, що мігрують у біосфері внаслідок виробничої діяльності людини. Людина видобуває руди і виплавляє з них чисті метали. При цьому разом з паливними ресурсами кількість механічно вилученого матеріалу (і в будівництві) становить понад 100 млрд. тонн на рік, що майже в 4 рази більше світового стоку річок в океан процесах декудації-руйнування і видалення порід суходолу. Тільки при експлуатації доріг щорічно подрібнюються сотні мільйонів м³ ґрунту. Загалом людство створює за рік не менше 1×10^9 м³ пилу, тоді як при виверженні вулканів $\sim 1,5 \times 10^9$ м³ пилу/рік. Отже, *техногенна діяльність за своїми масштабами та інтенсивністю не тільки стала*

співрозмірною з деякими природними геологічними процесами, але в окремих частинах істотно їх перевищує.

Для біосфери значення водної та повітряної міграції хімічних елементів величезне. Однак біогенній міграції характерні різноманітність процесів і швидкість їх перебігу.

По-перше, жива речовина пристосована до умов середовища, вона чутливо реагує на них і на їх зміну відповідає зміною процесів міграції. Розмаїття умов життя, пристосованих до диференційованих умов місця проживання, визначає варіабельність процесів біогенної міграції.

По-друге, визначення різних форм міграції дозволило В.І.Вернадському сформулювати емпіричне узагальнення, яке він назвав *першим біогеохімічним принципом*: «*Біогенна міграція хімічних елементів у біосфері прямує до максимального свого прояву*».

По-третє, здійснення цього принципу проявляється у «*встодності життя*» (термін В.І.Вернадського). У біосфері нема місця, де життя було б постійно відсутнім. Життя ніби здійснює тиск на вільний простір, поступово оволодіваючи ним. Воно є навіть за екстремальних умов:

а) в океані на глибині кількох кілометрів було знайдено гарячі вулканічні джерела, в яких при температурі 350°C існують численні термофільні бактерії (вода не закипає через високий тиск і велику концентрацію солей);

б) в експериментах американського дослідника Р.Камерона синьо-зелені водорості протягом кількох місяців не втрачали життєздатності в умовах, що відповідали марсіанським: атмосфера:

95% CO₂, 4% N₂ та Ar, < 1% O₂ та водяної пари; середня t° 0 - 40°; вночі зимою – 125°С;

в) жива речовина не гине в рідкому Нітрогені (за t° = - 183°С);

г) деякі види, наприклад ті ж синьо-зелені водорості, не гинуть під дією потужного іонізуючого випромінювання й «оселяються» в епіцентрі ядерного вибуху вже за кілька днів після нього;

д) жива речовина здатна зберігатися навіть в умовах відкритого Космосу. Так, третя експедиція американських астронавтів забула на Місяці телекамеру. Коли через півроку її повернули на Землю, на внутрішньому боці кришки було виявлено земні бактерії, котрі без будь-яких шкідливих для них наслідків пережили тривале перебування за межами рідної планети.

По-четверте, цей «тиск життя» завжди призводить до захоплення ним нових ділянок і здійснюється трьома шляхами: а) переміщенням живих організмів; б) їх розмноженням; в) пристосуванням до нових умов існування.

І всюдишність життя, і його «тиск» досягаються значною мірою завдяки еволюційному процесу.

По-п'яте, створення ходом еволюції нових форм життя, пристосованих до нових умов існування, розширяє певну частину життя і збільшує біогенну міграцію атомів хімічних елементів. Це було сформовано В.І.Вернадським у *другому біогеохімічному принципі*: «*еволюція органічного світу відбувалась у напрямку підсилення біогенної міграції атомів хімічних елементів*».

Палеонтологічний літопис наводив переконливі приклади зростання біогенної міграції з появою нових типів організмів. Так,

поява на межі з кембрієм (~ 550 млн років тому назад) вищих безхребетних призводить до підсилення біогенної міграції атомів кальцію. До цього часу нагромадження Са здійснювалось в основному водоростями. Величезна роль безхребетних у біогенній міграції Кальцію проявляється в її результатах – наявність коралових рифів, черепашників та інших карбонатних порід. Інший приклад: створення скелетів хребетних – риб та амфібій у девоні (400–350 млн. років тому), плазунів у Карбоні (350–280 років) тощо підсилило концентраційну функцію організмів стосовно Фосфору – елемента, необхідного для побудови скелета.

Отже, з еволюцією живих організмів біогенна міграція атомів підсилювалась.

Геохімічна своєрідність біокосних систем визначається сумісною взаємодією біогенної, фізико-хімічної міграції. У біокосних системах літосфери відбувається взаємодія гірських порід з природними водами в близьких термодинамічних умовах. Це визначає деякі загальні особливості фізико-хімічної міграції, яка складається з двох протилежних процесів: вивітрювання та цементації. Міграція елементів під час вивітрювання, в свою чергу, складається з протилежних процесів: вилужування з порід і мінералів водних і приєднання повітряних елементів.

Техногенна міграція. В ноосфері відбувається переміщення атомів, їх розповсюдження і концентрація. Їм властива механічна, фізико-хімічна, біогенна міграція, але не вони визначають її своєрідність, головну роль відіграє техногенна міграція. Для ноосфери характерне велике прискорення міграції. Існує дві групи процесів

техногенезу. Перша група процесів перейняла від біосфери біологічний кругообіг, кругообіг води, розсіювання елементів під час розробок корисних копалин і т.д. Техногенна міграція другої групи знаходиться у різкому протиріччі з природними умовами.

Основною характеристикою цього виду міграції є коефіцієнт технофільності:

$$P_1 = M_E / K_E,$$

де: M_E – річний видобуток хімічного елемента;

K_E – кларк елемента в літосфері.

Геохімічні бар'єри

Геохімічні бар'єри характерні в першу чергу для тих елементів, які утворюють як легкорозчинні, так і важкорозчинні солі, що визначає неоднакову інтенсивність водної міграції таких сполук. Згідно з О.І.Перельманом, *геохімічний бар'єр* – *ті ділянки земної кори, в яких на короткій відстані різко зменшується інтенсивність міграції хімічних елементів, внаслідок чого відбувається їх концентрування.* Для Са та Mg, наприклад, такими бар'єрами є переважно лужні і до певної міри сорбційні випадки, термодинамічні. *Лужний бар'єр* виникає внаслідок зміни кислих умов на лужні з різким підвищенням рН. При цьому концентруються ті катіоногенні елементи, інтенсивність міграції яких у кислому середовищі більше, ніж у лужному. Цей бар'єр виникає і там, де надкисле середовище змінюється на слабокисле або малолужне на різко лужне. На такому

бар'єри утворюються, зокрема, карбонати, гідрокарбонати, фосфати Са та Mg тощо. Вихід на поверхню карбонатних порід – вапняків, доломітів також може обумовлюватись наявністю лужного геохімічного бар'єра.

Сорбційні бар'єри виникають при контакті вод з сорбентами, в першу чергу з глинами, а також з торфом, мулом тощо. Сорбційні бар'єри якраз характерні для ґрунтів та кори вивітрювання, тобто для зон гіпергенезу.

Ділянки концентрування елементів у ґрунтах і породах, що виникають завдяки випаровуванню, називають *випарним геохімічним бар'єром*. Такий бар'єр виникає, найперше, в азійному кліматі, і на ньому можуть концентруватися практично всі хімічні елементи, що входять до складу різних сполук, разом із добре розчинними.

Бар'єри, які виникають внаслідок зміни основних термодинамічних параметрів – тиску і температури, називають *термодинамічними*. Так, утворення вапнякових туфів спричинено наявністю саме термодинамічного бар'єра. У підземних водах із збільшенням тиску розчинність газів, в тому числі і CO_2 , збільшується, що зумовлює розчинність мінералу кальциту. При виході таких вод на поверхню тиск у них різко зменшується, CO_2 виділяється в атмосферу, а кальцит знову випадає в осад, утворюючи туфи (травертини). Існують також інші геохімічні бар'єри.

Відповідно до макро-, мезо- і мікро- рельєфу виділяють макро-, мезо- і мікробар'єри. Наприклад, у дельтах зона змішування річкових вод і солоних морських – це макробар'єр шириною у сотні і тисячі метрів. Територія у водоносних горизонтах артезіанських басейнів має

ширину у десятки і сотні метрів при довжині водоносних горизонтів у тисячі і десятки тисяч метрів (мезобар'єри). До мезобар'єрів відносяться також крайові зони боліт, де накопичується багато елементів, вилужених із ґрунту водорозподілу і схилів. Рудні прожилки потужністю у декілька сантиметрів і міліметрів відносяться до мікробар'єрів.

Сьогодні поняття про геохімічний бар'єр – це фундаментальне поняття геохімії. Головна особливість бар'єра – різка зміна умов і концентрацій елементів, це зона, де одна геохімічна обстановка змінюється іншою. В основу класифікації геохімічних бар'єрів покладено відмінності у міграції. Виділяють два основних типа бар'єрів – природні і техногенні.

Природні бар'єри розділяються на три класи. Найбільш прості механічні бар'єри – це учасники різкого зменшення інтенсивності механічних міграцій. У місцях різкого зниження інтенсивності фізико-хімічної міграції формуються фізико-хімічні бар'єри.

Біогеохімічні бар'єри формуються у місцях зниження інтенсивності біогенної міграції (поклади вугілля, торф, концентрації елементів у живих організмах і т.д.).

Техногенні бар'єри розділяються на три класи: механічні, фізико-хімічні, біогеохімічні.

? Запитання для самоконтролю

1. У чому відмінність між екстенсивними і інтенсивними параметрами міграції?
2. Що дає характеристика міграції за допомогою коефіцієнтів?
3. Для чого необхідне поняття про геохімічні бар'єри?
4. Охарактеризуйте зовнішні фактори фізико-хімічної міграції.
5. Який геохімічний ефект механічної диференціації?
6. Як змінюється радіус йонів униз по групі, у рядах зі збільшенням порядкового номера і за діагоналлю Періодичної системи?
7. Умови виникнення термодинамічних бар'єрів.
8. Яка міграція називається техногенною і яка величина її характеризує?
9. У чому суть основного геохімічного закону В.М. Гольдшмідта?
10. Від чого залежить якість геохімічної інформації?

Тести для самоконтролю

Виберіть правильну відповідь:

1. **Доповніть:** Постійний рух і переміщення хімічних елементів у природі, періодично завершуючись циклом, називається
2. **Виберіть правильну відповідь:** Внутрішні фактори – це:
 - а) властивості хімічних елементів, що зумовлені будовою атомів;
 - б) параметри обстановки міграції;
 - в) температура, тиск;
 - г) кислотно-лужні і окисно-відновні умови.

3. Міграція, яка зумовлена роботою річок, вітру, льодовиків, вулканів, тектонічних сил та інших факторів, що детально вивчаються у динамічній геології, геоморфології, океанології, вулканології та інших науках про Землю, називається:

- а) водна;
- б) біогенна;
- в) механічна;
- г) фізико-хімічна.

4. Універсальне і найважливіше середовище міграції в земній корі:

- а) вода;
- б) ґрунти;
- в) мінерали;
- г) гірські породи.

5. Доповніть. Подрібнення гірських порід і мінералів, що сприяє збільшенню їх дисперсності, розчинності, сорбції, називається явищем _____.

6. Доповніть. Розміри ... закономірно пов'язані з поглинанням елементів у періодичній системі і у межах груп, зростають із збільшенням порядкового номера.

7. Виберіть правильні відповіді:

Фізико-хімічна міграція здійснюється шляхом:

- а) дифузії;
- б) конвекції;
- в) фільтрації;
- г) сорбції.

8. Концентрація елементів на фізико-хімічних бар'єрах залежить від:

- а) серії бар'єра;
- б) енергетичного стану йонів;
- в) складу вод, що підступають до бар'єра;
- г) розсіювання та місце знаходження корисних копалин.

9. Дальність механічної міграції мінералів залежить від:

- а) здатності до хімічного вивітрювання;
- б) здатності до випаровування;
- в) твердості мінералів;
- г) від інших явищ.

10. **Доповніть:** При різкому окисненні середовища формується бар'єр, а при різкому збільшенні відновленості середовища формується ... бар'єр.

1.6. Геохімічні процеси

- Геохімічні цикли, їх структура.
- Біогеохімічні цикли, їх параметри.
- Гідрогеологічний цикл.

Запитання для роздумів:

- Для розвитку земної кори характерна періодичність, яку називають циклічною, але чому символом періодичності є не коло, а спіраль або циклоїд?

Геохімічні цикли, їх структура

Геохімічний цикл характеризує тектоно-магматичні процеси, процеси біосфери і утворення осадовчих порід як ланки єдиного процесу розвитку.

Геохімія катархея (4,5 – 3,5 млрд. років тому) проблематична. Цю стадію розвитку земної кори називають «місячною». Магматизм був примітивним базальтовим, до складу атмосфери входили гази CO, CO₂, N₂, HCl, HF, H₂ та інші, органічні сполуки виникали в космічних умовах. Велике значення мало методичне бомбардування земної поверхні.

Геохімічні цикли архейсько-догеосинклинального етапу (3,5 – 2,5 млрд. років тому): **бслезерський** (3,5 млрд. років), **кольський** (3 млрд. років), **родезійський** (2,6 млрд. років).

Земна кора стає все більше диференційованою, основні породи метаморфизовані і гранітозовані, починається формування гранітного шару. Атмосфера безоксигеновмісна або слабооксигеновмісна. У біосфері панує гелієве середовище.

Геохімічні цикли протерозоя (2,5 – 1,7 млрд. років). Нижня межа цих циклів за тектонічними даними співпадає з важливим етапом розвитку біосфери – початком органічного фотосинтезу. У цей період було два великих тектоно-магматичних цикла: **біломорський** (1900 млн. років), **карельсько-свекофенський** (1750 млн. років). Цей період характеризувався більшою різноманітністю тектоносфери і біосфери, у цей час виникали нові геохімічні процеси, метаморфізм і вулканізм послабились.

Геохімічні цикли рифея (1,7 – 0,7 млрд. років). Атмосфера все ще містила CO_2 , у ній почав накопичуватися і O_2 , це сприяло тому, що з'явилися багатоклітинні організми, киснева атмосфера сприяла появи тварин, які ще не мали скелетних форм; формувалась кисла каолінова кора вивітрювання, у цей час були великі обледеніння (940 і 770 млн. років); у морях з'явилися водорості, які звільнили атмосферу від CO_2 , формуються карбонатні породи, магматизм сильно скоротився.

У **геохімічних циклах докембрія** при метаморфозі осадових порід у атмосферу виділялась велика кількість CO_2 , що визначало характер клімату, вивітрювання і утворення осадових порід.

Для **фанерозойських геохімічних циклів** характерний поділ їх на етапи за тектонічними умовами, складом атмосфери та іншими особливостями. У цей час виникли гірські хребти, поширюється пегматитовий процес, підвищується вміст атмосферного кисню, на суші з'являються найпростіші – псилофіти, відбувається різкий стрибок у еволюції морської фауни. Для цього періоду характерні цикли: каледонський (570 – 410 млн. років тому), герцинський (410 – 200 млн. років тому), альпійський (200 млн. років – сучасна епоха). Цей цикл найбільше досліджений. Деякі автори виділяють у ньому два тектою-магматичних цикли – кімерійський і власне альпійський.

Біогеохімічні цикли, їх параметри

В едафотобах біогеохімічні цикли тривають від кількох днів до кількох років, але у ґрунтовій екосистемі загалом – декілька десятків років. В екології вивчають, переважно, саме ці етапи циклічності, які

характеризуються майже повною зворотністю в річному масштабі часу.

Для вивчення біогеохімічного циклу у природі В.А. Ковда запропонував враховувати **10 параметрів**:

- сумарну біомасу та її приріст;
- органічні рештки (опад, підстилка);
- органічну речовину ґрунту (гумус + рештки, що не розклалися);
- елементний склад ґрунтів, вод, повітря, атмосферних опадів, фракцій біомаси;
- надземну та підземну біомасу;
- прижиттєві метаболіти;
- кількість видів організмів, чисельність кожного виду та склад популяцій;
- термін життя видів, динаміка та ритміка життя популяцій і ґрунту;
- еколого-метеорологічну обстановку середовища;
- природу, склад і властивості полютантів в ареалі екосистем.

В.А. Ковда виділяв також **3 рівні біогеохімічних параметрів**, які дозволяють виявити роль і частку різних організмів у кругообігу хімічних елементів:

1. *Біогеохімічні цикли на рівні мікробних популяцій* (їх біомаса приблизно дорівнює біомасі рослин). Мають значення тому, що кількість їх біомаси досить велика, а також виконують роботу з перетворення органічних решток (мінералізація). Крім того, відомі мікроорганізми, які «спеціалізуються» на перетворенні сполук окремих хімічних елементів, наприклад нітрогену, своєї маси різних зольних елементів, які вступають у новий біогеохімічний цикл.

2. Біогеохімічні цикли на рівні безхребетних тварин ґрунтів і водоймищ – запаси їх біомаси ще не встановлено, однак їх роль для перетворення органічних решток у ґрунтах та водоймах безперечна. Вони впливають і на склад ґрунтового повітря.

3. Біогеохімічні цикли в наземних біогеоценозах (лісових, трав'яних). Загальний запас біомаси на Землі – 10^{12} – 10^{13} т, з них частка деревної рослинності – 10^{11} т. Річний фотосинтез складає (в тоннах) 10^{10} – 10^{11} , обіг зольних елементів – 10^8 – 10^9 + Нітроген – 10^{10} . Рослини суходолу витрачають на свою побудову (в тоннах) $1,5 \times 10^9$ Карбону, 10^{14} – 10^{15} H_2O , $(7-8) \times 10^{10}$ Оксигену. Річний приріст біомаси в трав'яних біоценозах – 30-50%, у листяних лісах – 10-15%, у тайзі – 4-9%, у тундрі – 10% від усієї біомаси.

Лісові біогеоценози – основна біомаса в надземних органах – 30–50 т/га, надземна і підземна частини 3:1; 4:1, а на частку зелених органів припадає 50% – у молодих насадженнях, 10% – у зрілих.

Дерева споживають щорічно 50–300 кг/га зольних елементів і тільки 15–20% цієї кількості повертається з опадом – з них листяні ліси повертають (кг/га) Са – 20–105, К – 16–84; N – 23–65.

Дерева, рослинність, крім того, беруть активну участь у ґрунтоутворенні, формуючи різні типи ґрунтів: підзолистих, сірих лісових, буроземів, червоноземів. Ці ґрунти характеризуються рядом загальних властивостей: кислі (утворюють світову сукупність кислих ґрунтів), вилужені мають негативний баланс речовин, гумус фульватного типу. Під ксерофітними лісами формуються нейтральні та карбонатні ґрунти.

Біогеохімічний кругообіг під травами має інший характер: менший запас фітомаси (7–8 т/га), частка коренів – 65–95 % (4–7 т/га). Однорічні трави щорічно повертають 100% надземної фітомаси, багаторічні – 45–60%; щорічно відмирають 40–50 % коренів, які стають сировиною для мікробного розкладення.

Усе це зумовлює швидку оборотність хімічних елементів у системі ґрунт – рослина, і біогеохімічний цикл тут значно коротший, ніж у лісних біогеоценозах.

Гідрогеологічний цикл

Гідрогеологічний цикл складається з двох етапів.

Перший етап елізійний, свіжоосаджені тонкодисперсні іли містять до 90% води, яка надходить у пористі породи по мірі ущільнення ілу, перетворення їх у глини, потім у глинисті сланці. Другий етап інфільтраційний, протягом якого інфільтруючі метеорні води поступово витісняють і замішують седиментаційні води. Для цього етапу характерний інфільтраційний водообмін.

? Запитання для самоконтролю

1. У чому проявляється періодичність розвитку земної кори?
2. Дайте характеристику біогеохімічних параметрів, які треба враховувати при вивченні біогеохімічних циклів.
3. Вкажіть особливості біогеохімічних циклів у наземних біогеоценозах.
4. Які рівні біогеохімічних параметрів Вам відомі?

5. Охарактеризуйте гіпотезу геохімічних акумуляторів.
6. У чому полягають геохімічні особливості докембрію?
7. Що є характеристикою геохімічного циклу?
8. Дайте характеристику чотирьом основним циклам фанерозоя.
9. Яке значення мають «інтегральні тенденції» для земної кори?
10. Охарактеризуйте гідрогеологічний цикл та його етапи.

Тести для самоконтролю

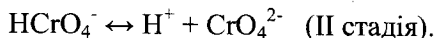
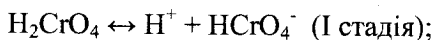
1. **Доповніть:** Міграція хімічних елементів на нашій планеті організована в _____, які називають _____.
2. **Цикли складаються з ланок та переходів між ланками.**
Процес, у результаті якого елементи переходять від однієї ланки до іншої, називається _____.
3. **Виберіть правильні відповіді:** Серед параметрів для вивчення біогеохімічних циклів можна виділити:
 - а) сумарну біомасу та її приріст;
 - б) надземну та підземну біомасу;
 - в) кількість видів організмів, чисельність кожного виду та склад популяцій;
 - г) тектонічні процеси, магматизм і еволюцію життя.
4. **До архейсько-догеосинклинального етапу (3,5 – 2,5 млрд. років тому) відносяться геохімічні цикли:**
 - а) белозерський;
 - б) кольський;
 - в) тамваянський;
 - г) біломорський.
5. **Доповніть:** Для земної кори характерна не тільки диференціація, але і ... – загальні риси, що дають можливість розглядати її як цілісну систему.

6. **Виберіть правильні відповіді:** Різка диференціація кліматів, поява висотної поясності, включення в міграцію великих мас вивержених порід характеризує:
- а) каледонський цикл;
 - б) герциньський геохімічний цикл;
 - в) альпійський геохімічний цикл;
 - г) каледонський геохімічний цикл.
7. **Серед загальних рис металогенії докембрія виділяється:**
- а) накопичення сидерофільних елементів;
 - б) основні породи метаморфізовані;
 - в) наявність порід зеленокам'яних комплексів;
 - г) магматизм примітивно базальтовий.
8. **Доповніть:** Атмосфера безоксигеновмісна або слабкооксигеновмісна. Починається формування гранітного шару. У біосфері панує гелієве середовище. Це геохімічний цикл _____ етапу.
9. **Виберіть правильну відповідь:** Геохімічні цикли рифея (1,7-0,7 млрд. років) характеризуються:
- а) появою багатоклітинних організмів;
 - б) формуванням каолінової кори вивітрування;
 - в) базальтовим магматизмом;
 - г) послабленням вулканізму.
10. **Доповніть:** Поділ на етапи за тектонічними умовами, складом атмосфери, появою найпростіших – псилофітів властивий _____ геохімічним циклам.

Приклади розв'язання задач

Приклад 1. Обчислити концентрацію йонів H^+ і рН 0,05 М водного розчину хромової кислоти.

Розв'язання. Хромова кислота дисоціює в дві стадії:



Оскільки дисоціація за II стадією порівняно з дисоціацією за I стадією дуже мала, вважаємо, що наявні йони H^+ утворюються за рахунок дисоціації за I стадією.

Константу рівноваги, згідно з законом діючих мас, для I стадії можна записати:

$$\frac{[\text{H}^+][\text{HCrO}_4^-]}{[\text{H}_2\text{CrO}_4]} = K_{\text{H}_2\text{CrO}_4} = 1,8 \cdot 10^{-1}$$

Вважаючи, що концентрація $[\text{H}_2\text{CrO}_4] = 0,05 - x$ кмоль/м³, $[\text{H}^+] = x$ кмоль/м³, $[\text{HCrO}_4^-] = x$ кмоль/м³, і підставляючи значення рівноважних концентрацій у рівняння для константи рівноваги, знаходимо:

$$\begin{aligned} \frac{x^2}{0,05 - x} &= 1,8 \cdot 10^{-1}; x^2 + 0,18x - 0,009 = 0 \\ x &= -\frac{0,18}{2} + \sqrt{\frac{0,0324}{4} + 0,009} = -0,09 + \\ &+ \sqrt{0,0171} = 4,08 \cdot 10^{-2}. \end{aligned}$$

Водневий показник рН знайдемо за рівнянням:

$$\text{pH} = -\lg [\text{H}^+] = -\lg (4,08 \cdot 10^{-2}) = -(0,62 - 2) = 1,38.$$

В і д п о в і д ь: $[\text{H}^+] = 4,08 \cdot 10^{-2}$ моль/л; рН = 1,38.

Приклад 2. Обчислити концентрацію $[H^+]$ і $[OH^-]$ йонів та рН розчину, утвореного змішуванням $1,45 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ $0,25 \text{ М}$ розчину пропіонової кислоти з $7,8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ $2,4 \text{ М}$ розчину пропіонату калію. Константа дисоціації пропіонової кислоти дорівнює $1,4 \cdot 10^{-5}$.

Розв'язання. Об'єм розчину після змішування становитиме:

$$1,45 \cdot 10^{-3} + 7,8 \cdot 10^{-3} = 9,25 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3.$$

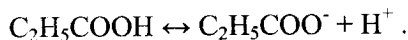
Концентрація пропіонової кислоти до взаємодії з пропіонатом калію:

$$C_k = \frac{1,45 \times 10^{-3} \times 0,25}{9,25 \times 10^{-3}} = 0,039 \text{ моль/л},$$

концентрація утвореної солі:

$$C_k = \frac{7,8 \times 10^{-3} \times 2,4}{9,25 \times 10^{-3}} = 2,024 \text{ моль/л}.$$

Водневі йони утворюються внаслідок неповної дисоціації слабкої пропіонової кислоти за рівнянням:



Константа дисоціації пропіонової кислоти дорівнює $1,4 \cdot 10^{-5}$. При змішуванні слабкої пропіонової кислоти з пропіонатом калію утворюється буферна суміш, концентрацію іонів водню в якій можна обчислити за формулою:

$$[H^+] = K_d \frac{C_k}{C_e}.$$

$$[H^+] = 1,4 \times 10^{-5} \times \frac{0,039}{2,024} = \frac{5,46 \times 10^{-7}}{2,024} = 2,7 \times 10^{-7} \text{ моль/л}$$

а концентрацію гідроксильних іонів – за формулою:

$$[OH^-] = \frac{10^{-14}}{[H^+]} = \frac{10^{-14}}{2,7 \times 10^{-7}} = 3,7 \times 10^{-8} \text{ моль/л}$$

pH буферної суміші становитиме:

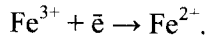
$$\text{pH} = -\lg [\text{H}^+] = -\lg (2,7 \times 10^{-7}) = 6,57.$$

В і д п о в і д ь: $[\text{H}^+] = 2,7 \times 10^{-7}$ моль/л; $[\text{OH}^-] = 3,7 \times 10^{-8}$ моль/л;

$$\text{pH} = 6,57.$$

Приклад 3. Окиснювально-відновний потенціал системи $\text{Fe}^{2+} - \text{Fe}^{3+}$ в 0,1 н розчині HCl при відношенні концентрацій $C_{\text{Fe}^{2+}} + : C_{\text{Fe}^{3+}} = 1 : 10^6$ дорівнює 0,387 в. Обчислити стандартний електродний потенціал окиснювально-відновної системи, якщо середні коефіцієнти активності FeCl_3 і FeCl_2 в цьому розчині відповідно дорівнюють 0,33 і 0,08.

Розв'язання. Запишемо рівняння електродної реакції:



Стандартний електродний потенціал окиснювально-відновної системи обчислимо за формулою:

$$\varphi_{\text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}} = \varphi_{\text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}}^0 + \frac{RT}{nF} \ln \frac{d\text{Fe}^{3+}}{d\text{Fe}^{2+}};$$

$$\varphi_{\text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}}^0 = \varphi_{\text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}} - \frac{RT}{nF} \ln \frac{d\text{Fe}^{3+}}{d\text{Fe}^{2+}} = 0,387 - 0,059 \lg \frac{0,08}{0,33} \times 10^{-6} = 0,777 \text{ В}$$

В і д п о в і д ь: $\varphi_{\text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}}^0 = 0,777 \text{ В}$.

Приклад 4. При 293°К поверхневий натяг гідраргіуму становить 0,4580, а амальгами калію ($c = 0,11$ кмоль/м³) – 0,3926 Н/м. Визначити адсорбцію калію на поверхні гідраргіуму.

Розв'язання. У рівнянні $\Gamma = -\frac{C}{RT} \times \frac{d\delta}{dc}$ замінимо $\frac{d\delta}{dc}$ на $\frac{\Delta\delta}{\Delta c}$:

$$\frac{\Delta\delta}{\Delta c} = \frac{0,3926 - 0,4580}{0,11} = -0,595$$

і обчислимо адсорбцію (Γ):

$$\Gamma = \frac{c}{RT} \times \frac{\Delta\delta}{\Delta c} = \frac{0,11 \times (-0,595)}{8,314 \times 10^4 \times 293} = 2,68 \times 10^{-9} \text{ кмоль/м}^2.$$

В і д п о в і д ь: $\Gamma = 2,68 \times 10^{-9}$ кмоль/м².

Приклад 5. При адсорбції аргону коксованим вугіллям при 194,7К експериментально добуто такі дані:

| | | | |
|-----------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| P, Па | $3,20 \times 10^3$ | $13,12 \times 10^3$ | $29,06 \times 10^3$ |
| Γ , л/кг | 2,00 | 6,15 | 9,58 |

Знайти сталі рівняння Ленгмюра.

Розв'язання. Як видно з відношення, $\frac{1}{\Gamma_\infty}$ є кутовим коефіцієнтом прямої, що відображує залежність між P і $\frac{P}{\Gamma}$, а $\frac{1}{b\Gamma}$ - відрізком, що відтинається цією прямою на осі ординат. Обчислюємо:

$$\frac{P}{\Gamma} = 1,6 \times 10^3; 2,13 \times 10^3; 3,03 \times 10^3.$$

Будуємо графік в координатах P, $\frac{P}{\Gamma}$ (рис. 1.2), з якого знаходимо,

що

$$\frac{1}{\Gamma} = \frac{3,03 \times 10^3 - 1,6 \times 10^3}{29,06 \times 10^3 - 3,2 \times 10^3}, \text{ звідки } \Gamma_\infty = 18,084 \text{ л/кг.}$$

Значення b обчислюємо за формулою:

$$\frac{1}{b\Gamma_\infty} = 1,45 \times 10^3; b = \frac{1}{1450 \times 18,084} = 3,8 \times 10^{-5}.$$

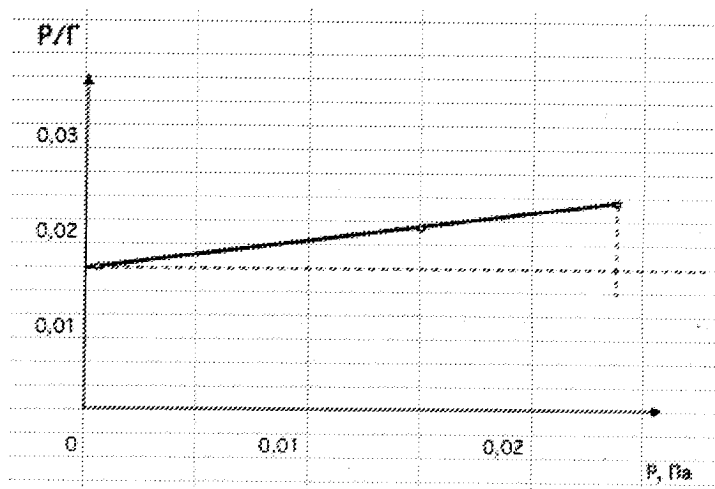


Рис.1.2. Залежність адсорбції від тиску газу (за рівнянням Ленгмюра).

В і д п о в і д ь: $\Gamma_{\infty} = 18,084$ л/кг; $b = 3,8 \times 10^{-5}$.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Алексєєнко В.А. Экологическая геохимия. –М.: Логос, 2000. – 625 с.
2. Басов В.П. Хімія. – К.: Каравела, 2008. – 320 с.
3. Беус А.А. Геохимия литосферы. – 2-е изд. М., 1981. – 386 с.
4. Браунлоу А.Х. Геохимия. –М.: Недра, 1984. – 350 с.

5. Вернадский В.И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. – М.: Наука, 1965. – 168 с.
6. Вернадський В.І. Вибрані праці.- Київ: Наукова думка, 2005. – 302 с.
7. Геохимические барьеры в зоне гипергенеза / под ред. Н.С.Касимова, А.Е.Воробьева. – М.: Изд-во Московского ун-та, 2002. – 394 с.
8. Дорохов В.І., Шелест З.М., Скиба Г.В., Барабаш О.М. Біогеохімія: навчальний посібник для студентів спеціальності «Екологія та охорона навколишнього середовища».- Житомир: ЖДТУ, 2004. – 272 с.
9. Перельман А.И. Геохимия. – 2-е изд. М.: Высшая школа, 1989. – 528 с.

РОЗДІЛ II. ГЕОХІМІЧНІ ЛАНДШАФТИ ТА МОНІТОРИНГ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

2.1. Геохімічні ландшафти

- Поняття про геохімічні ландшафти.
- Ландшафтно-геохімічне середовище.
- Геохімія природних антропогенних та техногенних ландшафтів.
- Методика ландшафтно-геохімічного аналізу й оцінки екологічного стану оточуючого середовища.

Запитання для роздумів:

- *На чому ґрунтується ландшафтно-геохімічна оцінка екологічного стану регіонів?*

Поняття про геохімічні ландшафти

Ландшафт – вища одиниця морфологічної структури природно-територіального комплексу, що має один геологічний фундамент, одного типу рельєф, однаковий клімат і що відрізняється характерним лише для нього набором урочищ. Геохімічний ландшафт – сукупність елементарних ландшафтів, зв'язаних між собою певними умовами міграції хімічних сполук. Об'єкт дослідження в ландшафтознавстві та геохімії ландшафтів спільний – структурні одиниці географічної оболонки локального рівня. А тому можна поставити знак рівності між фаціями та елементарними ландшафтами, між ландшафтами та

геохімічними ландшафтами при визначенні елементно-компонентних структур, між парадинамічними комплексами та ландшафтно-геохімічними сполученнями (ландшафтно-геохімічними катенами, елементарними каскадними ландшафтно-геохімічними системами) при виділенні каскадних структур, взагалі між геосистемами та ландшафтно-геохімічними системами. Різниця в дослідженнях існує на предметному рівні: в геохімії ландшафтів предметом досліджень є хімічні властивості природних систем різного рівня, їх хімічний склад, закономірності міграції хімічних елементів в різних геосистемах та між ними.

Тому під терміном «ландшафтно-геохімічні системи» (ЛГС) слід розуміти *будь-які структурні одиниці географічної оболонки (геосистеми різних рангів), утворення і розвиток яких пов'язані з певним хімічним складом їх компонентів і міграцією хімічних елементів між ними, що й забезпечує цілісність системи.*

Геохімічний ландшафт – це геосистема певного таксономічного рівня, яка виділяється за ознакою відносної генетико-динамічної однорідності за походженням, історією розвитку, проявом зонально-азональних факторів утворення, літологічним складом порід, хімічним складом компонентів, типом геоморфологічних умов, типом клімату, ґрунтів, біоценозів, геохімічних сполучень. Тобто геохімічний ландшафт та географічний ландшафт виділяються за однаковими ознаками, відмінності виникають на предметному рівні – в геохімії ландшафту територіальні одиниці вивчаються з точки зору їх хімічного складу, фізико-хімічних властивостей і міграції елементів

між компонентами (міжкомпонентний обмін) та між ландшафтно-геохімічними системами (міжсистемний або територіальний обмін).

Ландшафтно – геохімічне середовище

Ландшафтно-геохімічні спряження (ландшафтно-геохімічна катени, елементарні каскадні ландшафтно-геохімічні системи) – сукупність пов'язаних між собою латеральною міграцією фацій, які перетинає лінія стоку від водорозподілу до тальвегу.

За класифікацією ЛГС за умовами міграції виконується типологія ландшафтно-геохімічних сполучень, а за класифікацією ландшафтно-геохімічних сполучень - типологія каскадних структур. Каскадні ЛГС (в межах басейнів найменшого порядку), утворені декількома ландшафтно-геохімічними спряження, які замикаються в однорідну у геохімічному відношенні депресійно-акумулятивну систему, формують каскадну ЛГС першого порядку, дві (і більше) каскадних ЛГС першого порядку, що мають спільний акумулятивний вузол, утворений їх депресійно-акумулятивними системами, складають каскадну ЛГС другого порядку і т.д.

Отже, перегляд понятійної бази геохімії ландшафтів і узгодження її з основними поняттями ландшафтознавства спричинений потребами коректного вирішення проблеми оцінки екологічного стану територій. З метою визначення геохімічного фону, просторової диференціації фізико-хімічних властивостей геосистем, умов первинного і вторинного розподілу техногенних елементів виділяються основні типи ландшафтно-геохімічних структур, які моделюються на

ландшафтно-геохімічних картах. Змістове навантаження кожного з типів ландшафтно-геохімічних карт міститься в легендах, які, в свою чергу, базуються і віддзеркалюють класифікацію кожного з типів ландшафтно-геохімічних структур.

В основу *класифікації елементно-компонентних структур* покладено показники сталого і рухомого геохімічного фону. *Класифікація каскадних структур* ґрунтується на басейновому підході та типології ландшафтно-геохімічних спряжень. *Класифікація міграційних структур* враховує територіальну розрізненість фаз ландшафтно-геохімічних процесів та видову різноманітність міграційних процесів. *Класифікація бар'єрних структур* ґрунтується на визначенні чинників і механізмів виникнення ЛГБ, форми ЛГБ, елементного складу речовин, що затримуються або закріплюються на бар'єрі.

Ландшафтно-геохімічна структурованість територій позначається на особливостях надходження та перерозподілу забруднювальних речовин, на формуванні екологічного стану територій. Конкретизація шляхів та ланцюжків надходження забруднювальних речовин є передумовою моделювання виникнення поля первинного забруднення.

Внаслідок первинного і вторинного розподілу забруднювальних речовин формуються техногенні геохімічні аномалії. Наявність техногенних аномалій, величина техногенного впливу на навколишнє природне середовище встановлюються передусім за даними вмісту техногенних хімічних речовин в поверхневому шарі ґрунтів та у донних відкладеннях у порівнянні з їх фоновими концентраціями. Їх

показниками є кларк концентрації, відношення актуальної концентрації до ГДК, комплексний показник забрудненості.

Геохімія природних антропогенних та техногенних ландшафтів

Не менш інформативним показником може бути коефіцієнт перетворення гумусового шару, який визначається як антропогенний ландшафт не наділений природним саморозвитком. Його існування можливе тільки за постійного впливу людини. При цьому не потрібно забувати, що потенційні можливості розвитку антропогенного ландшафту строго «контролюються» особливостями природи. Таким чином, антропогенний ландшафт – це природно-територіальна система (комплекс), розвиток якої постійно підтримується людиною. Штучні ландшафти створені людиною на природній основі. До їх складу входять промислово-енергетичні зони, гірничі розробки, транспортні шляхи, наземні комунікації, населені пункти, дамби, водосховища, осушувальні системи тощо. Для них характерні порушення літогенної основи, водного і теплового балансу, ґрунтового-рослинного покриву, формування техногенного неорельєфу, надмірне забруднення компонентів природи. У перетворених або культурних ландшафтах компоненти і взаємозв'язки між ними цілеспрямовано змінені, і ці зміни постійно підтримуються людиною. Це – поля, насадження багаторічних культур, насіяні луки, лісонасадження, сади, рекреаційні зони – ландшафти. Для них характерна цілеспрямована зміна природної рослинності агро- або лісокультурою, підвищена

еродованість земель, спрощеність умов середовища, видового складу і чисельності тваринних організмів.

Вивчення метаболізму слід здійснювати для кожного типу геоекосистем зокрема. Головною метою вивчення метаболізму різнотипних геосистем має бути визначення стійкості їх щодо різних видів антропогенних навантажень, які порушують динамічну рівновагу геоекосистем, після чого починаються незворотні процеси їхнього розпаду.

Відповідно до цього першочерговим завданням геоєкології слід вважати: а) розробку докладної типологічної класифікації геоекосистем для різних регіонів; б) розробку класифікації різноманітних антропогенних навантажень на геоекосистеми; в) визначення у кількісних категоріях гранично допустимих антропогенних навантажень (ГДАН) на різнотипні геоекосистеми; г) вивчення і картографування різнотипних геоекосистем та різних видів антропогенного навантаження на них; д) прогноз змін геоекосистем під дією різних антропогенних навантажень; е) розробка рекомендацій щодо збереження динамічної рівноваги та оптимізації геоекосистем.

Під геохімічною стійкістю геосистем розуміють їх *здатність будь-яким способом зберігати сталий хімічний склад та фізико-хімічні властивості протягом значного часу по відношенню до часу зміни інваріанта.*

Розрізняють інваріант стану геосистеми, інваріант структури, інваріант способу функціонування, інваріант траєкторії саморозвитку. Відповідно до цього виділяють чотири групи механізмів стійкості.

Стійкість геосистеми як здатність до збереження її інваріанта реалізується через опір зовнішнім впливам і через відновлення порушених цим впливом властивостей систем. Передусім вони здійснюються за механізмами стабілізації стану ЛГС. Щодо реакції на техногенний вплив, то вона залежить від його характеру (виду, масштабу та інтенсивності) та властивостей ЛГС.

Одним з механізмів стабілізації стану геосистем є їх *самоочищення* від забруднювальних речовин. Отже стійкість геосистем до техногенного впливу, за всіх інших умов, пов'язана з їх здатністю до самоочищення. Під здатністю ЛГС до самоочищення розуміють *системну властивість, обумовлену ландшафтно-геохімічною структурою (елементно-компонентною, каскадною, міграційною, бар'єрною) та фізико-хімічними властивостями компонентів ЛГС, які забезпечують сукупність фізичних, хімічних і біохімічних процесів, спрямованих на розкладення, детоксикацію, утилізацію та виведення забруднювальних речовин за межі ЛГС, що зазнають техногенного впливу.*

Одним з показників здатності ЛГС до самоочищення може бути потенціал самоочищення геосистем від забруднювальних речовин, який визначається за максимально можливими величинами *детоксикації, розкладення, міграції (виведення), утилізації (в тому числі закріплення) хімічних елементів та їх сполук у певній ЕЛГС залежно від її структури та фізико-хімічних властивостей компонентів.*

Отже самоочищення геосистем від забруднення як складова процесів, що забезпечують їх стійкість до техногенного впливу, є

компенсаційним процесом, який зменшує техногенний вплив і поліпшує екологічний стан територій.

Критеріями ландшафтної-геохімічної оцінки екологічного стану території за *геохімічною групою* екологічних факторів є значення фонових, кларкових, середніх багаторічних, оптимальних показників стану, гранично допустимих концентрацій елементів у компонентах геосистем.

Значення порогових концентрацій певного хімічного елемента в ґрунтах (повітрі), які викликають появу морфологічних та фізіологічних змін рослин, ендемічних захворювань, пригнічення розвитку, порушення генеративних функцій, і є верхньою (нижньою) межею, за якою починаються незворотні зміни в організмі – критерій оцінки екологічного стану територій за *біогеохімічними параметрами*. Загальною рисою таких критеріїв є визначення *параметрів факторів, що обмежують життєздатність організму і визначають межі стійкості організму або популяції до змін навколишнього природного середовища, тобто є лімітуючими параметрами*. Саме тому найбільш небезпечним є діапазон «малого вмісту» життєво важливих хімічних елементів (за адсорбційною кривою О.Л. Ковалевського), а критеріями оцінки в цьому випадку є діапазон оптимального вмісту певних хімічних елементів для індикаторних рослин. Критерієм оцінки екологічного стану території є реакція рослин, не адаптованих до змін геохімічного середовища (які саме на цій підставі використовуються як індикатори екологічного стану середовища).

Положення хімічних елементів у ряду біологічного поглинання слід розглядати як критерій екологічної небезпечності забруднення навколишнього середовища певними техногенними елементами.

До критеріїв оцінки екологічного стану територій за *медико-географічним підходом* відносяться показники здоров'я населення (захворюваності), його рівень і динаміка.

Визначені принципи та критерії ландшафтно-геохімічної оцінки екологічного стану територій покладено в основу систематизації *показників*, які розроблені в геохімії ландшафтів і можуть бути використані при вирішенні екологічних проблем.

Методика ландшафтно – геохімічного аналізу й оцінки екологічного стану оточуючого середовища

Методика ландшафтно-геохімічного аналізу й оцінки складається з методів первинного збирання та обробки інформації (інвентаризаційних досліджень), методів ландшафтно-геохімічного аналізу та ландшафтно-геохімічної оцінки.

До блоку інвентаризаційних досліджень входить інвентаризація: 1) природних систем (ландшафтна карта); 2) ландшафтно-господарських систем (карта природокористування); 3) ландшафтно-геохімічних структур (ландшафтно-геохімічні карти, передусім елементно-компонентних структур); 4) джерел та характеристик техногенного впливу (карта джерел техногенного впливу з характеристикою викидів, скидів, внесення, складування, захоронення); 5) забруднень (карта техногенних аномалій); 6) вмісту

токсичних елементів у компонентах геосистем (карти забруднення компонентів геосистем); 7) природних режимів (характеристики та параметри природних факторів формування первинного і вторинного полів забруднення); 8) здоров'я людини (карти захворювань, інвентаризаційні таблиці, вміст токсикантів у біосубстратах) або морфологічні та фізіологічні зміни біоіндикаторів (карти фіто- та зоопатологій тощо).

Одним з центральних моментів досліджень є інвентаризація ландшафтно-геохімічних структур (елементно-компонентної, каскадної, міграційної, бар'єрної).

За методикою картографування елементно-компонентних структур критеріями виділення таксонів є чинники міграції хімічних елементів, просторової диференціації хімічних і фізичних властивостей геосистем, хімічного складу їх компонентів (тобто чинники вторинного розподілу елементів). Карти елементно-компонентних структур мають загальнонауковий характер, водночас вони є базовими для складання оцінювальних та прогнозних ландшафтно-геохімічних та ландшафтно-екологічних карт. На картах елементно-компонентних структур відбиваються передусім фактори ландшафтно-геохімічної диференціації території: 1) хімічний склад рухомих (типоморфних) і нерухомих елементів, що визначають геохімічний фон – арену всіх природних та техногенно-природних процесів; 2) хімічні властивості верхнього гумусового шару ґрунтів; 3) мінералогічний склад цього ж шару та підґрунтя; 4) фізичні властивості ґрунту і підґрунтя. На них базується типологічна

класифікація ландшафтно-геохімічних систем й легенди ландшафтно-геохімічної карти.

Ландшафтно-геохімічна карта складається на ландшафтній основі, тобто межі картографічних одиниць однієї та другої карти повністю збігаються. А на самій ландшафтно-геохімічній карті вказуються ландшафтні індекси геосистем.

Тип ЛГС визначається за хімічними елементами з кларками концентрації більше одиниці, які записуються у вигляді формули накопичення; клас ЛГС – за типоморфними елементами (О.І. Перельман, 1975); підклас – за ємністю катіонного обміну, вмісту гумусу та кислотністю ґрунтів; рід ЛГС – за співвідношенням монтморилоніту й вермикуліту до польового шпату та кварцу або за наявністю торфу; вид – за вмістом мулистої фракції у верхньому гумусному горизонті.

Тобто за типом ЛГС встановлюється «сталий» геохімічний фон, за класом ЛГС – «рухомий» геохімічний фон, за підкласом, родом, видом – фізико-хімічні властивості ЛГС, які відіграють головну роль у створенні умов міграції або акумуляції хімічних елементів в ЛГС.

За інвентаризаційними картами і даними про природні впливості геосистем та техногенним навантаження здійснюються ландшафтно-геохімічний аналіз й оцінка екологічного стану територій, які передбачають: 1) аналіз чинників первинного і вторинного розподілу забруднень; 2) аналіз просторових особливостей впливу геохімічного середовища на біоту та здоров'я населення; 3) оцінку ступеня забрудненості територій; 4) оцінку геосистем за умовами первинного розподілу.

Первинне поле забруднення формується на поверхні ґрунту внаслідок прямого надходження техногенних речовин від джерела забруднення, що залежить від: 1) місця розміщення джерел забруднення; 2) технологічних характеристик джерел забруднення (потужності підприємств, виду сировини, технологічних процесів, масштабів, інтенсивності, тривалості викидів та скидів, їх хімічного складу та концентрацій забруднювальних речовин, обсягів відходів та їх хімічного складу і концентрацій тощо); 3) агрегатного стану, хімічної форми, фізико-хімічних властивостей та шляхів надходження техногенних елементів та їх сполук; 4) метеорологічного режиму; 5) ландшафтно-морфологічної структури; 6) просторових особливостей та видового складу рослинного покриву; 7) структури природокористування і шляхів надходження забруднювальних речовин.

Вторинне поле забруднення формується внаслідок процесів міжтериторіального та міжкомпонентного перерозподілу забруднювальних речовин (механічної, фізико-хімічної, біогенної міграції) та їх акумуляції в природних компонентах, насамперед у біоті та в ґрунтах. Деякі чинники формування вторинного і первинного полів забруднення збігаються, але мають іншу дію.

Центральними поняттями в ландшафтно-геохімічній оцінці території є поняття «стан геосистем», «стан навколишнього природного середовища», «екологічний стан», «актуальні (фактичні) показники», «фонові показники», «оптимальні значення», а основною проблемою, від вирішення якої залежить коректність оцінок, є їх параметризація.

Стан природних систем можна характеризувати такими параметрами:

$$S_j = P(at) \{ T_{ij}, M_{ij}, W_{ij}, Cx_{ij} \}, \quad (1)$$

де: S_j – стан j -тої природної геосистеми; $P(at)$ – атмосферний тиск; T_{ij} – температура i -того компонента j -тої геосистеми; M_{ij} – маса i -того компонента j -тої геосистеми, W_{ij} – вологість i -того компонента j -тої геосистеми, Cx_{ij} – концентрація x -го хімічного елемента в i -тому компоненті j -тої геосистеми.

У понятті «екологічний стан» внутрішньо закладений оцінювальний аспект, бо визначається сприятливість або несприятливість стану навколишнього природного середовища для існування та функціонування живих організмів, в тому числі для життєдіяльності людини. Тому екологічний стан може бути визначений за різницею між параметрами актуального стану та його середньорічними показниками (або середніми фоновими, або оптимальними параметрами), стану навколишнього природного середовища як умов життєдіяльності людини (за гомоцентричним підходом) або середніми (фоновими, оптимальними) параметрами середовища функціонування живих організмів або популяцій (асоціацій) (за біоцентричним підходом). Чим ширший підхід до визначення екологічного стану, тим більша невизначеність його параметрів, що пояснюється різними значеннями параметрів оптимального стану для кожного з біологічних видів, а різниця між оптимальними параметрами може бути досить великою. Отже екологічний стан може бути описаним одним із чотирьох індексів, а за необхідністю і всіма індексами, а саме:

$$ESn_1 = Sx_{ij} (an) - Rx(BGn); \quad (2)$$

$$ESn_2 = Sx_{ij} (an) - Rx(minn); \quad (3)$$

$$ESn_3 = Sx_{ij} (an) - Rx(maxn); \quad (4)$$

$$ESn_4 = Sx_{ij} (an) - Rx(optn), \quad (5)$$

де ESn - індекс екологічного стану навколишнього природного середовища за n -параметрами; $Sx_{ij} (an)$ - актуальне значення n -параметрів стану i -того компонента j -тої геосистеми; $Rx(BGn)$ - фонове значення n -параметрів стану i -того компонента; $Rx(minn)$, $Rx(maxn)$ - мінімальне та максимальне значення n -параметра i -компонента, які не призводять до змін умов функціонування живих організмів; $Rx(optn)$ - оптимальне значення n -параметрів i -компонента; x - певний хімічний елемент або сполука (у випадку визначення екологічного стану за параметрами Sx_{ij} - концентрація).

Додатковим і не менш важливим індексом екологічного стану у разі його розрахунку за концентрацією хімічних елементів є показник, що визначається за різницею співвідношень актуальної концентрації x -елемента в i -компоненті j -геосистеми і його фонові концентрації до кларка цього елемента:

$$ESn = Sx_{ij} (a)/Kx_i - Rx(BG)/Kx_i, \quad (6)$$

де Kx_i – кларк x -го елемента в i -тому компоненті геосистем.

Отже екологічний стан території є оцінювальною категорією і визначається за різницею актуального стану та його середніми

багаторічними, фоновими, мінімальними, максимальними та оптимальними значеннями.

Індекси екологічного стану розраховуються за даними інвентаризаційних та моніторингових досліджень, за умов попереднього визначення та обґрунтування системи параметрів, що контролюються та вимірюються.

За антропоцентричним підходом невід'ємною складовою ландшафтно-геохімічних досліджень екологічного стану територій мають бути медико-екогеохімічні дослідження. У такому випадку інвентаризаційний етап ландшафтно-екогеохімічних досліджень розширюється за рахунок інвентаризації стану здоров'я населення, окремої інвентаризації «техногенних хвороб» з відповідною географічною прив'язкою. А до складу аналітичних досліджень додаються аналіз шляхів надходження забруднювальних речовин до організму людини та спряжений аналіз ступеня забрудненості, хімічного складу забруднювальних речовин і здоров'я населення з акцентом на просторових особливостях. На етапі оцінки може вирішуватися обернена задача: оцінка впливу геохімічного середовища на організм людини, яка включає: 1) оцінку геосистем за шляхами надходження забруднюючих речовин до організму людини та формуванням «дозового» (техногенного) навантаження на організм людини; 2) оцінку внеску «критичних» хімічних елементів у формування техногенного навантаження на організм людини та виникнення певних захворювань; 3) оцінку впливу просторової структури середовища, видів та інтенсивності міграції на вміст хімічних елементів у біосубстратах на стан здоров'я населення в

цілому; 4) порівняльну оцінку вмісту хімічних елементів у біосубстратах з їх вмістом у фонових еталонних біосубстратах тощо.

Великого значення набувають прогнозні дослідження, які мають на меті передбачення медико-екологічних наслідків змін геохімічного середовища за схемою «доза–ефект–наслідки» з використанням системи діагностичних біосубстратів та індикаційних біогеохімічних моделей «геохімічна аномалія – організм людини».

Отже ландшафтно-геохімічна оцінка екологічного стану територій ґрунтується на інвентаризаційних та аналітичних дослідженнях і системі діагностики стану довкілля. Основними методами досліджень є порівняльний та спряжений ландшафтно-екогеохімічний аналізи і картографічне моделювання. Складаються оцінювальні та оцінювально-прогнозні карти: ступеня забруднення територій, первинного розподілу забруднень, перерозподілу забруднень (виносу–транзиту–акумуляції, поверхневого стоку), акумуляції забруднень (ландшафтно-геохімічних бар'єрів), переходу забруднень у біоту, техногенного впливу на здоров'я людини.

Для визначення місць та оцінки накопичення забруднювальних речовин у результаті їх вторинного розподілу запропоновано методику картографування ЛГБ. Укладання карти ЛГБ ґрунтується на аналізі чинників їх формування, який виконується за показниками, що зумовлюють просторову диференціацію і контрастність ландшафтно-геохімічних умов міграції. Для цього використовується великомасштабна ландшафтно-геохімічна карта. Карти ландшафтно-геохімічних бар'єрів є не тільки інвентаризаційними, а й оцінювально-прогнозними картами, бо на них показуються ділянки найбільш

ймовірної акумуляції хімічних елементів, у тому числі техногенного походження. Карта ЛГБ далі може використовуватися як для інтегральної оцінки забрудненості території, так і для її ландшафтно-екологічного зонування.

Отже, кінцевим етапом ландшафтно-геохімічної оцінки екологічного стану території є розрахунки індексів екологічного стану та укладання відповідних карт (за ландшафтно-геохімічним підходом) або медико-екогеохімічна оцінка (за медико-географічним підходом).

? Запитання для самоконтролю

1. Що таке ландшафт?
2. Дайте визначення поняття «геохімічний ландшафт».
3. Класифікація ландшафтно-геохімічних спряжень.
4. Внаслідок чого формуються техногенні геохімічні аномалії?
5. Під дією якого фактора можливе існування антропогенного ландшафту?
6. Що Ви розумієте під поняттям «самоочищення геохімічних систем»?
7. Перелічіть основні критерії ландшафтно-геохімічної оцінки екологічного стану території.
8. Яка існує методика ландшафтно-геохімічного аналізу?
9. Яким чином формується первинне поле забруднення?
10. Внаслідок яких процесів формується вторинне поле забруднення?

Тести для самоконтролю

Виберіть правильну відповідь:

- 1. Сукупність елементарних ландшафтів, зв'язаних між собою певними умовами міграції хімічних сполук, називається:**
 - а) геохімічним спряженням;
 - б) спряженим ландшафтом;
 - в) геохімічним ландшафтом;
 - г) елементарним ландшафтом.
- 2. Ландшафтно-геохімічні спряження – це:**
 - а) вища одиниця морфологічної структури природно – територіального комплексу;
 - б) геосистема певного таксономічного рівня;
 - в) структурна одиниця геохімічної оболонки;
 - г) сукупність пов'язаних між собою латеральною міграцією фацій, які перетинає лінія стоку від вододілу до тальвегу.
- 3. Основні типи ландшафтно - геохімічних структур моделюються на картах:**
 - а) ландшафтно-геохімічних;
 - б) гідрогеологічних;
 - в) гідрохімічних;
 - г) біогеохімічних.
- 4. Природно-територіальна система (комплекс), розвиток якої постійно підтримується людиною, – це:**
 - а) автономний ландшафт;
 - б) технологічний ландшафт;
 - в) елементарний ландшафт;
 - г) антропогенний ландшафт.

5. **Закінчіть речення:** Під здатністю будь-яким способом зберігати сталий хімічний склад та фізико-хімічні властивості протягом значного часу по відношенню до часу зміни інваріанту розуміють
6. **Виберіть правильну відповідь.** Критеріями ландшафтно-геохімічної оцінки екологічного стану території є значення показників:
 - а) фонових;
 - б) кларкових;
 - в) середніх багаторічних, ГДК;
 - г) всіх разом взятих.
7. **Закінчіть речення:** Методика ландшафтно-геохімічного аналізу й оцінки складається з методів _____.
8. **Ландшафтно-геохімічний аналіз й оцінка екологічного стану територій здійснюється за _____.**
9. **Виберіть правильну відповідь.** Первинне поле забруднення формується на поверхні ґрунту внаслідок:
 - а) зміни шляхів надходження техногенних елементів та їх сполук;
 - б) непрямого надходження техногенних речовин від джерела забруднення;
 - в) прямого надходження техногенних речовин від джерела забруднення;
 - г) зміни фізико-хімічних властивостей техногенних елементів та їх сполук.
10. **Вторинне поле забруднення формується внаслідок процесів:**
 - а) міжтериторіального та міжкомпонентного перерозподілу забруднювальних речовин та їх акумуляції в природних компонентах;
 - б) зміни технологічних характеристик джерел забруднення;

- в) зміни просторових особливостей та видового складу рослинного покриву;
- г) зміни ландшафтно – морфологічної структури.

2.2. Моніторинг навколишнього природного середовища

- Принципи класифікації систем моніторингу.
- Основні задачі екологічного моніторингу.
- Моніторинг забруднення навколишнього середовища.
- Прилади і системи моніторингу навколишнього середовища.
- Методи контролю в ґрунтовому моніторингу.
- Методи контролю за станом забруднення вод.
- Методи контролю за станом забруднення атмосфери.

Запитання для роздумів:

- Чому мрія В.І. Вернадського про те, що людина може брати на себе керівництво всіма процесами в біосфері, спрямувати їх у «розумне русло», сьогодні виглядає нереально?

Принципи класифікації систем моніторингу

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

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

Таблиця 2.1

Класифікація систем моніторингу

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

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

Таблиця 2.2

Рівні моніторингу

| Параметр | Локальний | Регіональний | Глобальний |
|---|---------------------------|---|-------------------------|
| Площа, охоплена системою моніторингу, км ² | 101-102 | 103-106 | до 107-108 |
| Відстань між пунктами відбору проб, км | 0,01-10 | 10-500 | до 3000-5000 |
| Періодичність досліджуваних процесів | дні - місяці | роки | десятиліття - століття |
| Частота спостережень | хвилини - години | декада - місяць | 2-6 разів на рік |
| Кількість компонентів, що спостерігаються | 3-30 | 120-1500 | 103-106 |
| Точність | частки ГДК | до 30% | десяті частки, % |
| Оперативність видачі інформації | у реальному масштабі часу | через 1-3 місяці з початку відбору проб | роки з дня відбору проб |

Об'єктами спостереження можуть бути:

- окремі місця і зони, розміри яких не перевищують десятки кілометрів (локальний моніторинг);
- локальні джерела підвищеної небезпеки: території поблизу місць захоронення радіоактивних відходів, зони впливу АЕС, хімічні заводи (імпактний моніторинг);
- території площею до тисяч квадратних кілометрів (регіональний моніторинг);
- загальносвітові процеси і явища в біосфері та в екосфері Землі (глобальний моніторинг).

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

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

Основні задачі екологічного моніторингу

Шляхи вирішення екологічних проблем, стратегія екологічної безпеки і стійкого розвитку все ще залишаються під загальною увагою.

Оцінки глобального екологічного стану навколишнього середовища змінюються від оптимістичних (типу «необхідно запобігти екологічній кризі») до помірковано песимістичних (типу «планета знаходиться напередодні кризи») і вкрай песимістичних (на регіональних рівнях мова вже йде про «тверду екологічну кризу»). Вважають, що відповіді на ці питання повинна дати наукова концепція екологічної безпеки на базі екологічного моніторингу навколишнього

середовища. Першим етапом у будь-якому випадку може бути тільки система одержання (збору) інформації про стан навколишнього природного середовища.

Наприкінці 60-х років багато країн усвідомили, що необхідно зкоординувати зусилля зі збору, збереження і переробці даних про стан навколишнього середовища. У 1972 р. в Стокгольмі пройшла конференція з охорони навколишнього середовища під егідою ООН, де вперше виникла необхідність домовитися про визначення поняття «моніторинг». Вирішено було під моніторингом навколишнього середовища розуміти комплексну систему спостережень, оцінки і прогнозу змін стану навколишнього середовища під впливом антропогенних факторів. Термін з'явився як доповнення до терміна «контроль стану навколишнього середовища».

У даний час під моніторингом розуміють сукупність спостережень за визначеними компонентами біосфери, спеціальним чином організованими в просторі і часі, а також адекватний комплекс методів екологічного прогнозування.

Основні задачі екологічного моніторингу: спостереження за станом біосфери, оцінка і прогноз її стану, визначення ступеня антропогенного впливу на навколишнє середовище, виявлення факторів і джерел впливу. У кінцевому випадку метою моніторингу навколишнього середовища є оптимізація відносин людини з природою, екологічна орієнтація господарської діяльності.

Екологічний моніторинг виник на стику екології, біології, географії, геофізики, геології й інших наук. Виділяють різні види моніторингу в залежності від критеріїв:

- біоекологічний (санітарно-гігієнічний);
- геоєкологічний (природно-господарський);
- біосферний (глобальний);
- геофізичний;
- кліматичний;
- біологічний;
- здоров'я населення й ін.

Особливу роль у системі екологічного моніторингу відіграє біологічний моніторинг, тобто моніторинг біологічної складової екосистеми (біоти).

Біологічний моніторинг – це контроль стану навколишнього природного середовища за допомогою живих організмів. Головний метод біологічного моніторингу – біоіндикація, зміст якої полягає в реєстрації будь-яких змін в біоті, викликаних антропогенними факторами. У біологічному моніторингу можуть бути використані не тільки біологічні, але і будь-які інші методи, наприклад хімічний аналіз змісту забруднювальних речовин в живих організмах.

Біологічні методи аналізу – це якісне виявлення і кількісне визначення неорганічних і органічних сполук, що базується на застосуванні живих організмів як індикаторів. Умовно ці методи можна поділити на методи *біоіндикації* і *біотестування*.

Біоіндикація

Біоіндикація (від лат. *bio* – живий, *indicare* – вказувати) – метод оцінки абіотичних і біотичних чинників середовища за допомогою біологічних систем. Метод ґрунтується на властивості багатьох організмів реагувати на зміну фізичних, хімічних, екологічних

характеристик середовища проживання, які проявляються в особливостях їх росту, розвитку, чисельності, появи пігментації і люмінесценції (для фітобактерій), зміні складу крові, порушенні функцій, патологічних захворюваннях аж до летального кінця.

Засновником методу і наукового напрямку є академік О.П. Карпінський (1887 р.). Методологічні основи проблеми біоіндикації були закладені працями В. І. Вернадського про біосферу.

Біоіндикатори – це організми або їх угруповання, життєві функції яких тісно корелюють з певними чинниками середовища і можуть використовуватися для їх оцінки.

Відповідний сигнал організму-індикатора на стресовий фактор середовища у виді зовнішніх і внутрішніх змін ґрунтується на біохімічних і фізіологічних реакціях:

- ◆ самої клітини, що призводять до зміни її розмірів (збільшення розмірів клітини смоляних ходів у сосен, ушкоджених SO_2);
- ◆ субклітинних структур (розширення цистерн ендоплазматичного ретикулуму під дією SO_2);
- ◆ мембрани клітини (руйнування за рахунок розриву дисульфідних містків білкових молекул через зміну рН);
- ◆ ферментів (свинцеве ферментативне отруєння);
- ◆ гормонів (гіпер- або гіпогормональна стимуляція росту під впливом біостимуляторів або пестицидів відповідно);
- ◆ пігментних клітин (зміна кольору флавоноїдних пігментів квітів під впливом важких металів);
- ◆ основних показників фотосинтезу (бліде забарвлення листя через зменшення вмісту фотоактивного пігменту хлорофілу під дією

підвищеної концентрації важких металів у ґрунті; інтенсивності фотосинтезу, внаслідок токсичних газоподібних викидів і, як результат, зниження врожаю).

Таким чином, біогеохімічний спосіб оцінки забруднення довкілля за визначенням вмісту політантів у компонентах біоти (рослини, гриби, мікроорганізми, молюски, тварини, а також їх органи) є біоіндикацією. Якщо досліджуваний біооб'єкт - рослина, то виділяють *фітоіндикацію*.

Фітоіндикаторами називають рослини, рослинні угруповання, що вказують на конкретні умови середовища. Вони можуть бути *прямими*, тобто безпосередньо пов'язані з якимись конкретними умовами середовища, наприклад, з вмістом у ґрунті кальцію (рослини-кальціфілі), або *опосередкованими* - супутниками, наприклад, астрагал накопичує селен, який є супутником уранових руд.

Уже за зовнішнім виглядом рослин можна судити про родючість ґрунту, залягання ґрунтових вод, аномальний вміст певного хімічного елемента і можливі поклади корисних копалин.

У залежності від *цільового параметра, визначуваного* фітоіндикатором, *фітоіндикація* поділяється на напрямки: *біогеохімічна індикація*, або *індикація корисних копалин*, *гідроіндикація*, *галоіндикація*, *агроіндикація*, *екологічна індикація*.

Біогеохімічна індикація - це спосіб пошуку за характерними фітоіндикаторами рудних родовищ, наприклад, індикатором

збагачення ґрунту на цинк є фіалка, на магній - полин, на кобальт - смілка кобальтова.

Гідроіндикація - це спосіб оцінки оводненості ґрунту даного регіону або біооб'єкту, наприклад, для пошуку води в напівпустельних і пустельних зонах (верба, вільха, щавель, смородина ростуть на ґрунтах з глибиною залягання вод до 1 м).

Галоіндикація - це виявлення характеру і ступеня засолення ґрунтів; так, часник, буряк, редис і, особливо, пирій та ячмінь ростуть на засолених ґрунтах, а дуже низьку солестійкість мають цитрусові, яблуня, груша, а також капуста, картопля, горох.

Агроіндикація - це ботанічні і ґрунтові критерії оцінки ландшафту для його агрокультивування - оброблення ріллі, виноградників, ягідників, садів.

Екологічна індикація являє собою оцінку стану навколишнього середовища за станом рослинного покриву.

Необхідно відмітити, що індикація стану навколишнього середовища розвивається і поповнюється новими методами. Так, розроблено *фітогідрогеохімічний* метод індикації, суть якого полягає в наступному. При проведенні аналітичних робіт з метою виявлення ареалу розсіювання в різних середовищах (пухкі відкладення, рослини, тварини) елементи, що знаходяться в нестабільному стані і, отже, слабо зв'язані із субстратом середовища, можуть бути легко витягнуті екстрагентами різного складу і концентрації. Розроблено високоефективні методики індикації ареалів розсіювання металів для

різних цілей, які полягають в приготуванні короткочасних водних або хлориднокислих витяжок із рослин з наступним аналізом отриманих розчинів. Щоб не було плутанини, варто чітко розрізняти вищевказані напрямки біоіндикації і її методи, у тому числі фітогідрогеохімічний.

При *фітогеохімічній індикації* першочерговими задачами є:

а) вибір рослин, які можуть бути достовірними біогеохімічними індикаторами; їх специфічність визначається зіставленням вмісту цільового елемента або групи елементів у золі рослин на ділянках зі свідомо максимальним і мінімальним вмістом (забрудненням);

б) вивчення концентраційної залежності процесу накопичення досліджуваного компонента об'єктом-індикатором;

в) вибір методів аналізу, придатних для масових визначень.

Для екологів важливе значення має *фітоіндикація кліматичних і параметрів ізоэкологічна (природоохоронна) індикація*.

Широке застосування біоіндикації відмічено в:

- ◆ індикаційній геоботаніці;
- ◆ ґрунтознавстві при вивченні ґрунтів, рельєфу, особливо зсувів, обвалів, для пошуку води в пустелі;
- ◆ геології для розвідки корисних копалин;
- ◆ біогеографії та її новій галузі - *індикаційній біогеографії*. Дані

аналізів біооб'єктів наносять на карту, а точки з однаковою концентрацією тих чи інших елементів з'єднують ізолініями, які називають ізоборами, ізокобальтами, ізоферумами тощо. Точки або регіони найбільшої концентрації елементів у золі рослин є найбільш перспективними для дальшої розвідки там певних корисних копалин.

Такими методами знайдені поклади Купруму, Цинку, Ніколу, Кобальту та інших елементів.

Щодо біогеохімічних досліджень в цій області, то очевидно, що концентрування хімічних елементів живими організмами визначається їх власними фізіологічними потребами. За словами В.І. Вернадського, вміст в організмі макро- і мікрохімічних елементів «для кожного організму є видовою ознакою». Це положення справедливе лише для територій із середнім для регіону або біосфери геохімічним фоном, які отримали назву «фонових». На поверхні Землі існують біогеохімічні провінції, в межах яких концентруються поклади тих чи інших елементів. Окремі компоненти біоти цих провінцій накопичують у собі ці елементи у надлишку понад фізіологічно обумовлені. Вони і можуть використовуватися як біогеохімічні індикатори. Нині досить широко застосовують біогеохімічні методи пошуку корисних копалин у випадку геохімічних аномалій. А у випадку аномалій антропогенних здійснюється біогеохімічна індикація стану навколишнього середовища. На території дослідження збирають зразки рослин (листя, кору, гілки, корінці), потім їх спалюють, а надалі піддають елементному і спектрофотометричному аналізу.

У залежності від *об'єкта дослідження* існують мікро- і макроскопічні методи. Якщо за допомогою мікроскопічних методів можна спостерігати порушення під дією антропогенних чинників вже на рівні клітини, її мембрани, субклітинних структур, то макроскопічні методи дозволяють виявити ефект біологічного накопичування окремих токсичних речовин на рівні організмів і їх органів.

У залежності від *виду моніторингу* методи біоіндикації поділяють на:

- *пасивний*, який досліджує видимі або непомітні ушкодження і відхилення від нормального стану, які є ознаками несприятливої дії чинників на біооб'єкти, що вільно існують у природному середовищі;

- *активний*, який використовує відповідну реакцію найчутливіших до даного чинника організмів на досліджуваній ділянці (біотестування). Це може бути як один чинник (радон), так і багатокомпонентна суміш (випускні гази автотранспорту).

Методи біоіндикації мають відповідати таким вимогам: відносна швидкість проведення біоіндикації, отримання досить точних і відтворюваних результатів, наявність великої кількості об'єктів, які придатні для біоіндикації.

Можливість *дистанційної* біоіндикації зів'янення, зникнення первинної рослинності, появи нових видів, більш пристосованих до умов середовища, що змінилися, доведена повторюваними зйомками вкритих рослинністю територій, які постраждали від послідовної дії хімічних агентів різної природи.

Біотестування - оцінка якості компонента біосфери за відповідними реакціями організмів, що його населяють і виконують роль тест-об'єктів. На відміну від біоіндикації біотестування являє собою характеристику впливу на біоценози і, будучи біологічним, є спорідненим з хімічними методами аналізу. У той же час, на відміну від хімічних методів, біотестування дозволяє реально оцінити інтегральну токсичність і небезпеку, обумовлені наявністю і дією поллютантів та їхніх метаболітів.

Біотестування застосовують для оцінки токсичності стічних вод на різних стадіях їхнього очищення, при впровадженні нових

технологій, для розробки граничнодопустимого скидання (ГДС) і ГДК. До стандартизованих біотестів відносяться біотест на зелених водоростях *Chlorella vulgaris*, *Chlorophycota*, *Rhizoclonium hieroglyphicum*, синьо-зелених водоростях *Chyanophycota nabaena*, гілковусих ракоподібних дафніях *Daphnia magna* і *Cladocera*, а також на хемотрофних бактеріях *NitroZomonas*, *Nitrobacter*, рибах (високочутливих – лососеві, плотва, судак, середньочутливих – окунь, лящ, короп), активності ферментів, наприклад, активності дегідрогеназ, на які токсично впливають важкі метали.

Біологічні методи аналізу відрізняються високою чутливістю і вибірковістю виявлення біологічно активних речовин. Наприклад, бактеріальне (*Streptococcus salivarius*) виявлення тіаміну відповідає 10^5 мкг/мл. Використанню методу сприяє додаткова інформація про вплив аналізованих речовин на життєдіяльність організмів у досліджуваних умовах.

При вивченні дії токсичних речовин і їх ГДК або встановлення токсичного впливу поллютантів, летальних доз, фармакологічного ефекту лікарських препаратів, а також в аналізі синтезованих біологічно активних речовин використовують живі організми як тест-об'єкти. Антибіотики і антивірусні ліки аналізують за їх здатністю впливати на ріст і розвиток мікроорганізмів і різноманітних вірусів; накопичення в листі рослин фенольних ароматиків або рослинних глікозидів антоціанів, що містять як аглікон гідроксипохідні 2-фенілхромену, свідчать про стресову ситуацію.

У біогеохімії й екології метод дуже популярний. За його допомогою визначають вітаміни, вуглеводи, амінокислоти, жирні

кислоти, токсини й отрути; селективно витягають катіони благородних металів після акумулювання в клітинах мікроорганізмів; метод використовують при контролі забруднень навколишнього середовища і оцінці роботи очисних споруд.

Залежно від призначення за спеціальними програмами здійснюються загальний, кризовий та фоновий екологічний моніторинги довкілля.

Загальний екомоніторинг довкілля - це оптимальні за кількістю та розміщенням місця, параметри і періодичність спостережень за довкіллям, які дають змогу на основі оцінки і прогнозування стану довкілля підтримувати прийняття відповідних рішень на всіх рівнях відомчої і загальнодержавної екологічної діяльності.

Кризовий екомоніторинг довкілля - це інтенсивні спостереження за природними об'єктами, джерелами техногенного впливу, розташованими в районах екологічної напруженості, у зонах аварій та небезпечних природних явищ із шкідливими екологічними наслідками, з метою забезпечення своєчасного реагування на кризові та надзвичайні екологічні ситуації і прийняття рішень щодо їх ліквідації, створення нормальних умов для життєдіяльності населення і господарювання.

Фоновий екомоніторинг довкілля - це багаторічні комплексні дослідження спеціально визначених об'єктів природоохоронних зон з метою оцінки і прогнозування зміни стану екосистем, віддалених від об'єктів промислової і господарської діяльності, або одержання

інформації для визначення середньостатистичного (фонового) рівня забруднення довкілля в антропогенних умовах

Моніторинг забруднення навколишнього середовища

У даний час використовують два основні терміни, що стосуються оцінки якості навколишнього природного середовища: моніторинг і контроль. Моніторинг – система спостереження, оцінки і прогнозу змін стану навколишнього середовища під впливом антропогенної дії. Моніторинг не виключає завдання управління якістю навколишнього середовища, тоді як контроль – не тільки спостереження і отримання інформації, але і управління станом середовища. Розрізняють досить багато видів моніторингу як за характером, так і за методами або цілями спостереження. Відповідно до трьох типів забруднень розрізняють моніторинг глобальний, регіональний, імпактний; за способами – авіаційний, космічний, дистанційний, по завданням – прогностичний.

Глобальний моніторинг передбачає стеження за загальносвітовими процесами і явищами в біосфері і здійснення прогнозу можливих змін. Регіональний моніторинг охоплює окремі регіони, в межах яких спостерігаються процеси і явища, що відрізняються за природним характером або за антропогенними діями від природних біологічних процесів; імпактний моніторинг забезпечує спостереження в особливо небезпечних зонах і місцях, що безпосередньо прилягають до джерел забруднювальних речовин. Базовий моніторинг – це стеження за станом природних систем, на які практично не накладаються регіональні антропогенні дії. Для

здійснення базового моніторингу використовують віддалені від промислових регіонів території, зокрема біосферні заповідники.

При моніторингу якісно і кількісно характеризується стан повітря, поверхневих вод, кліматичні зміни, властивості ґрунтового покриву, стан рослинного і тваринного світу. До кожного з перерахованих компонентів біосфери пред'являються особливі вимоги і розробляються специфічні методи аналізу.

Прилади і системи моніторингу навколишнього середовища

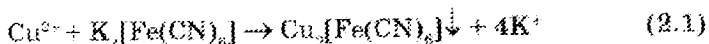
Методи хімічного і фізико-хімічного аналізу дозволяють визначити якісний і кількісний склад забруднювальних речовин в навколишньому середовищі (в повітрі, в ґрунті, у воді).

За допомогою хімічних методів встановлюється склад речовини, використовуючи хімічні властивості визначуваних елементів, йонів або функціональних груп, які пов'язані з наступними змінами:

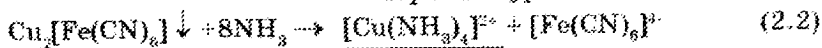
- ◆ перетвореннями, утворенням і зникненням осадів;
- ◆ зміною кольору досліджуваного розчину;
- ◆ виділенням газу або світінням, характерним тільки для даної речовини;
- ◆ появою забарвлених перлів при стопленні кристалічних солей;
- ◆ забарвленням полум'я пальника.

Такого роду легкоздійсненні хімічні реакції називаються *характерними*, або *якісними*. Їх прикладом може бути випадіння червоно-бурого осаду $\text{Cu}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$, малорозчинного в розведених

кислотах, але легкокорозчинного у розчині аміаку. Реакція розчину солі Купруму з калій гексаціанофератом (II) і розчинення осаду, який утворюється, наведено в рівняннях 2.1, 2.2.

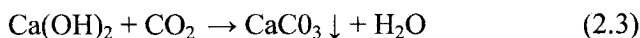


Червоно-бурий



Яскраво-синій

Виділення газу візуально фіксується барботуванням (від франц. barbotage - перемішування) бульбашок, однак його склад визначають індикаторними методами або додатковими хімічними реакціями, наприклад, CO_2 пропускають крізь вапняну воду і виявляють за її скаламутнінням (рівняння 2.3):



Посиніння універсального лакмусового папірця видає виділення аміаку, а його почервоніння – гідрогенхлориду.

Світіння, або люмінесцентну реакцію, спостерігають при опроміненні ззовні УФ-світлом ртутної або дугової лампи (лампи розжарювання) реакційної посудини або хроматограми з нанесеними плямами визначуваних речовин. Яскраво-червоним кольором світяться в УФ-світлі порфірини – природні комплекси; жовто-коричневе світіння має Pb^{2+} і блакитне Cd^{2+} з піридином і калій йодидом; йони галогенів з хініном світяться жовто-зеленим кольором; візуальне світіння флуоресцентних індикаторів використовують у геохімії при

кислотно-основному титруванні ґрунтових витяжок, рослинних екстрактів, ПАР, вин, пива, ефірних олій. Хемілюмінесцентні індикатори (ті, що не потребують зовнішнього джерела збудження) – люцигенін, люмінол та ін., використовують для визначення важких металів (Cu^{2+} , Pb^{4+}), біологічних відновників, природних вуглеводів – глюкози, фруктози, аскорбінової кислоти, а також жирів і олій.

Характерна реакція має бути швидкою і практично незворотною, відрізнятися чутливістю і бути по можливості строго специфічною для даного елемента або речовини.

Чутливість реакції визначається мінімальною кількістю обумовленої речовини, що виявляється даним реактивом або методом.

Специфічними реактивами, або *реакціями* називаються такі реактиви або реакції, що дозволяють у певних умовах доводити наявність даних йонів у присутності інших за рахунок унікальних, властивих тільки даному йонові візуальних явищ: осадження, забарвлення, запаху, світіння, термо ефекту, газовиділення.

Аналітичні реакції якісного виявлення підрозділяються на *загальні*, при яких визначуваний реагент здатний реагувати з декількома йонами, зазвичай хімічними аналогами, з утворенням одноколірних і однорідних осадів, наприклад, дрібнокристалічні білі осадки катіонів II групи з амоній оксалатом: CaC_2O_4 , SrC_2O_4 і BaC_2O_4 ; і *власні* – реакції даного йона або речовини з визначеним реагентом з утворенням характерного продукту, невідтворюваного результату, наприклад, реакція срібного дзеркала на альдегідну функціональну групу. Найбільш важливі реакції якісного аналізу, застосовувані при вивченні теми «Моніторинг довкілля».

Кількісний аналіз

Хімічні методи кількісного аналізу, що використовуються в біогеохімічних дослідженнях, розроблені фундаментальною аналітичною хімією і класифікуються як:

Гравіметричний метод – ваговий аналіз, пов'язаний зі встановленням маси; метод забезпечує максимальну точність (сучасні аналітичні терези дозволяють зважувати з точністю до 0,00001-0,0001г), однак є дуже трудомістким і тривалим.

Об'ємний аналіз – сукупність методів кількісного аналізу, в основу виміру яких покладено об'єм розчинів, газів, осадів з метою встановлення *концентрації* визначуваного компонента.

Основи гравіметрії

Гравіметрію (від лат. *gravis* – важкий і гр. *metrein* – вимірюю) застосовують у геохімії для визначення практично будь-яких компонентів аналізованого об'єкта, за винятком речовин у слідових кількостях. Варто враховувати, що визначення мікроелементів при аналізі біосубстратів потребує великих наважок, що може бути причиною ускладнення аналітичного процесу, ймовірності помилок і переваги інших методів аналізу.

Гравіметричний аналіз здійснюють ступенево:

І стадія – взяття наважок: з аналізованої проби відбирають точну наважку речовини, зазвичай від 100 мг до 1-3 г для твердих речовин і значно більше - для рідин. Величина наважки впливає на відносну помилку, тому, щоб її зменшити і, маючи передбачувані дані про аналіз, наважку попередньо розраховують.

Приклад розрахунку наважки води. Якщо передбачуваний вміст органічної речовини у воді 0,05%, то, щоб з наважкою було зручно працювати, маса визначуваної речовини має становити 0,01-0,1 г. Оскільки органічної речовини у воді мало, то беремо велику норму - 0,1 г. Тоді за формулою 2.4:

$$\omega = \frac{m_{\text{орг.}}}{m_{\text{H}_2\text{O}}} \times 100\% \quad (2.4)$$

визначимо наважку: $m_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{m_{\text{орг.}}}{\omega} \times 100 = \frac{0,1}{0,05} \times 100 = 200\text{г}$

II стадія – виділення визначуваного компонента. Розрізняють безпосереднє виділення і осадження у вигляді будь-якої сполуки. Безпосереднє виділення не завжди можливе, його прикладом може служити:

а) визначення кристалізаційної води в кристалогідратах або в мінералах шляхом нагрівання;

б) визначення нерозчинних домішок у природній воді шляхом фільтрування або центрифугування з наступною декантацією.

В основному намагаються перевести досліджуваний зразок у розчин, а потім за допомогою реагенту осадити визначуваний компонент у вигляді осаду, що має, по можливості, мінімальне ДР, з метою досягнення повноти осадження. Розчинення наважки виконують так, щоб концентрація розчину відповідала ~ 1%, тобто якщо наважка 2 г, то її розчиняють у 50 – 100 мл розчинника (зазвичай води або кислоти). При поганій розчинності розчин нагрівають,

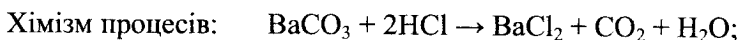
попередньо розтерши в ступці аналізовану пробу, з якої беруть наважку.

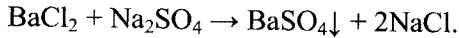
Для кількісного виділення аналізованого об'єкта осадження проводять надлишком осаджувача, розрахунок кількості якого ведуть за рівнянням реакції, виходячи з закону еквівалентів і збільшують на 50% для нелетких осаджувачів, а для летких – у 2-3 рази більше за розраховану кількість

III стадія – відділення осаду. Для повноти осадження осад залишають на якийсь час (до доби) для «дозрівання», тому що мікрочастинам у завислому стані в маточнику необхідний час для кристалізації. Кількісні виміри вимагають перевірки на повноту осадження: додавання до прозорого розчину над осадом 2–3 крапель осаджувача: наявність скаламутнення вимагає додавання осаджувача і повторного «дозрівання». При досягненні повноти осадження розпочинають фільтрування: через попередньо зважений фільтр Шотта відфільтровують осад, промиваючи його розчинником, що містить трохи осаджувача. Висушують на фільтрі до постійної маси, охолоджують і зберігають у екзикаторі з відповідним осушувачем.

IV стадія – розрахунок результату аналізу. За різницею мас фільтра з осадом і до фільтрування визначають масу осаду, потім розраховують вміст елемента в зразку.

Приклад розрахунку. Зразок мінералу вітериту масою 2 г дією кислоти переведено у розчин, й іони Барію осаджені у вигляді BaSO₄ масою 1,845 г. Визначити вміст Барію в мінералі.





Розрахунок за рівнянням: $n(\text{BaSO}_4) = \frac{m(\text{BaSO}_4)}{M(\text{BaSO}_4)} = \frac{1,845}{233} = 0,0079 \text{ моль};$

$$n(\text{BaSO}_4) = n(\text{BaCO}_3) = n(\text{Ba}) = 0,0079 \text{ моль}.$$

$$M(\text{Ba}) = A(\text{Ba}) \times n(\text{Ba}) = 137 \text{ г/моль} \times 0,0079 \text{ моль} = 1,0823 \text{ г}.$$

Визначення масової частки Барію в наважці мінералу:

$$\omega(\text{Ba}) = \frac{m_{\text{Ba}}}{m_{\text{мінер.}}} \times 100\% = \frac{1,08236}{2} \times 100\% = 54,12\%$$

Узагальнюючи гравіметричний метод, можна встановити загальну формулу розрахунку вмісту визначуваного компонента X :

$$X = \frac{m_x \times F}{m_{\text{наважки}}} \times 100\% \quad (2.5)$$

де m_x – маса визначуваного компонента; $m_{\text{наважки}}$ – маса наважки; F – фактор перерахування, розрахований за формулою:

$$F = \frac{a \times M_x}{b \times M_y} \times 100\% \quad (2.6)$$

де M_x і M_y – молекулярні маси визначуваного компонента і його вагової форми, a , b – стехіометричні коефіцієнти в рівнянні переведення визначуваного компонента в масову форму.

Різновидами гравіметрії є:

♦ *електрогравіметрія* – у якій компонент, що осаджується на катоді при електролізі;

♦ *термогравіметрія* – метод зважування термічно нестабільної речовини на спеціально сконструйованих термічних терезах, оснащених нагрівальним елементом: при підвищенні температури речовина розкладається, і маса зменшується.

Гравіметрія широко застосовується для аналізу компонентів біосфери при концентрації визначуваної речовини в розчині не нижче 10^{-3} моль/л для визначення пилу і сажі в атмосферному повітрі; вологості і мінерального залишку ґрунту; мінералізації води і донних мулів, забруднення води нафтою, нафтопродуктами, жирами; визначення органічної речовини в біосубстратах живої матерії.

Об'ємний аналіз

Об'ємні методи включають:

♦ *газовий аналіз* - визначення компонентів газових сумішей за допомогою автоматичних газоаналізаторів;

♦ *ультрамікрохімічний аналіз*, за допомогою якого визначувані компоненти визначаються з об'єму 10^{-3} мл зразка;

♦ *титриметричний аналіз* (від фр. *litre* - дозування, титр) найбільш розповсюджений метод, що базується на вимірі об'єму розчину реагенту відомої концентрації (*робочий розчин*, або *титрант*) за реакцією з *аналізованим розчином* точно вимірюваного об'єму і наступним розрахунком його концентрації.

Основний прийом титриметричного аналізу полягає в додаванні, прикраплюванні титранту з бюретки до аналізованого розчину точно відміряного об'єму до досягнення еквівалентного співвідношення реагентів, що і називається *титруванням*.

Головним у цьому процесі є досягнення *точки еквівалентності*, тобто моменту строгої відповідності кількості речовини еквівалентів реагентів. Точно зафіксувати цей момент можна за різкою зміною якогось фізичного параметра (температури, електропровідності, потенціалу індикаторного електрода) або візуально – за зміною забарвлення індикатора.

Гравіметрію й об'ємний аналіз поєднують *вимоги* до хімічної реакції: її необоротність, повнота протікання без конкуруючих реакцій, простота і швидкість. При титриметричному аналізі важливою вимогою стає спосіб фіксування точки еквівалентності.

Методи титриметрії поділяють за способом проведення процесу титрування і за типами реакцій титрування.

За способом проведення титрування розрізняють *метод заміщення; пряме і зворотне титрування*.

Метод заміщення використовують для аналізу нестійких речовин, що у результаті реакції з відповідним реагентом переводяться в стійкі і потім титруються. Необхідність застосування заміщення може виникнути, якщо реакція титрування не відповідає вищевказаним вимогам до реакцій об'ємного аналізу (простота, необоротність тощо).

Пряме титрування передбачає безпосереднє титрування аналізованої речовини титрантом у присутності індикатора.

Зворотне титрування зводиться до того, що до аналізованого розчину додають надлишок реагенту відомої концентрації і точного об'єму. Надлишок, що не прореагував, відтитровують робочим розчином. Розрахунком встановлюють об'єм надлишку і за різницею об'ємів знаходять спочатку об'єм реагенту, а потім вміст речовини у аналізованій пробі.

За типами реакцій, покладених в основу титрування, класифікують:

♦ *кисотно-основне титрування у водних і неводних середовищах*, у якому використовують реакцію нейтралізації;

♦ *осадове титрування*, що супроводжується випадінням осаду (аргентометрія і меркурометрія);

♦ *комплексотворення*, тобто реакції з утворенням комплексних сполук;

♦ *редоксметрія* - окисно-відновні процеси з перенесенням електронів.

Розрахунки у титриметричному аналізі базуються на законі еквівалентів і правилі, що впливає з нього: *об'єми розчинів двох реагуючих між собою речовин до досягнення точки еквівалентності обернено пропорційні молярним концентраціям еквівалентів цих розчинів.*

Математичний вираз правила об'ємного аналізу наведено в рівнянні 2.7:

$$c\left(\frac{1}{z}X\right) / c\left(\frac{1}{z}Y\right) = V(Y) / V(X), \quad (2.7)$$

Де: $V(X)$ і $V(Y)$ – об'єми робочого й аналізованого розчинів, мл;
 $c(\frac{1}{z}X), c(\frac{1}{z}Y)$ – молярні концентрації еквівалентів робочого й аналізованого розчинів, відповідно, моль/л; Z – еквівалентне число.

Загальноприйнятим способом вираження концентрації в титриметричному аналізі є *титр* – це концентрація стандартного розчину, яка дорівнює масі речовини, що міститься в 1 мл, тобто за формулою: 2.8:

$$T = \frac{m(X)}{V(X)}, \text{г/мл.} \quad (2.8)$$

Для переходу від титру (Т) до молярної концентрації еквівалентів $c(\frac{1}{z}X)$ використовують формулу:

$$c(\frac{1}{z}X) = \frac{T \times z \times 1000}{M_r(X)} \quad (2.9)$$

За допомогою титриметричного аналізу в геохімії визначають вміст кислот і кислотних оксидів в атмосфері; склад ґрунтів (Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , Cl^-); численні іони природних вод (CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , Cl^- , NH_4^+), усі види твердості, вміст розчинених у воді газів (O_2 , CO_2 , H_2S), величини хімічного і біохімічного споживання кисню (ХСК і БСК відповідно).

Фізико-хімічні методи аналізу

В основі цих методів лежать хімічні реакції, але обумовлені параметри, наприклад, електропровідність, окисно-відновний потенціал, сила полярографічного струму, оптична густина, належать до фізичних характеристик; тому такі методи поєднуються під егідою фізико-хімічних. Чутливість цієї групи методів становить 10^{-15} - $10^{-5}\%$.

Висока чутливість, автоматизація аналізу, доступність апаратури, простота техніки експерименту і можливість працювати в польових умовах роблять ці методи незамінними для геохімії.

Електрохімічні методи

Електрохімічні методи включають: кондуктометрію, потенціометрію, вольтамперометрію, спектрофотометрію, хроматографічний аналіз.

◆ Кондуктометрія (від англ. conductivity – електропровідність і гр. μετρεῖν – вимірюю) – метод, в основі якого лежить вимір електропровідності досліджуваних розчинів, яка змінюється внаслідок хімічної реакції. Електропровідність залежить від природи електроліту, концентрації розчину і температурних умов. Електропровідність розчину електроліту визначається за виміром активного опору між зануреними в розчин електродами. Для виміру опору користуються змінним струмом, аби уникнути електролізу і поляризації електродів. Для виміру питомої електропровідності використовують кондуктометри. Електрод кондуктометра занурюють

в електролітичну посудину з досліджуваним розчином. Після калібрування приладу знімають показання за шкалою.

Метод кондуктометрії використовується для експрес-аналізу повітря, органічних сполук, промислових газів, для кондуктометричного кислотно-основного й окисно-відновного титрування, визначення іонів SO_4^{2-} , Ag^+ , Mg^{2+} , Sr^{2+} , Pb^{2+} , Ba^{2+} у ґрунтових витяжках і воді, хлорид-іонів у ґрунтових водах і ґрунтових витяжках, загальної кислотності і солевмісту ґрунтів, вологості зерна і ґрунтів, контролю якості харчових продуктів.

До переваг методу відноситься висока чутливість визначення концентрації аналізованих розчинів 10^{-5} – 10^{-4} моль/л, досить висока точність визначення (0,1 – 2%), можливість дослідження забарвлених і каламутних розчинів.

◆ Потенціометрія (від лат. *potentia* – сила) базується на вимірі потенціалу електрода, зануреного в досліджуваний розчин, що змінюється в результаті хімічних реакцій і який є залежним від концентрації розчину і температури. Використання іоноселективних електродів розширило можливості застосування цього методу для визначення концентрації різних іонів, у тому числі рН, для аналізу і контролю процесів, перебіг яких супроводжується зміною іонної сполуки.

Для практичних вимірів складають гальванічний елемент з іоноселективного електрода й електрода порівняння, які спочатку занурюють у стандартний, а потім у досліджуваний розчин з різницею напруги – E . Шукану концентрацію визначають за рівнянням Нернста:

$$\lg c = \frac{zE}{O} + \lg c_0,$$

Де: Z – заряд йона, O – ізотермічна константа, при 25 °С дорівнює 58,8 мВ, c_0 – концентрація стандартного розчину. Потенціометрія існує в двох варіантах:

1. **Абсолютна (пряма) потенціометрія** або **метод концентраційного елемента** – визначення активностей (концентрацій) з використанням йоноселективних електродів, рН, окисно-відновного потенціалу (ОВП), іонів. Зараз створені йоноселективні електроди для декількох десятків катіонів і аніонів.

Основними приладами для виміру є йонометри, рН-метри, різноманітні йоноселективні (напр., калієвий ЗМ-К-01, нітратний ЗМ-НО₃-01) і допоміжні (напр., хлорсрібний ЗВЛ-ІМЗ) електроди.

Цим методом визначають йонний склад біологічних середовищ, льоду, дощової води, снігу; контролюють забруднення повітря, ґрунтів; досліджують йонні рівноваги в морській воді, встановлюють вміст нітратів у рослинах і продуктах; концентрації чисельних катіонів і аніонів у ґрунті; визначають рН і ОВП ґрунтових витяжок.

2. **Потенціометричне титрування** – базується на вимірі напруги і виявленні стрибка потенціалу для фіксування кінцевої точки титрування (*точки еквівалентності*) у реакціях осадження, нейтралізації, окиснення – відновлення і комплексоутворення. У цьому методі також використовують електроди порівняння й індикаторні електроди. Метод дозволяє визначати концентрації каламутних і забарвлених розчинів. Його застосовують для визначення загальної

кислотності ґрунтових розчинів, для визначення домішок пестицидів у багатокомпонентних розчинах використовують біодатчики, які сконструйовані за принципом потенціометричної комірки.

♦ Вольтамперометрія – сукупність електрохімічних методів аналізу, що вивчають залежність сили струму в електролітичній комірці від потенціалу, зануреного в аналізований розчин індикаторного мікроелектрода, на якому реагує досліджувана електрохімічно активна речовина. На принципі вольтамперометрії базуються наступні методи.

Амперометричне титрування дозволяє встановлювати точку еквівалентності за залежністю дифузійного струму (I_d) при постійному потенціалі (E_d) індикаторного електрода від об'єму (V) доданого титранту. Титрантом служить розчин реагента-осаджувача, комплексону, відновника або окисника з надлишковою концентрацією. Електрохімічно активна речовина викликає зміну дифузійного струму, його роль можуть відігравати й визначуваний інгредієнт, і титрант, і продукт їхньої реакції. Чутливість методу 10^{-6} - 10^{-5} моль/л. У геохімічних дослідженнях метод застосовується для визначення розчинності осадів і стійкості комплексів, аналізу неорганічних і органічних речовин, визначення меркаптанів у стічних водах.

Полярографія – різновид вольтамперометрії, базується на вимірі сили струму, що змінюється в залежності від напруги в процесі електролізу, в умовах, коли катод має дуже малу поверхню (електрод, який поляризується, індикаторний мікроелектрод), а анод – велику (неполяризований електрод). Як індикаторні мікроелектроди використовують **крапляні електроди**, потенціал яких змінюється

повільно і лінійно. Метод запропонований чеським ученим Я.Гейровським у 1922 р.

Повний розряд всіх аналізованих йонів досягається при певній силі струму, який називається граничним дифузійним струмом, що визначається за формулою:

$$I = Kc,$$

де $K=607 \times n^{0,5} \times Dm^{2/3} \tau^{1/6}$, де n - число електронів, що беруть участь в електрохімічній реакції; B - коефіцієнт дифузії, cm^2/c ; t - швидкість витікання ртуті, mg/c , m - час життя ртутної краплі, c - концентрація електроактивної аналізованої речовини.

Ця залежність є основою якісної полярографії: за величиною струму визначають концентрацію йона-окисника.

Вольтамперограми (осцилографічні полярограми) являють собою криві залежності $I = f(E)$ і реєструються спеціальними приладами - *полярографами* різних конструкцій.

Низку полярографічних методик розроблено для визначення меркаптану і метилмеркаптану у водах целюлозного виробництва. Метод дозволяє визначати вміст важких металів у природних водах, ґрунтах, фруктових-ягідних соках з чутливістю 0,002 мг/л. Полярографія з успіхом застосовується для визначення концентрацій життєво важливих регуляторів в організмі людини - вітамінів, гормонів, ферментів.

Висока чутливість методу робить універсальний полярограф ПУ-1 незамінним для визначення важких металів (Cu, Zn, Pb, Cd, Ni) у природних розчинах (ґрунтові води, опади, річкова вода). Чутливість

методу визначається концентрацією 10^{-6} - 10^{-5} моль/л (10^{-8} г). Підвищення чутливості домагаються удосконаленням вимірювальної апаратури. Ускладнені різновиди вольтамперометрії більш удосконалені, інструментальні варіанти носять назви *змінно-струмової* і *диференціальної імпульсної вольтамперометрії* (10^{-8} - 10^{-7} моль/л).

У змінно-струмовій вольтамперометрії окисен, що виділяється, практично не заважає визначенню багатьох електро-активних речовин. Методом імпульсної вольтамперометрії визначають наявність ціанідів в об'єктах довкілля з діапазоном виявлення 0,12 - 0,15 мкмоль/л.

Нижня межа визначуваних концентрацій максимально знижена до 10^{-11} моль/л в *інверсійній вольтамперометрії* за рахунок попередньої електрохімічної адсорбції або хімічного накопичення визначуваного компонента на поверхні чи в об'ємі мікроелектрода. Після цього виникає електрохімічна реакція продукту накопичення і стадія реєстрації вольтамперограми. Визначення катіонів макро- і мікроелементів, аніонів, різного роду комплексонів, органічних сполук складної структури – білків, ферментів, пестицидів і стимуляторів у різних компонентах біосфери визначають методом інверсійної вольтамперометрії.

На основі цього методу розроблено методику визначення сульфідовмісних шахтних порід з кислотою реакцією в річковій воді шахтних просадочно-териконових ландшафтів родовищ вугілля.

Спектрофотометричний аналіз

Спектрофотометричний аналіз включає сукупність інструментальних і візуальних методів, в основі яких лежить здатність речовин поглинати світло УФ, видимої і 14 областей довжин хвиль.

♦ **Колориметричний аналіз** (від лат. color – колір) – візуальний метод, різновид фотоколориметрії, заснований на встановленні концентрації розчиненої забарвленої сполуки за інтенсивністю забарвлення або відтінку. У ході аналізу звичайно використовують відповідний реагент, а після завершення реакції порівнюють з кольором серії стандартів з відомими концентраціями. Метод є швидким і простим, однак недостатньо точним; нижня межа встановлюваних концентрацій варіюється від 10^{-8} до 10^{-3} моль/л. Метод застосовний в геохімічних польових і лабораторних експериментальних дослідженнях.

• **Фотометричний і спектрофотометричний аналіз** розчинів і твердих речовин базується на вивченні спектрів поглинання в ультрафіолетовій (200 – 400 нм), видимій (400 – 760 нм) і інфрачервоній (760 – 50000 нм) областях спектру; тому цей метод також відноситься до адсорбційної спектроскопії, а для видимої області поглинання виділяють фотоколориметрію. Про теоретичний зміст методу, в основі якого лежить закон Бугера–Ламберта – Бера.

Принцип методу полягає у визначенні оптичної густини аналізованої забарвленої речовини і наступному знаходженні її концентрації за попередньо побудованим калібрувальним графіком $D=f(c)$. Методи надзвичайно чутливі ($10^{-8}\%$), а методики

фотоколориметричного визначення розроблені майже для всіх хімічних елементів.

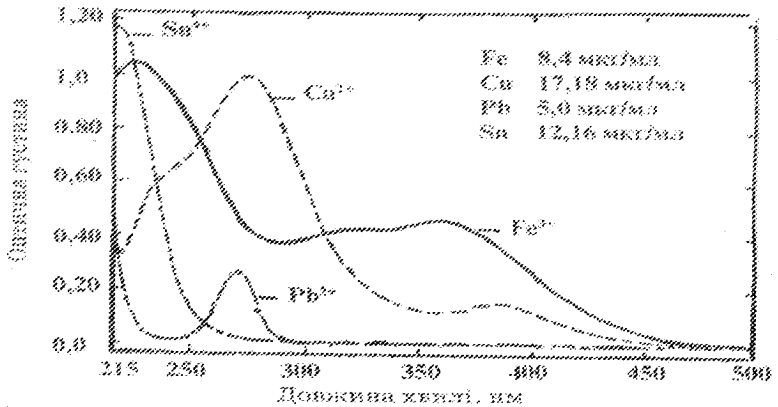


Рис. 2.1. Одночасне визначення забруднень Fe, Pb, Cu і Sn (за G.E.James).

Приладами для здійснення цих аналізів є фотоелектроколориметри (ФЭК- 60, КФК-2), спектрометри для видимої області спектра, УФ- і ІЧ- спектрофотометри. Сучасний спектрофотометр із діюдною матрицею (НР 8452 А) здатний зареєструвати повний спектр в інтервалі 190 – 820 нм за 0,1 с з високою відтворюваністю. У сполученні з методами хемометрії цей прилад дозволяє швидко і надійно проводити багатокомпонентний аналіз, наприклад, одночасне визначення важких металів в інтервалі концентрацій 5 – 20 мкг/мл, (рис. 2.1).

Спектрофотометричний інструментальний аналіз має високу чутливість і можливість використання для широкого кола сполук біогенних елементів, визначення поллютантів: нафтопродуктів, фенолів,

детергентів, добрив, катіонів важких металів у вигляді забарвлених комплексів.

Різновидом оптичних методів аналізу є нефелометрія (від гр.νεφέλη – хмара) – метод вивчення дисперсних систем, що базується на вимірі інтенсивності світлового потоку, розсіяного диспергованими частками. Виміри в нефелометрії підкоряються законові Релея (формула 2.10):

$$I_p = I_o K \frac{NV^2}{\lambda^4}, \quad (2.10)$$

де: I_p - інтенсивність розсіяного світла; I_o - інтенсивність падаючого світла; K - коефіцієнт пропорційності; X - довжина хвилі падаючого світла; N - загальне число часток; V - об'єм частки.

Відношення інтенсивності світла, що пройшло крізь розчин до вихідного потоку, – внутрішнє пропускання, пов'язане з концентрацією досліджуваного розчину законом Бугера – Ламберта – Бера.

Нефелометрія вимагає певних умов виконання: осади мають бути важкорозчинними, розчини – свіжоприготовленими і розведеними, обов'язкова побудова калібрувального графіку. Нефелометричні порівняння приблизно можна проводити візуально, порівнюючи досліджуваний розчин зі шкалою стандартів, приготовлених із задалегідь відомою концентрацією. Для точного встановлення концентрації використовують прилади – фотометри-нефелометри, (напр., ЛМФ-72), призначені для виміру величини пропускання або

оптичної густини зразків, за величиною якої знаходять концентрацію за графіком.

Хроматографічний аналіз

Хроматографія – сучасний і ефективний метод поділу, очищення і аналізу суміші речовин – своїм народженням (1903 р.) зобов'язана російському вченому М.С. Цвету. Метод дозволяє аналізувати сполуки дуже близьких за властивостями речовин, наприклад, ізотопів, лантанодів, актиноідів, амінокислот, вуглеводнів. Суть адсорбційного хроматографічного аналізу, що дозволяє поділити мікрокількості речовин, висококиплячі рідини або термічно нестійкі сполуки, полягає в наступному. Досліджуваний розчин у рідкому або газоподібному агрегатному стані, що називається адсорбат, пропускають крізь вузьку і високу колонку, наповнену адсорбентом – твердою речовиною, на поверхні якої відбувається адсорбція, тобто підвищення вмісту речовини, її поглинання, або вибіркове захоплення в залежності від спорідненості адсорбенту з адсорбатом.

Застосовують полярні адсорбенти: тонкодисперсний силікагель, ферум оксид, алюміній оксид, магній оксид, вуглеводи (крохмаль, целюлоза, глюкоза, лактоза), кальцій гідроксид, йонообмінні смоли (йоніти).

З неполярних адсорбентів для поглинання забарвлених домішок з водних і спиртових розчинів застосовують активоване вугілля, деякі смоли органічної природи (вофатит EW).

При пропусканні суміші речовин відповідно до їх полярності і спорідненості до адсорбенту у визначеній послідовності вони

поглинаються і затримуються адсорбентом у певних областях стовпчика. Якщо пропускається суміш забарвлених речовин, то виникають забарвлені зони і смуги на світлих адсорбентах. При промиванні колонки розчинником - елюентом відбувається розподіл розчинених речовин по стовпчику і їхнє поступове вимивання – пересування вниз за шляхом руху елюенту зі швидкістю, що залежить від адсорбційної здатності кожної речовини розподілюваної суміші. Такий процес тискувального виділення називається елюювання; елюент захоплює з колонки речовини в порядку від меншої до більшої міцності їхнього зв'язку з адсорбентом. Розчин, що виходить з колонки, збагачений на одну з речовин суміші, називають елюатом. Відносно адсорбенту – нерухомої фази, компоненти суміші, що зонально розподіляються і рухаються під впливом елюенту, є рухливою фазою.

Хроматограма – це результат зонального розподілу компонентів суміші різної сорбувальної здатності (рухлива фаза) по нерухомій фазі шару адсорбенту.

Класифікація хроматографії виходить з різних принципів.

У залежності від агрегатного стану рухливої фази розрізняють газову, рідинну і газорідинну хроматографію. Високоінформативним методом аналізу, що дозволяє ідентифікувати складні суміші пестицидів, органічних кислот, порфіринів, є газова хроматографія (ГХ), у якій рухливою фазою служить газ. За агрегатним станом нерухомої фази виділяють газоадсорбційну (нерухома фаза - твердий сорбент) і газорідинну хроматографію (нерухома фаза - рідина,

нанесена на твердий носій). Сильною стороною методу ГХ є здатність визначати речовини в пробах при концентрації 10^{-4} - 10^{-8} %.

Сучасна високоефективна ГХ, при якій суміш речовин розподіляється між нерухомою рідкою фазою й інертним газом, називається газорідинною розподільною хроматографією (ГРХ).

Крім ГРХ розподільна хроматографія може проводитися на твердій нерухомій фазі, на папері, у колонці. Однак розглядати процес розподілу в рафінованому вигляді не зовсім коректно, оскільки цей процес завжди супроводжує адсорбція, відбуваються взаємодії між аналізованою речовиною й адсорбентом, можливий іонний обмін, виникає поляризованість молекул і т.д.

За механізмами розподілу розрізняють йонообмінну, осадову, дифузійну, афінну, молекулярну (адсорбційну) і розподільну хроматографію.

Дифузійна хроматографія базується на розділенні речовин за швидкістю дифузії усередині адсорбенту в залежності від розміру і форми молекул.

Осадова - розроблена в 1948 р. В. М. Гапоном, розвинута К.М. Ольшаповою в 60-х роках і ґрунтується на утворенні важкорозчинних осадів у визначеній послідовності.

У йонообмінній рідинній хроматографії використовуються як сорбент йонообмінники, або йоніти – полімерні матеріали, що містять йонногенні або комплексоутворюючі групи, здатні до обміну на інші при контакті з електролітами. За знаком протиіона розрізняють аніоніти, катіоніти і поліамфоліти, здатні здійснювати, відповідно, катіонний і аніонний обмін. Йонообмінна хроматографія для геохімічних цілей

аналізує рідкісноземельні елементи, біологічні метаболіти, розділяє суміші пуринів, нуклеозидів, алкалоїдів, ферментів, радіонуклідів.

Афінна хроматографія (від лат. *affinis* – родинний) запропонована Р.Кватреказасом, 1968 р., використовує здатність біополімерів специфічно та оборотно взаємодіяти з субстраторами, інгібіторами, коферментами - лігандами, які ковалентно зв'язані з твердим носієм. Утворюється біoadсорбент, який вибірково із суміші утримує біополімер, споріднений з ним.

У залежності від напрямку руху розчинника (рухлива фаза) розрізняють одномірну (висхідну і спадну), двомірну і радіальну хроматографію.

У залежності від техніки проведення поділу в хроматографії існують колончаста, паперова, капілярна, тонкошарова хроматографія (ТШХ).

У колончастій рідинній хроматографії компоненти суміші розділяються за рахунок їхньої різної адсорбції з розчину твердим сорбентом при проходженні рідини - рухливої фази крізь колонку. У капілярній хроматографії використовують капілярні колонки, або «порожні», із внутрішнім діаметром 0,1 - 1мм. Сорбент у таких колонках нанесений тільки на стінки, а центральна частина вільна. Такого роду колонки відрізняються ефективністю поділу, швидкістю масообміну, зменшуються витрати рухливої фази; їх використовують у ГРХ.

Паперова хроматографія і ТШХ дозволяють працювати з мікрокількостями речовин. Паперова хроматографія виконується на

спеціальному фільтрувальному папері з чистої целюлози, що характеризується рівномірною щільністю.

ТШХ як носії в тонкого шару адсорбенту використовує металеві, пластмасові, скляні пластини з нанесеним на них покриттям із замішаних в інертному розчиннику алюміній оксиду, силікагелю або суміші адсорбенту з гіпсом, що виконує роль зв'язуючої речовини. Підготовка пластин – трудомісткий процес, що вимагає часу і певної техніки, вправності експериментатора. Тому поширені готові сілуфолові пластини виробництва Чехії з алюмінієвої фольги із силікагелевим покриттям. Техніка аналізу в паперовій і ТШХ є ідентичні. Найпоширеніші методи: метод висхідної хроматографії і радіально-горизонтальної хроматографії (рис. 2.2).

- Висхідна хроматографія. На папері або пластині Silufol на лінію старту, позначену на відстані 1 – 3 см від краю, капіляром наносять краплі речовини, що перебувають на відстані 2 – 2,5 см одна від одної: виходять круглі, добре окреслені плями діаметром до 1 см. Після висушування пластину занурюють стартовим кінцем у рухливу фазу, налиту в посудину (зазвичай використовують невеликий ексикатор, склянку або спеціальну хроматографічну камеру), шар рідини повинен бути нижчим за границю плям і не торкатися них. Підйом рідини рухливої фази відбувається під дією капілярних сил нагору. Нанесена речовина пересувається разом з розчинником, утворюючи зони або смуги. Закінчення хроматографування – досягнення фронту рівнем підйому рідини. Хроматограму висушують і проявляють.

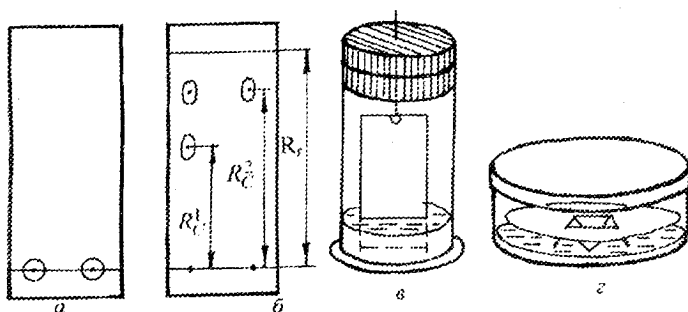


Рис. 2.2. Метод висхідної і радіально-горизонтальної хроматографії.

а) пластина до хроматографії; б) пластина після хроматографії; в) камера для висхідної хроматографії; г) камера для радіально-горизонтальної хроматографії.

Якщо речовини забарвлені, їх видно як яскраві плями; у випадку безбарвних речовин хроматограма вимагає спеціальної обробки: опромінення в УФ-світлі або проявлення в парі йоду, розчині нінгідрину, калій перманганату тощо.

• Радіально-горизонтальна хроматографія. З пластини Silufol або з хроматографічного паперу вирізають диск діаметром 9 см. Диск треба перегнути по взаємно перпендикулярних діаметрах і від центра диска надрізати по лініях перегину 4 надрізи завдовжки 1,5 см. Потім відігнути ріжки, які утворилися при розрізанні. На відстані 3–5 мм від лінії згину так званих ніжок на кожному секторі відмітити лінію старту і нанести капіляром розчин досліджуваної речовини або суміш речовин і «мітчики» – вихідні або відомі продукти для порівняння. Просушити диск на повітрі і помістити до хроматографічної камери, як камеру можна використовувати чашку Петрі. На її дно налити розчинник або суміш розчинників і занурити хроматограму ніжками:

фронт буде підніматись за колом в радіальних напрямках, зазвичай 3 - 4 см. Чашку Петрі поставити в іншу, більшого діаметра, і накрити верхньою половинкою. Далі хроматограму висушують і обробляють таким чином, як у випадку висхідної хроматограми.

Положення плям на хроматограмах характеризується значеннями коефіцієнта розподілу R_f (від англ. Ratio of fronts – відношення фронтів) і обчислюється за формулою 2.11:

$$R_f = \frac{R_c}{R_r}, \quad (2.11)$$

де: R_c - відстань від лінії старту до центра плям речовини; R_r - відстань від лінії старту до фронту розчинника.

Коефіцієнт розподілу для кожної сполуки є характеристичною величиною і залежить від температури, розчинника або системи розчинників, якості і сорту паперу. При повній відповідності всіх умов R_f може використовуватися для ідентифікації і наводиться в спеціальних таблицях. Однак на практиці зручніше порівняння проводити з «мігчиками», або «свідками» – сполуками заздалегідь відомого складу і будови.

В останні роки хроматографічний аналіз став одним з провідних методів у всіх галузях хімії. Для геохімії хроматографія в поєднанні з мас-селективними детекторами і підсилювачами електронного помножувача містить необмежені можливості аналізу об'єктів довкілля.

Найбільш розповсюджений вид у плані експериментального застосування – високоефективна рідинна хроматографія, або хроматографія високого тиску. Вона має кілька модифікацій, використовується з різного роду детекторами, удосконалюється за рахунок нових прийомів (напр., післяколончаста дериватизація компонентів суміші) і має важливу перевагу – застосовність для будь-якого роду речовин і природних об'єктів. У геохімії її використовують для аналізу забруднень навколишнього середовища, компонентів і субстратів біосфери, для вивчення процесів метаболізму живих організмів.

Апаратура для аналізу – рідинні хроматографи з насосами високого тиску, різного роду детекторами, приладами, що реєструють, міні-ЕРМ, повною автоматизацією введення проби, підтримки температури і т.д.

Для ілюстрації найвищої чутливості методу (рис. 2.3, а), пропонується хроматограма розчину стандартного зразка 0,5 нг (!) високотоксичного канцерогену 1,2,3,4-тетрахлордibenзо[b,e]-1,4-діоксину (1,2,3,4-ТХДД); чітко видно найбільш інтенсивний сигнал (рис. 2.3, б) молекулярного іона, m/z 321,9, на мас-спектрі.

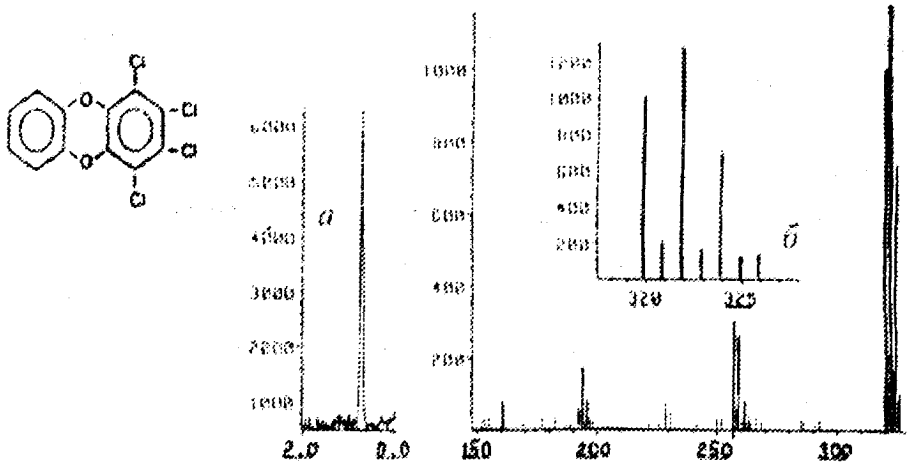


Рис. 2.3. Хроматограма і мас-спектр 1,2,3,4-ТХДД (повний йонний струм, режим SCAN m/z 150-350 (за J.Schulz).

Сучасні хроматографи дозволяють ідентифікувати і кількісно оцінювати вміст пестицидів у природних водах. На рис. 2.4 наведено хроматограму проби поверхневих вод (0,5 л після концентрування; коефіцієнт концентрування 1000), рідинний хроматограф HP1090, детектор з діодною матрицею.

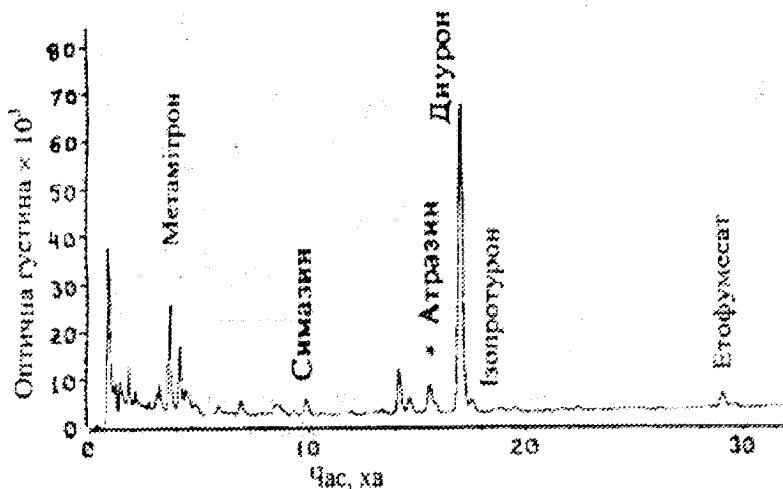


Рис. 2.4. Хроматограма проби поверхневих вод (по J.Schulz).

Проблема стічних вод залишається актуальною для сучасної цивілізації: на рис. 2.5 наведено хроматограму стічних вод, забруднених галогенфенолами, на яку накладено хроматограму стандартної суміші. Через безліч піків ідентифікація проводиться важко, тому вдаються до допомоги хроматограми порівняння.

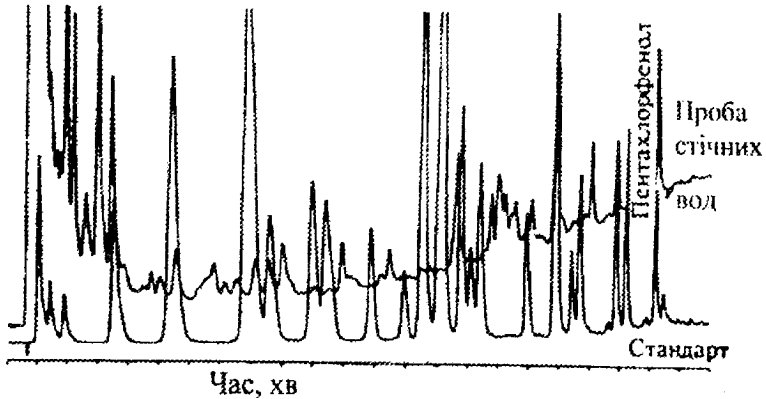


Рис. 2.5. Хроматограма проби стічних вод і стандартного розчину (за R.Schuster).

Для газохроматографічного аналізу сконструйовані спеціальні прилади – газові хроматографи. У ГХ використовуються для підвищення чутливості полум'яно-іонізаційний, полум'яно-фотометричний детектори.

Газова хроматографія в сполученні з елемент-специфічною хроматографією дозволяє за лічені хвилини виявити вміст важких металів-токсинів у паливі. Приклад виявлення свинцю в бензині наведено на рис. 2.6.

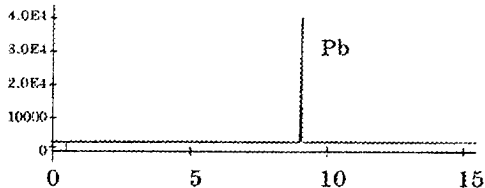


Рис. 2.6. Елемент-специфічна хроматограма комерційного етильованого бензину (за R.Buffington).

З кожним роком зростає кількість різновидів хроматографічного аналізу. У геохімії знайшла застосування гель-хроматографія (ексклюзивна ХГ, ситова), у якій поділ заснований на різниці у проникній здатності молекул поділених речовин у гель-нерухомих фазу, що пов'язано з розмірами молекул. За її допомогою відокремлюються гумінові й фульвокислоти ґрунтів і природних вод.

Порівняно новий вид хроматографії – йонна хроматографія, яку можна розглядати як різновид йонообмінної. Цей вид хроматографічного аналізу поділяє йони в проточному, зазвичай кондуктометричному детекторі. Аналіз здійснюється на автоматизованому приладі – йонному хроматографі. Можливості методу розширюються із застосуванням різного роду детекторів – люмінесцентних, кулонометричних, атомно-адсорбційних, фотометричних. Йонна хроматографія незамінна при аналізі природних і стічних вод, ґрунтів, харчових продуктів, лікарських форм. Відпрацьовано методики визначення більш як 70 катіонів лужних і лужноземельних металів та аніонів кислот різної природи.

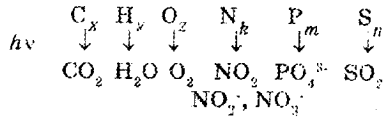
Перевага методу – низькі межі виявлення: від 10^{-3} до 10^{-6} мкг/л, мала витрата проби (0,1 - 0,5 мл) і відносна простота аналізу. Експресивність методу: 20 хвилин – 20 йонів, причому можливе одночасне визначення неорганічних і органічних йонів.

Фотохімічний аналіз

Фотохімічні (від гр. *φοξ* — світло) методи засновані на хімічних реакціях, що відбуваються під дією фотонів світла; вони

застосовуються для різноманітного аналітичного контролю. У геохімії використовують ці реакції в аналізах, що вимагають мінералізації органічних сполук, наприклад, при аналізах різного роду вод, геологічних об'єктів. УФ-світло ефективно розкладає органічні сполуки, і вони цілком переходять у мінеральні форми, для яких розроблені методи як якісного і кількісного аналізу.

Органічна речовина сполуки складу під дією УФ-світла мінералізується у газуваті продукти та йони:



Забруднюючи біосферу, важкі метали утворюють міцні органометалокомплекси; це утруднює переведення йонів цих металів у розчинну форму і точну реєстрацію їхнього вмісту в біооб'єктах і водах. Техніка фотохімічного аналізу полегшує підготовку проб до аналізу на вміст небезпечних металів.

Калориметрія

Калориметрія (від лат. calor – тепло) – сукупність методів вимірювання кількості теплоти, що виділяється або поглинається у будь-якому процесі. Основоположник методу – Дж. Блек (середина XVII ст.).

Хімічні, біохімічні і фізіологічні явища супроводжуються енергетичними ефектами: випромінюванням, виділенням або поглинанням теплоти, появою електричного струму. Різні види енергії

і роботи переходять у теплову – це і є причиною виміру й розрахунку теплоти процесів для оцінки їхньої енергетичної характеристики.

Знання енергетики різних процесів, що супроводжуються теплоперенесенням і пов'язаних з методом калориметрії, є необхідним для розуміння природних процесів.

Для визначення кількості теплоти сконструйовані спеціальні прилади, так звані калориметри – системи, які складаються з калориметричної посудини, у якій проходить досліджуваний процес, термометра (ртутного, кварцевого, термопари, терморезисторного, термометра опору тощо), електронагрівача, необхідних пристосувань: мішалки, змійовиків охолодження оболонки, системи теплової ізоляції. Деякі конструкції передбачають калориметричну «бомбу» – металеву посудину, що герметично закривається і у яку вміщують досліджувану пробу й під тиском подають кисень у надлишку. У таких калориметрах зазвичай визначають теплоти згоряння речовин. Цим методом визначають калорійність харчових продуктів.

У рідинних калориметрах (заповнених водою, вазеліновою олією, розплавленим металом) теплота передається калориметричній рідині; втрати теплоти можна зменшити, помістивши посудину в зовнішню оболонку, наприклад, у посудину Д'юара. Теплоту (Q), що виділяється в калориметрі, розраховують за загальною теплоємністю (C_m) усіх частин калориметра і зміною температури (ΔT) (формула 2.12):

$$Q = C_m \Delta T. \quad (2.12)$$

Для визначення стандартної ентальпії кількість теплоти перераховують на 1 моль (n — кількість речовини визначуваного продукту) (формула 2.13):

$$H^{\circ} = Q/n. \quad (2.13)$$

Важливе значення для геохімії має калориметричне вивчення природи й структури розчинів, утворення мінералів для кількісного аналізу сумішей і аналітичних робіт, наприклад, визначення чистоти речовини, наявності домішок. Для майбутніх екологів є важливим знання природних і техногенних теплових полів при проведенні еколого-геохімічних та геофізичних досліджень. Для визначення температури земної поверхні і приповерхневих частин літосфери широко використовують дистанційні методи – радіотеплові й ІЧ-зйомки з повітряних і космічних носіїв.

Як детектори теплового поля застосовують тепловізори, що працюють у широкому діапазоні ІЧ-частот. У тепловізорах, стосовно певного спектру ІЧ-частот, є кристали, які вміщують для більшої чутливості в пристрій, що охолоджується рідким азотом або інертним газом. У результаті перетворення теплового випромінювання на електричний сигнал і трансформації у видиму аналогову форму воно фіксується в цифровому виді на дисплеї або екрані фотодатчика. Для наземних досліджень існують переносні тепловізори, що працюють з точністю до $0,1^{\circ}$.

При дослідженні температурного поля в свердловинах, акваторіях, на невеликих глибинах водойм і земної поверхні

використовують електричні термометри опору і напівпровідникові терморезистори з межею виміру $0,05^\circ$. Для підвищення точності застосовують спеціальні диференційні термометри ($0,01^\circ$).

Методи контролю в ґрунтовому моніторингу

Ґрунтовий покрив накопичує інформацію про процеси, що відбуваються, і зміни, тобто ґрунт є своєрідним індикатором не тільки нинішнього стану середовища, а й відображає минулі процеси. Тому ґрунтовий (агроекологічний) моніторинг має більш загальний характер і відкриває великі можливості для вирішення прогностичних завдань. Основними показниками, які оцінюються в процесі агроекологічного моніторингу, є наступні: кислотність, втрата гумусу, засолення, забруднення нафтопродуктами.

Кислотність ґрунтів оцінюється за значенням водневого показника (рН) у водних витяжках ґрунту. Значення рН вимірюють за допомогою рН-метра, йонометра або потенціометра. Оптимальні діапазони рН для рослин від 5,0 до 7,5. Якщо кислотність, – тобто рН, менше 5, то вдаються до вапнування ґрунтів, при рН більше 7,58 використовують хімічні засоби для зниження рН. На даному етапі контроль за вмістом гумусу входить до числа першочергових завдань.

Зміна кількості органічної речовини в ґрунті не тільки пов'язана із зміною ґрунтових властивостей і родючістю, а й відображає вплив зовнішніх негативних процесів, що викликають деградацію ґрунтів.

Вміст гумусу визначають за окиснюваністю органічної речовини. До наважки ґрунту додають окиснювач (найчастіше хром) і кип'ятять.

При цьому органічна речовина, що входить до складу гумусу, окиснюється до CO_2 і H_2O . Кількість витраченого окиснювача визначають титриметричним методом або спектрофотометричним. Знаючи кількість окиснювача, визначають кількість органічної речовини.

Останнім часом застосовують аналізатори вуглецю, в яких відбувається сухе спалювання органічної речовини в струмі кисню з подальшим визначенням CO_2 , що виділився. Антропогенне засолення ґрунтів виявляється результатом недостатньо науково обґрунтованого зрошування, будівництва каналів і водосховищ.

Хімічно воно виявляється у збільшенні вмісту в ґрунтах і ґрунтових розчинах: легкорозчинних солей – це NaCl , Na_2SO_4 , MgCl_2 , MgSO_4 . Найпростіший метод виявлення засолення заснований на вимірюванні електричної провідності. Застосовують визначення електричної провідності ґрунтових суспензій, водних витяжок, ґрунтових розчинів і безпосередньо ґрунтів. Цей процес контролюється шляхом визначення питомої електричної провідності водних суспензій за допомогою спеціальних солемірів. При контролі за забрудненням ґрунтів нафтопродуктами вирішуються зазвичай три основні завдання: 1) визначаються масштаби (площі) забруднення; 2) оцінюється ступінь забруднення; 3) виявляється наявність токсичних і канцерогенних забруднень.

Перші два завдання вирішуються дистанційними методами, до яких відноситься аерокосмічне вимірювання спектральної відбивної здатності ґрунтів. За вимірюванням забарвлення або щільності почорніння на аерофотознімках можна визначити розміри забрудненої

території, конфігурацію площі забруднення, а за зниженням коефіцієнта віддзеркалення оцінити ступінь забруднення.

Методи контролю за станом забруднення вод

Основними стандартними методами контролю за станом забруднення вод є визначення хімічного споживання кисню (ХСК) і біохімічного споживання кисню (БСК). Хімічне споживання кисню – це величина, що характеризує загальний вміст у забрудненій воді органічних і неорганічних відновників, що реагують з сильними окиснювачами. Значення ХСК зазвичай виражають в одиницях кількості кисню, що витрачається на окислення органічної речовини. БСК – це кількість кисню, потрібного для окиснення органічних речовин, що знаходяться у воді в аеробних умовах. При відносній простоті і доступності цих методів неможливо досягти високої точності визначення концентрацій забруднення. Такі сполуки, як піридин, бензен, толуен, не окиснюються і визначити їх наявність у пробі цими методами неможливо.

При аналізі складу стічних вод все частіше застосовують «багатокомпонентні» методи аналізу, які дозволяють визначити широкий спектр хімічних речовин.

Методи контролю за станом забруднення атмосфери

Для аналізу домішок, що містяться в атмосфері, застосовуються газоаналізатори. Ці прилади дозволяють одержати безперервні за часом характеристики забруднення повітря і виявляти максимальні

концентрації домішок, які можуть бути не зафіксовані при періодичному відборі проб повітря по кілька разів на добу.

Газоаналізатори розрізняють за типами визначуваних домішок (CO_2 , NO_2), принципами дії, діапазоном вимірюваних концентрацій. У цих приладах домішки, що містяться в повітрі, взаємодіють із спеціальними реагентами. Концентрації домішок визначають за характером або показниками інтенсивності реакції.

Регіональні інструментальні методи аналізу засновані на автоматизованій системі контролю за забрудненням повітря в промисловому регіоні або на декількох підприємствах. Така автоматизована система контролю дозволяє одержати по каналах зв'язку (телефонних лініях) безперервну інформацію про концентрацію домішок. Інформація надходить від автоматичних газоаналізаторів, встановлених в різних місцях регіону або навколо крупних промислових об'єктів, іноді на конкретних технологічних установках. Інформація, одержана по каналах автоматичної телефонної мережі, в центрі збору виводиться на індикаційне табло, а потім обробляється за спеціальною програмою. Якщо в окремих пунктах виявляється підвищення концентрацій домішок, то за даними про метеорологічні параметри (зокрема про силу вітру) можна судити, чим це викликано, і від якого джерела поступають домішки, потім передати вказівки про необхідність скорочення викидів даному джерелу. Особливе значення такі системи мають для територіально-виробничих комплексів, що включають багато підприємств різних типів, зв'язаних єдиним технологічним циклом, сировинними, енергетичними та іншими транспортними потоками. Глобальний моніторинг

здійснюється в основному зондуванням атмосфери. Для цього використовують оптичну і радіолокаційну апаратуру, яка дозволяє визначити на різних висотах атмосфери забруднення CO_2 , CH_4 , NO_2 .

У всьому світі підвищена увага приділяється використанню і розробці лазерів для дистанційного аналізу забруднень атмосфери. Автоматизовані прилади на основі лазерів, що випускаються серійно, набувають все більшого поширення. Прилади, що є поєднанням лазера і локатора, називаються лідарами. За їх допомогою вивчають просторовий розподіл домішок у повітрі. Лазерні аерозольні спектрометри призначені для дослідження в автоматизованому режимі вмісту аерозолів (дими, тумани) в повітрі як в містах, так і за їх межами. Лазерні пристрої диференціального сканування успішно використовуються для вимірювання на рівні десятитисячних часток відсотка $S > 2$ у рухомих за вітром потоках (хвостах) з труб промислових підприємств і електростанцій. Всі перераховані системи і методи моніторингу навколишнього середовища існують для накопичення і аналізу інформації про стан природного середовища. Дані, одержані цими методами, використовуються для моделювання процесів у навколишньому середовищі, складання наукових прогнозів. На основі наукових прогнозів складаються практичні рекомендації з удосконалення охорони навколишнього середовища. Забруднення природного середовища та потреби охорони природи спонукали до необхідності організації обліку розмірів антропогенних змін у природному середовищі та їхніх проявів в окремих регіонах. Це завдання вирішується за допомогою моніторингу.

? Запитання для самоконтролю

1. Назвіть основні принципи класифікації систем моніторингу.
2. Що собою представляє екологічний моніторинг?
3. Перелічіть основні задачі екологічного моніторингу.
4. Які види екологічного моніторингу виділяють в залежності від критеріїв?
5. Яка роль фонового моніторингу в оцінюванні і прогнозуванні стану біосфери?
6. Перелічіть основні задачі глобального моніторингу.
7. Які Ви знаєте хімічні і фізико-хімічні методи моніторингу?
8. На чому засновані методи контролю ґрунтового покриву?
9. Що таке «біомоніторинг»?
10. Перелічіть основні стандартні методи контролю за станом забруднення вод.

Тести для самоконтролю

Виберіть правильну відповідь:

1. **Об'єктами спостережень глобального моніторингу є:**
 - а) загальносвітові процеси і явища в біосфері та в екології Землі;
 - б) локальні джерела підвищеної небезпеки;
 - в) території площею до тисяч квадратних метрів;
 - г) окремі місця і зони, розміри яких не перевищують десятки кілометрів.
2. **Спосіб пошуку за характерними фітоіндикаторами рудних родовищ відноситься до:**
 - а) галоіндикації;
 - б) гідроіндикації;
 - в) біогеохімічної індикації;

- г) агроіндикації.
3. **Метод поділу очищення і аналізу суміші речовин є основою:**
- а) потенціометричного аналізу;
 - б) фотометричного аналізу;
 - в) хроматографічного аналізу;
 - г) кондуктометричного аналізу.
4. **Основними стандартними методами контролю за станом забруднення вод є:**
- а) визначення хімічного споживання кисню (ХСК);
 - б) біохімічне споживання кисню (БСК);
 - в) виявлення максимальних концентрацій домішок;
 - г) кислотність.
5. **Доповніть:** Сукупність спостережень за визначеними компонентами біосфери та комплекс методів екологічного прогнозування називається _____.
6. **Доповніть:** На стику екології, біології, географії, геофізики, геології виникає _____ моніторинг.
7. **Доповніть:** Контроль стану навколишнього природного середовища за допомогою живих організмів є _____ моніторинг.
8. **Доповніть:** Метод оцінки абіотичних і біотичних чинників середовища за допомогою біологічних систем називається _____.
9. **Доповніть:** На відміну від біоіндикації, _____ характеризує вплив на _____ і є спорідненим до хімічних методів.
10. **Доповніть:** Аерокосмічне вимірювання спектральної відбивної здатності ґрунтів є методом контролю в _____ моніторингу.

2.3. Забруднення біосфери

- Причини і наслідки антропогенного забруднення.
- Джерела забруднення.
- Хімічне забруднення.
- Радіоактивне забруднення.
- Шумове забруднення.
- Електромагнітне забруднення.
- Теплове забруднення.
- Мінеральне забруднення.
- Органічне забруднення.

Запитання для роздумів:

- Чому в результаті нерозумного природокористування вся планета страждає від антропогенного тиску?

Причини і наслідки антропогенного забруднення

Причини і наслідки антропогенного забруднення. З появою людини на планеті Земля велику роль у глобальній екосистемі стали відігравати взаємовідносини суспільства і природи. Особливо швидко посилився вплив суспільства на природу з розвитком машинного виробництва. Завдяки йому масштаби впливу суспільства на природу розширювалися так швидко, що людство поступово перетворилося в потужну геологічну силу, яка здійснює вплив на більшість природних процесів. На даний час людина прямо чи опосередковано впливає на всі кругообіги речовин, що здійснюються в біосфері. У результаті

виробничої діяльності змінюються шляхи міграції речовин та швидкість проходження багатьох процесів у біосфері.

У результаті такого нерозумного природокористування вся планета страждає від антропогенного тиску, що виявляється в забрудненні середовища, виснаженні природних ресурсів і деградації екосистеми, ерозії ґрунтів і хижацькому винищенні лісів.

Джерела забруднення

Повітряна оболонка Землі містить більшу чи меншу кількість різних небажаних домішок. За походженням їх можна розділити на природні й штучні – що з'являються в результаті або природного кругообігу речовин, або практичної діяльності людини; за хімічним і фізичним складом – на гази і аерозолі; за дією на організми, довкілля і матеріальні цінності – на позитивні й негативні. Основні забруднювальні речовини поділяють на дві групи: *гази* і *тверді частинки* (інколи рідкі). Їхні частки в загальній масі викидів у атмосферу складають 90 і 10% відповідно.

Провідну роль у забрудненні атмосфери газами відіграє спалювання викопного палива – вугілля і нафти. Основними джерелами забруднення твердими частинками є природні і виробничі процеси. Потужність цих джерел важко піддається визначенню. Загалом щорічні викиди в атмосферу морських солей оцінюються у 700–1500 млн. т, винесення ґрунтового пилу – 7–700 млн. т на рік, утворення аерозолів в результаті лісових пожеж – 35–360 млн. т, а за деякими даними – навіть 3000 млн. т на рік. Сумарно від усіх джерел

щороку утворюється в середньому $2,3 \pm 1,4$ млрд. т атмосферних аерозолів. Із них забруднення антропогенного походження складають 5–50% (в середньому близько 15%). При цьому серед промислових джерел найбільша частка (50%) належить сульфатам.

Атмосферу забруднюють різноманітні газоподібні чи дисперсні речовини природного походження. До природних джерел забруднення відносяться *пилі*, або *чорні бурі*, *вулканічні виверження*, *космічний пил* тощо. Природні джерела забруднюють атмосферу продуктами переважно земного походження, котрі на $3/4$ складаються з неорганічних речовин. Це продукти вивітрювання гірських порід, частинки ґрунту, попіл, морська сіль та ін. Природні джерела забруднення найчастіше діють періодично і, як правило, вони не отруйні.

Стаціонарні джерела антропогенного забруднення атмосфери – різні промислові підприємства.

Теплові електростанції (ТЕС) – разом із димом викидають у повітря сірчаний і вуглекислий гази та інші сполуки; металургійні підприємства – викидають у газоподібному стані оксиди нітрогену, сірководень, сірковуглець, хлор, фтор, аміак, сполуки фосфору, частинки і сполуки різних металів, у тому числі таких шкідливих для здоров'я, як ртуть і миш'як; хімічні й цементні заводи, а також системи опалення, спалювання й переробки побутових і промислових відходів; аварії на газосховищах, трубопроводах тощо.

Пересувні джерела антропогенного забруднення атмосфери – всі види транспорту, що використовують двигуни реактивні та внутрішнього згоряння.

Атмосферні забруднення також поділяють на *первинні*, які потрапляють безпосередньо в атмосферу, і *вторинні*, які є наслідком перетворення попередніх. Зокрема сірчаний газ, що потрапляє в атмосферу, окислюється до сірчистого ангідриду, який, взаємодіючи з водяною парою, утворює краплинки сульфатної кислоти.

Розглянемо основні забруднювальні речовини.

Сірчаний газ (SO_2) викидається при спалюванні вугілля і нафти на електростанціях і заводах.

Сірчистий ангідрид (SO_3) утворюється при згорянні органічних речовин, виплавці сірковмісних руд, виготовленні й застосуванні у виробництві сульфатної кислоти, а також при окисленні діоксиду сульфуру (сірчаного газу). Кінцевим продуктом є аерозоль або розчин сульфатної кислоти в дощовій воді. Це один з найбільш токсичних компонентів промислового забруднення середовища.

Оксиди нітрогену забруднюють повітря у районах розміщення металургійних і хімічних заводів, теплоелектростанцій та деяких інших промислових підприємств. Вони порушують обмін речовин у рослин і погіршують їхні кормові якості.

Аміак виділяється на металургійних підприємствах під час виробництва мінеральних добрив та нітратної кислоти. Виявляється токсичний ефект при поглинанні рослинами, подразнює дихальні шляхи тварин і людини.

Сполуки фтору викидаються при виробництві фосфорних добрив, алюмінію, емалей, скла, кераміки тощо. Мають винятково сильний токсичний ефект для рослин, тварин і людини.

Сполуки хлору забруднюють повітря поблизу хімічних заводів, які виробляють пестициди, соляну кислоту, органічні барвники, цемент, оцтову кислоту, гідролізний спирт, хлорне вапно, соду та ін. У значних концентраціях викликають глибокі структурні й функціональні порушення у рослин, токсичні для людини.

Сірководень (H_2S) і *сірковуглець* (CS_2) постійно присутні у викидах коксохімічних підприємств, нафтопромислів, виділяються у шахтах, із тліючих териконів. Мають різкий подразливий запах і високотоксичні для людини й тварин. В атмосфері піддаються повільному окисленню до сірчистого ангідриду.

Карбон (II) оксид (чадний газ, CO) виділяється в атмосферу при неповному згорянні речовин, які містять вуглець (кам'яне вугілля, нафта, природний газ). Токсичний для рослин, тварин і людини, проте інтенсивно поглинається ґрунтовими мікроорганізмами.

Свинець – найпоширеніший з токсичних металів. Головним джерелом забруднення ним довкілля є автомобільний транспорт.

Вуглеводні (пари незгорілого палива) – викидаються в довкілля під час роботи бензинових двигунів на збагаченій паливно-повітряній суміші через нестачу кисню. У викидних газах автомобільних двигунів містяться канцерогенні сполуки типу бенз(а)пірену, парафіни, нафтени та ароматичні вуглеводні, які також шкідливо впливають на центральну нервову й м'язову системи людини.

Аерозолі – тверді або рідкі частинки, що знаходяться у підвищеному стані в повітрі. В атмосфері сприймаються у вигляді диму, туману чи імлі. У деяких випадках особливо небезпечні для

живих організмів. Це в першу чергу стосується промислового (у т.ч. цементного і азбестового) пилю, фотохімічних туманів (смог) тощо.

Окрім безпосередньої небезпеки для здоров'я людей, промислові викиди в атмосферу порушують її озоновий шар (фреони – карбон -, фтор- і хлорвмісні сполуки), призводять до підвищення концентрації парникових газів – зокрема двоокису карбону, закислення опадів. Це стосується і потужних реактивних двигунів: під час тільки одного запуску космічного корабля типу «Шатл» ракетні двигуни випалюють близько 0,1% всього озону атмосфери.

Існують різні класифікації забруднення природного середовища в залежності від того, який принцип беруть за основу класифікації, зокрема – за походженням, часом взаємодії з довкіллям, способом впливу.

Розглянемо класифікацію забруднювачів за типом походження. За цим принципом виділяють такі типи забруднень.

Фізичні забруднення – це зміни теплових, електричних, радіаційних і світлових характеристик природного середовища, шуми, вібрація та гравітаційні сили, спричинені людиною.

Механічні забруднення – різні тверді частки чи предмети (викинуті як непридатні, вилучені з ужитку).

Хімічні забруднення – тверді, газоподібні й рідкі речовини, хімічні елементи й сполуки штучного походження, які надходять у біосферу, порушуючи встановлені природою процеси кругообігу речовин.

Біологічні забруднення – різні організми, що з'явилися в результаті людської діяльності – бактеріологічна зброя, нові віруси

(збудники СНІД, хвороби легіонерів, інших епідемічних захворювань), а також катастрофічні розмноження рослин і тварин, навмисне чи випадково переселених людиною з одного середовища в інше.

Хімічне забруднення

Найбільшу небезпеку для довкілля і здоров'я людини становлять такі хімічні сполуки, як оксиди сульфуру, нітрогену, бензапірен, аміак, сполуки хлору, фтору, сірководень, вуглеводні, оксиди карбону, сполуки важких металів тощо. Хімічні забруднення містяться у викидах промислових підприємств, енергоустановок, випускних газах транспорту, отрутохімікатах і мінеральних добривах, що застосовуються в сільському господарстві.

У результаті спалювання палива відсоток вуглекислого газу в атмосфері збільшився за останні 30 років на 25–30%. Це може призвести до підвищення середніх температур у XXI столітті на 1,5–2°C – глобального потепління, наслідком якого буде танення полярних льодовиків, підняття рівня Світового океану і розширення зони пустель.

Щорічно світова промисловість скидає в річки понад 160 млн. кубометрів шкідливих стоків, щорічно у світі в ґрунти вноситься 500 млн. т мінеральних добрив і близько 4 млн. т *пестицидів*, більша частина яких осідає в ґрунтах, вноситься поверхневими водами в річки, озера, моря й океани, накопичується в штучних водосховищах, які живлять водою промислові центри.

Найбільші території забруднюються внаслідок твердих і газоподібних викидів у атмосферу. Більшість із них осідає на околицях підприємств, але частина потрапляє у верхні шари атмосфери і розноситься на сотні й тисячі кілометрів.

Майже у всіх відходах найрізноманітнішого походження знаходяться важкі метали, забруднення якими істотно погіршило ситуацію в біосфері.

Забруднення важкими металами спричиняє відчутне погіршення умов існування і здоров'я людини. Особливо токсичні, миш'як, свинець, молібден, кадмій, ртуть, галій.

Особливе місце в забрудненні довкілля займають нітратні й фосфорні добрива. Загалом у світі з полів змивається до 30–50% внесених мінеральних добрив. Землеробство, особливо зрошувальне, стає щораз бруднішою галуззю народного господарства. Нітрати, нітриди й амоній проникають у водоносні горизонти на глибину в десятки метрів. Ще гірші наслідки має широке використання *пестицидів*.

Відкриття пестицидів – хімічних засобів захисту рослин і тварин від шкідників та хвороб, з одного боку, стало важливим досягненням сучасної науки. Зараз у світі в середньому на 1 га вноситься 300 г хімічних засобів захисту тільки рослин, у т.ч. в Західній Європі і США 2-3 кг, в країнах Азії (крім Японії), Африки і Латинської Америки – близько 200 г. Залежно від об'єкта дії їх поділяють на такі групи:

Гербициди – призначені для знищення бур'янів.

Інсектициди – застосовують для знищення шкідливих комах.

Зооциди – використовують для боротьби з гризунами.

Фунгіциди – призначені для боротьби зі збудниками грибкових захворювань рослин.

Бактерициди – призначені для боротьби зі збудниками бактеріальних хвороб рослин.

Лімациди – застосовують проти різноманітних молюсків.

Дефоліанти – призначені для видалення листя, *десиканти* – для висушування листя, *дефлоранти* – для видалення зайвих квіток і зав'язі.

Ретарданти – регулятори росту й розвитку рослин.

Репеленти застосовують для відлякування різних комах, гризунів тощо, *атрактанти* – для приваблювання комах з наступним їх знищенням.

Якби не проводилися заходи з захисту сільськогосподарських культур від шкідників, то врожайність картоплі в світі зменшилася б у середньому на 37%, капусти – на 22%, яблук – на 10%, персиків – на 9%. Світові втрати врожаю від хвороб, шкідників і бур'янів складають щороку 510 млн. т зернових, 569 - цукрових буряків, 567 - цукрової тростини, 129 - картоплі, 27 - винограду, 5,7 - бобових, 13,1 - сої, 21,4 - фруктів, 78 млн. т овочів.

Проте внаслідок тривалого застосування пестицидів у сільському господарстві й медицині (боротьба з носіями хвороб) майже повсюдно відбувається зниження їх ефективності через розвиток резистентних (стійких) рас шкідників і розповсюдження «нових» шкідливих організмів, природні вороги й конкуренти яких були знищені пестицидами. З величезної кількості комах шкідливими вважаються лише 0,3%, або 5 тис. видів. У 250 видів шкідників виявлено

резистентність до пестицидів. У той же час токсична дія пестицидів почала виявлятися в глобальних масштабах.

На всіх стадіях виробництва, транспортування, зберігання та утилізації пестициди забруднюють навколишнє середовище. Вони проникають у водойми, де, проходячи через трофічні ланки, накопичуються в рибі та водних організмах. Річки переносять пестициди в інші регіони, де вони отруюють ґрунт, джерела питної води, моря, рослин і тварин. Птахи, ссавці, риби та комахи гинуть під час застосування пестицидів на полях, особливо при їх внесенні за допомогою авіації. Людина завершує цикл отруєння, страждаючи від своїх невважених дій.

Безпосередній вплив на людину полягає в ураженні та зміні функцій печінки, центральної нервової, серцево-судинної та дихальної систем. Пестициди негативно впливають на репродуктивну функцію людини. Дуже вразливі до дії пестицидів діти. При споживанні продуктів із залишками пестицидів та забрудненої питної води вони накопичуються в організмі, що призводить до появи різноманітних захворювань, включаючи онкологічні.

Моніторинг пестицидів в Україні не проводиться. На сьогодні в Україні накопичено 11 тис. т застарілих пестицидів. Проблема їх утилізації не вирішена. Багато сховищ, де вони зберігаються, знаходяться в незадовільному стані, і отруйні речовини потрапляють у навколишнє середовище. У різних областях України виявлено значне забруднення пестицидами ґрунтів. На сільськогосподарських землях окремих районів Чернівецької, Одеської, Миколаївської, Херсонської, Запорізької областей рівень забруднення у 5–12 разів перевищує

середній по Україні. Навіть після припинення застосування проблема пестицидів не вирішується. Ці отрути можуть зберігатися в навколишньому середовищі десятки років, продовжуючи свою згубну дію на всіх трофічних рівнях екосистем.

Загалом серед хімічних забруднювачів найбільшу увагу слід приділяти:

- сульфур (IV) оксиду – з урахуванням ефектів його вимивання з атмосфери і попадання сульфатної кислоти та сульфатів, що при цьому утворюються, на рослинність, у ґрунт і водойми;
- важким металам – свинцю, кадмію і особливо ртуті з урахуванням ефектів їх міграції, вимивання з атмосфери, змивання з ґрунту у водойми і трансформації у високотоксичні хімічні сполуки;
- деяким канцерогенним речовинам, зокрема бенз(а)пірену;
- нафтопродуктам у морях і океанах, здебільшого в полярних районах унаслідок винятково повільного їх розкладення при низьких температурах;
- хлорорганічним пестицидам у сільських районах;
- монооксиду карбону і оксидам нітрогену в містах.

Найважливіші глобальні проблеми, що виникли внаслідок антропогенних забруднень, такі:

- 1) можливі зміни клімату внаслідок антропогенного впливу на атмосферу;
- 2) порушення озонового шару в результаті надходження оксидів нітрогену і галогеноводнів (фреонів), що руйнують озон;
- 3) забруднення Світового океану нафтопродуктами.

Радіоактивне забруднення

Вплив радіоактивного випромінювання особливо небезпечний для організмів. У результаті експериментів на тваринах та вивченні наслідків опромінення людей при атомних вибухах у Хіросімі та Нагасакі, а пізніше в Чорнобилі, було доведено, що гостра біологічна дія радіації виявляється у вигляді променевої хвороби і часто призводить до смерті. Хронічна радіаційна дія на людину десятками БЕР (біологічний еквівалент рентгена) щорічно протягом кількох років також призводить до променевої хвороби, уражень шкіри, кришталика ока, кровотворного кісткового мозку, до виникнення різних типів мутацій – змін спадковості в рослин, тварин і людини. Нині захист організму людини та живої складової біосфери від радіоактивного опромінення в зв'язку із зростаючим радіоактивним забрудненням планети став однією з найактуальніших проблем екологічної науки.

Нині головними джерелами радіоактивних забруднень біосфери є радіоактивні аерозолі, які потрапляють у атмосферу під час випробувань ядерної зброї, аварій на АЕС та радіоактивних виробництвах, також радіонуклідів, що виділяються з радіоактивних відходів, відпрацьованих атомних реакторів, устаткування, заборонених на суші й у морі. Радіоактивні опади залежно від розміру часток і висоти виносу в атмосферу мають різні темпи осідання та радіус поширення. Під час аварій на атомних реакторах, розгерметизації захоронень радіоактивних відходів, внаслідок наземних ядерних вибухів – по всій планеті.

Різні організми мають неоднакову стійкість до дії радіоактивного опромінення. Навіть клітини одного організму мають різну чутливість. Кінцевий результат опромінення (крім віддалених наслідків) залежить не стільки від повної дози, скільки від часу її дії та характеру розподілу. Це пов'язано з тим, що в організмі у відповідь на опромінення, як і на інші подразники середовища, включаються захисні механізми системи адаптації чи компенсації, які мають забезпечити стабільність внутрішнього середовища (гомеостаз) організму і відновити втрачені функції. Результат залежить від співвідношення кількості ушкоджених тканин і захисно-відновної здатності організму.

Шумове забруднення

Шум – одна з форм фізичного (хвильового) забруднення навколишнього середовища. Він виникає внаслідок коливальних змін тиску повітря. Загалом це хаотичне нагромадження звуків різної частоти, потужності (амплітуди) і тривалості, які виходять за межі звукового комфорту. Відрізняють шум постійний, непостійний, періодичний, переривчастий, імпульсивний. Шуми шкідливо впливають на здоров'я людей, знижують їх працездатність, викликають захворювання органів слуху (глухоту), ендокринної, нервової, серцево-судинної системи (гіпертонія). Адаптація організму до шуму практично неможлива, тому регулювання й обмеження шумового забруднення оточення – важливий і обов'язковий захід.

Одиницею вимірювання шуму є фізична одиниця децибел (дБ) – відношення діючого значення звукового тиску до мінімального значення, котре сприймається вухом людини.

За сучасних умов боротьба з шумом є технічно важкою і дорогою. Важливо усувати джерела шуму, створювати безшумні або малощумні машини і технологічні процеси, транспортне й промислове устаткування.

В якості допустимих норм встановлюють такі рівні шуму, дія яких протягом тривалого часу не викликає зниження гостроти слуху і забезпечує задовільну розбірливість мови на відстані 1,5 м від співрозмовника. Больовий поріг визначається силою звуку, що дорівнює 140 дБ. Шум хвиль, наприклад за слабого вітру, становить 8–10 дБ, нормальна розмова – 40 дБ, шум поблизу автомобіля – 70–90 дБ, шум від осьових вентиляторів – 105 дБ. Допустима межа сили звуку в залежності від умов – 45–85 дБ.

За рівня шумового фону 70 дБ виникають розлади ендокринної системи людини, значно збільшується кількість неврозів та психозів. При тривалій дії шуму в 90 дБ може порушитися слух, а тривала дія шуму в 120 дБ викликає фізичний біль і стає нестерпною. Виникають також розлади центральної нервової системи, серцево-судинні захворювання, гіпертонія, психічна пригніченість тощо.

Звукові хвилі частотою нижче 16 Гц сприймаються людиною не як звук, а як вібрація. Вібрація спричиняє тремтіння або струси всього тіла чи окремих його частин під час різних робіт (бетоноукладання, пневмоелектроподрібнення порід чи шляхового покриття, роботи з відбійним молотком, розпилювання матеріалів тощо). Тривалі вібрації

завдають великої шкоди здоров'ю – від сильної втоми й незначних змін багатьох функцій організму до струсу мозку, розривів тканин, порушень серцевої діяльності, нервової системи, деформації м'язів і кісток, порушення чутливості шкіри тощо.

Електромагнітне забруднення

Інтенсивний розвиток електроніки та радіотехніки викликав забруднення природного середовища електромагнітними випромінюваннями. Головними їх джерелами є радіо-, телевізійні і радіолокаційні станції, високовольтні лінії електропередач, електротранспорт.

Мірою забруднення електромагнітними полями є напруженість поля ($V \times m$). Ці поля завдають шкоди перш за все нервовій системі. Напруженість поля $1000 V \times m$ спричинює головний біль і сильну втому, більші значення зумовлюють розвиток неврозів, безсоння, інші важкі захворювання.

Теплове забруднення

Основними джерелами теплового забруднення вод є атомні й теплові електростанції. Шкідливі впливи теплового забруднення на водні екосистеми такі:

- 1) підвищення температури води часто підсилює сприйнятливість організмів до токсичних речовин;

- 2) температура може перевищити критичні значення для «стенотермних» стадій життєвого циклу водних організмів;
- 3) висока температура сприяє заміні звичайної флори водоростей на менш бажані синьо-зелені водорості, що викликають «цвітіння» води;
- 4) при підвищенні температури води тваринам потрібно більше кисню, оскільки в теплій воді його вміст знижений у зв'язку з меншою розчинністю.

Мінеральне забруднення

Будь-яка водойма чи водне джерело пов'язані з оточуючим їх природним середовищем. На них справляють вплив умови формування поверхневого чи підземного водного стоку, різноманітні природні явища, індустрія, промислове й комунальне будівництво, транспорт, господарська й побутова діяльність людини. Наслідками цих впливів є внесення у водне середовище нових, невластивих йому речовин, які погіршують якість води. Зазвичай виділяють хімічне, фізичне і біологічне забруднення води.

Основними джерелами забруднення і засмічення водойм є:

- стічні води промислових і комунальних підприємств;
- відходи від розробки рудних і нерудних копалин;
- води рудників, шахт і нафтопромислів;
- змивання міңдобрив, пестицидів та інших хімікатів, що використовуються в сільському господарстві, а також ґрунту та

органічних відходів тваринництва у водойми внаслідок поверхневого стоку і зрошення земель;

- викиди водного, залізничного та автомобільного транспорту,
- відходи деревини при заготівлі, обробці і сплаві лісових матеріалів (кора, тирса, тріски, колоди, хмиз);
- кислотні дощі.

Загалом найінтенсивнішими забруднювачами поверхневих вод є великі целюлозно-паперові, хімічні, нафтопереробні, харчові і текстильні підприємства, гірничорудні й металургійні комбінати, а також сільське господарство.

Основними мінеральними забрудненнями прісних і морських вод є різноманітні неорганічні сполуки, токсичні для мешканців водного середовища. Це сполуки Арсену, Плюмбуму, Кадмію, Гідраргірису, Хрому, Купруму, Флуору тощо. Більшість із них потрапляє у воду внаслідок людської діяльності. Важкі метали поглинаються фітопланктоном, а потім передаються по трофічних ланцюгах до більш високоорганізованих організмів. Це супроводжується ефектом кумуляції, наслідком якого є зростання концентрації токсичних речовин у тканинах тварин-консументів в міру просування по трофічному ланцюгу.

До небезпечних забруднювачів водного середовища відносять неорганічні кислоти і основи, які зумовлюють широкий діапазон рН промислових стоків (1,0 – 11,0) і здатні змінювати рН водного середовища до значень нижче 5,0 або вище 8,0, в той час як риба в прісній і морській воді може існувати тільки в інтервалі рН 5,0 – 8,5.

Закислення водойм відбувається також при випаданні кислотних дощів. Ним уражена значна частина озер у Канаді, США, Великобританії, Норвегії та Швеції. У таких водоймах зменшується кількість і видовий склад організмів. Їхні рештки нагромаджуються на дні, отруюючи воду. З донних відкладів починається вилуговання отруйних металів: алюмінію, ртуті, свинцю, кадмію, олова, берилію, нікелю та ін. Внаслідок цього риба гине від ураження зябер. Далі розвиваються ацидофільні (кислолюбні) мохи, гриби і водорості, які пригнічують решту рослинності. При високій концентрації кислоти у воді вимирають практично всі гідробіонти – комахи, земноводні, риби, мікроорганізми. Залишаються лише анаеробні бактерії, котрі виділяють вуглекислий газ, метан і сірководень.

Серед головних джерел забруднення гідросфери мінеральними речовинами і біогенними елементами слід звернути увагу на підприємства харчової промисловості і сільське господарство.

Зростаюче споживання мінеральних добрив у сільському і лісовому господарстві в останні роки суттєво змінило і продовжує змінювати масу біогенних елементів, які надходять з річковим стоком. Близько 1/3 маси внесених міңдобрив вимивається з ґрунтів виноситься в моря й океани. Природне і антропогенне надходження азоту й фосфору в океан складає близько 62 млн. т на рік, у тому числі азоту – близько 35 млн. т. Ці речовини викликають надмірне розростання водяної рослинності, особливо в невеликих прісних водоймах, що призводить до зменшення вмісту кисню у воді, «цвітіння» водойм, загибелі риби й погіршення якості води. Зі зрошуваних земель щороку вимивається понад 6 млн. т солей, а

застосування пестицидів і великих доз міндобрих додатково збільшує мінералізацію і забруднення вод.

Відходи, що містять ртуть, зазвичай накопичуються в донних відкладеннях заток та естуаріїв рік. Подальша її міграція супроводжується накопиченням метилової ртуті і включенням її в трофічні ланцюги водних організмів (особливо крабів і риб). Зокрема сумнозвісно відомою стала хвороба мінамата, вперше виявлена японськими вченими в людей, які вживали в їжу рибу, виловлену в затоці Мінамата, куди безконтрольно скидали промислові стоки з техногенною ртуттю. У хворих порушувалася мова, послаблювався зір, розвивався параліч.

Органічне забруднення

Стічні води, що містять суспензії органічного походження або розчинені органічні речовини, згубно впливають на стан водойм. В процесі осадження суспензії замулюють дно і затримують розвиток або повністю припиняють життєдіяльність донних мікроорганізмів, які беруть участь в процесі самоочищення вод. При загниванні донних відкладень утворюються шкідливі речовини, такі як сірководень, які призводять до забруднення всієї води в річці.

Однією з головних санітарних вимог до якості води є вміст у ній необхідної кількості кисню. *Поверхнево-активні речовини* (ПАР) – жири, масла, змащувальні матеріали – утворюють на поверхні води плівку, котра перешкоджає газообміну між водою і повітрям, що знижує насиченість води киснем.

З промисловими і побутовими стоками у річки скидаються значні обсяги органічних речовин. На 1974 р. їхня кількість становила 33,3 млн. т щороку.

Основними джерелами органічного забруднення води є неочищені стічні води підприємств харчової і легкої промисловості, великі тваринницькі господарства, річкові й морські судна, а також поверхневий стік, який приносить у водойми до 15% органічних забруднень.

Значну небезпеку становлять комунальні (побутові) стоки. Розкладаючись у водному середовищі, органічні відходи стають середовищем розмноження патогенних організмів. Забруднена ними вода стає практично не придатною для пиття та інших потреб. Побутові відходи небезпечні не лише тим, що є джерелом інфекційних хвороб людини (черевний тиф, дизентерія, холера), а й тим, що потребують для свого розкладення багато кисню, вміст якого у воді при цьому може зменшитись нижче рівня, необхідного для життя водних організмів.

Нафта і нафтопродукти відносяться до найбільш шкідливих хімічних забруднювачів середовища. Кількість нафти, що надходила за рік до Світового океану, становила у 5–10 млн. т (за станом на 1980 р.). Головними її джерелами є морський транспорт (1-1,5 млн. т за рік), річковий транспорт і приморські міста (1,9), береговий стік (0,8), атмосфера (0,6), природні виходи (0,6) і втрати при добуванні на шельфі (0,1 млн. т за рік). Зростання нафтового забруднення може виявитися катастрофічним для флори й фауни моря, а також порушити тепло- і вологообмін між океаном та атмосферою.

Величезна кількість морських птахів і ссавців стають жертвами нафтового забруднення, причому від хронічного забруднення імовірно гине щороку більше птахів, ніж від поодиноких катастрофічних розливів. У Північному морі та Північній Атлантиці щороку гине 150–450 тис. морських птахів.

Інтенсивність світла у воді під шаром розливої нафти становить переважно тільки 1% інтенсивності світла на поверхні, у кращому випадку 5–10 %. В денний час шар темної нафти поглинає сонячну енергію, що призводить до підвищення температури води. У свою чергу, в нагрітій воді знижується кількість розчиненого кисню і збільшується швидкість дихання рослин і тварин, що ще більше погіршує їхнє становище.

За сильного нафтового забруднення найбільш очевидним виявляється його механічна дія на середовище. Тяжкі фракції і емульсії вкривають поверхню берегів і вузькі розщілини, перешкоджаючи рухам, диханню і живленню невеликих тварин.

Особливо небезпечні витоки нафти в арктичних акваторіях. У холодній воді нафтопродукти розкладаються вкрай повільно і їхні токсичні властивості зберігаються дуже довго. Крім того, більшість арктичних організмів мешкають у верхньому підльодовому шарі, де якраз зосереджується нафта.

Поверхнево-активні речовини (ПАР), або *детергенти*, широко застосовуються у складі миючих засобів і надходять у водойми з комунальними, промисловими й сільськогосподарськими стоками (у сільському господарстві ПАР використовують для емульгування пестицидів). У наш час ці речовини – один з найбільш поширених

хімічних забруднювачів водойм. Споживання детергентів на одного мешканця планети в 70-х роках складало 2,5 г на добу. При нормах водовідведення в межах 152–350 л на людину за добу середній розрахунковий вміст ПАР у побутових стоках коливається в межах 7–20 мг/л. Їх також використовують в якості ефективних емульгаторів великомасштабних нафтових забруднень.

ПАР відносяться до екологічно «жорстких» речовин. Вони дуже важко асимілюються в природному середовищі і вкрай негативно впливають на стан водойм. На їхнє окиснення витрачається багато розчиненого кисню, який таким чином відволікається від процесів біологічного окиснення. Детергенти дуже шкідливі для гідробіонтів. У риб вони викликають зяброві кровотечі і задуху, у теплокровних тварин – порушення функції клітинних мембран, підсилюючи при цьому токсичну й канцерогенну дію інших забруднювачів водного середовища.

Пестициди – хімічні засоби захисту рослин від шкідників і хвороб, потрапляють у водойми з дощовими й талими водами (поверхневий стік), після авіа- і наземної обробки сільськогосподарських угідь, лісів і водойм, з джерельно-колекторними водами, які утворюються при вирощуванні бавовни і рису, із стічними водами підприємств, що виробляють ці речовини.

У складі поверхневого стоку світу міститься не менше 2 млн. т органічних пестицидів. Вони мають кумулятивну і мутагенну дію на водні організми (особливо на мальків риб) і помітно впливають на біологічну продуктивність Світового океану в цілому. Відносна хімічна стійкість багатьох з цих сполук, а також характер розподілу

сприяють надходженню їх в моря й океани у великих обсягах. Постійне накопичення у воді найбільш отруйних пестицидів – *хлорорганічних сполук* є серйозною загрозою як життя водних організмів, так і для людини.

Наслідком застосування пестицидів у сільському господарстві є підвищення вмісту в підземних водах амонію, нітратів, фосфату, калію, хлору та багатьох інших сполук. У деяких районах їхній вміст перевищує фонове значення більш ніж у 10 разів, що робить найцінніші підземні води непридатними для господарсько-питного використання.

За останні півстоліття стан вод Світового океану значно погіршився. Його поверхня вкрита нафтою, пластиковими упаковками, пляшками та іншим сміттям, котре багато років не розкладається у воді. Таких твердих відходів нагромадилося вже понад 20 млн. тонн.

Останнім часом велику тривогу викликає забруднення морів і океанів нафтопродуктами в результаті аварій нафтоналивних суден (танкерів). Тільки за період з 1967 по 1983 р. сталося 7 таких аварій, які призвели до катастрофічного забруднення морської поверхні й узбережжя. В наслідок кожної з них в океан було викинуто від 100 до 237 тис. тонн нафти. Взагалі з понад 1 млрд. т нафтопродуктів, які щороку перевозять морським шляхом, не менше 0,1%, тобто 1 млн. т, потрапляють у Світовий океан. Мазут, дизельне паливо, гас (сира нафта значно краще підлягає біологічному та хімічному розкладу), вкриваючи воду плівкою, порушують газо- і теплообмін океану з атмосферою, поглинають значну частку біологічно активної компоненти сонячного світла.

Нафтове забруднення морів і океанів має і регіональні екологічні наслідки. Нафтова плівка, що утворилася в Індійському океані в результаті закриття Суецького каналу під час арабо-ізраїльської війни (маршрути всіх танкерів з аравійською нафтою проходили в цей час через Індійський океан), знизила випаровування води в 3 рази. Це призвело до зменшення хмарності над океаном і розвитку посушливого клімату в деяких прилеглих районах суші.

Нафта пошкодила багато європейських курортів світового значення. Нині діє міжнародна конвенція щодо запобігання забрудненню морських акваторій нафтою, яку підписали найбільші морські держави. Згідно з цією конвенцією всі морські райони в межах 50 миль від берега є забороненими зонами, де не дозволяється вилив нафти в море.

Велику небезпеку становить забруднення Світового океану радіоактивними речовинами внаслідок випробувань ядерної зброї, захоронення радіоактивних відходів, роботи ядерних реакторів на військових підводних човнах і криголамах та аварій цих суден. В результаті кумулятивного ефекту радіоактивність планктону може бути в 1000 разів вищою, ніж радіоактивність води, а деяких риб – вищою навіть у 50 тис. разів, ніж у організмів на нижчій трофічній ланці.

Щороку в Світовий океан з різних джерел потрапляє понад 4 млн. т летких органічних сполук (дихлоретан, фреони та ін.), близько 120 тис. т хлоровуглеводнів (ДДТ, альдрин, бензилгексахлорид, поліхлоровані дифеніли та ін.), понад 300 тис. т свинцю, 10 тис. т кадмію.

Велика кількість забруднювальних речовин виноситься річковим стоком, куди скидається близько 600 млрд. т промислових і побутових стоків. На розведення стічних вод витрачається 40% обсягу світового річкового стоку. Для різних морів цей об'єм становить від 0,1 до 20% стоку річок, які в них впадають. Ріки щороку виносять в океан понад 320 млн. т заліза, 6,5 млн. т фосфору та багато інших речовин. Спостереження за забрудненням води деяких річок індустріальних регіонів показують, що процеси самоочищення забезпечують руйнування і нейтралізацію лише третини забруднень. Решта потрапляє в прибережну зону моря.

Багато забруднювачів потрапляє у Світовий океан з атмосфери. На його поверхню щороку випадає 200 тис. т свинцю, 1 млн. т вуглеводнів, 5 тис. т ртуті. Половина кількості пестицидів, що знаходяться в океані, потрапляє з повітря. Сучасні оцінки показують, що забруднення Світового океану річковими стоками і атмосферними перенесеннями вже порівняльні за величинами.

Світові проблеми прісної води. Щороку на континенти осідає 113 тис. км³ атмосферної вологи, 72 тис. км³ з яких випаровуються знову в атмосферу. Щорічно 41 тис. км³ води поновлюють підземні водоносні пласти, і вона повертається з поверхневим стоком в океан.

Гідрологічний цикл є ефективним виробником прісної води, однак він дуже неефективний як розподільник. В результаті складається така ситуація, коли така малонаселена і багата на воду країна, як Канада, має запаси прісної води 122 тис. м³ на людину щорічно, а інша велика країна – лише 1200 м³ на людину. Тому в багатих на воду країнах водні ресурси використовуються не повністю,

в той час як інші регіони світу забезпечені нею недостатньо. Багато країн можуть затримувати лише деяку частину своїх потенційних водних ресурсів, що залежить від здатності ґрунту затримувати воду в водосховищах і від ступеня розвитку та стану їх інфраструктури.

Соціологічні фактори значною мірою впливають на доступ до води, тому країни, що розвиваються, можуть не мати капіталів і технологій для використання наявних водних ресурсів. Доступ до них ще більше ускладнюється конфліктами, що виникають у зв'язку з правами на воду в басейнах річок і озер, які належать двом або більше країнам, і на воду в водоносних пластах, що перетинають міжнародні кордони. Території наявних або потенційних водних конфліктів – басейни річок Нілу, Тигру, Євфрату, Інду, Гангу. Крім того, найвищі показники зростання населення спостерігаються в посушливих країнах- Єгипті, Пакистані, Ірані, Ємені та ін., багатьом з яких вже зараз не вистачає води. Хронічна нестача прісної води вже спостерігається у більшій частині країн Африки, Близького Сходу, в частині Індії і Мексики, колишніх радянських середньоазіатських республіках.

Концентрація сталого розвитку водокористування полягає в тому, що природні джерела повинні бути використані такими способами, які б забезпечували їх придатність для майбутніх поколінь. Це можливо тільки за умови, що при споживанні водних ресурсів не буде порушуватися гідрологічний цикл, які при такому користуванні не вичерпуватимуться протягом тривалого часу.

Забруднення природних вод України. Україна належить до країн, недостатньо забезпечених водними ресурсами. Сумарний

поверхневий стік з її території (включно з транзитним) становить в середньому 208 км^3 в рік, що складає близько 100 тис. м^3 на людину. Дефіцит води вже зараз – 4 млрд. м^3 в рік.

Для оцінки природних вод існують певні показники, головними з яких є гігієнічні ГДК (гранично допустимі концентрації). Їх дотримання забезпечує добре здоров'я населення і сприятливі умови для санітарно-побутового використання води. Вони також є критеріями ефективності заходів з охорони водойм від забруднення й стимулами прогресу промислових технологій. Ці гігієнічні нормативи використовують і для оцінки комплексного забруднення поверхневих вод. Вони визначаються з урахуванням запасу, кількісно зважених частинок, прозорості, кольору, кислотності, вмісту розчинного кисню, біологічної проби кисню (БПК), твердого залишку, кількості солей, хлоридів, фенолів, нафтопродуктів, жорсткості тощо.

Аналіз стану поверхневих вод України показує, що малі річки забруднені на порядок більше, ніж великі. Це пояснюється не тільки їх малою водністю, але й недостатньою охороною. Найбільш забруднені Південний Буг, річки Донецької та Луганської областей, Причорноморського регіону України.

Щороку до водоймищ України потрапляє 5 млн. т солей і 190 тис. м^3 стоків від тваринницьких комплексів. Майже половина міндобрив і отрутохімікатів зливається з полів у ріки. Тим часом рівень очищення води надзвичайно низький. Існуючі очисні споруди навіть при біологічному очищенні вилучають лише $10\text{--}40\%$ неорганічних речовин (40% азоту, 30% фосфору, 20% калію) і практично не вилучають солі важких металів.

У Дніпро – найбільшу водну артерію країни – щорічно скидається 370 млн. кубометрів забруднених стоків, або 14 % від їх загального обсягу в країні. Річний стік Дніпра використовується промисловими підприємствами при гранично допустимих 20%. Це дуже знижує якість води і рибопродуктивність і може призвести до втрати Дніпра як постачальника питної води. В такому разі 36 мільйонів жителів України вже найближчим часом можуть залишитися без питної води. Крім того, в басейні Дніпра, крім Чорнобильської АЕС діють також Запорізька, Хмельницька, Рівненська, Курська і Смоленська АЕС.

Внаслідок нерозумного господарювання в Україні зникли сотні малих річок. Деградація і висихання малих річок невідворотно призведе до деградації великих рік, тому проблема їх збереження й оздоровлення є однією з найголовніших для нашої держави.

Зараз у країні проводиться значна робота з охорони вод від забруднення. Розробляються схеми комплексного використання і охорони вод, згідно з якими здійснюється вибір ділянок під будівництво об'єктів. Кожен проект будівництва і реконструкції промислових та інших об'єктів проходить екологічну експертизу. В Україні діє понад 2,8 тис. очисних споруд з самостійним випуском стічних вод у водойми. Серед них споруд біологічного очищення – 60%, механічного – 35% і фізико-хімічного – 5%. Понад 300 міст мають споруди повного біологічного очищення.

З метою охорони вод від забруднення потрібно прискорити введення нового порядку лімітування скидів, оплати за скиди забруднювальних речовин.

? Запитання для самоконтролю

1. Які джерела забруднення біосфери Вам відомі?
2. Що таке мінеральне забруднення?
3. У чому полягає особливість органічного забруднення?
4. Що є основними джерелами органічного забруднення води?
5. Як проявляється антропогенний вплив на води Світового океану та природні води України?
6. Охарактеризуйте стан природних вод в Україні.
7. Які глобальні аномалії виникли в атмосфері внаслідок антропогенного впливу?
8. Пестициди, їх застосування та класифікація.
9. Який тип пестицидів є найбільшою загрозою для біосфери і чому?
10. Які існують шляхи виходу з глобальної екологічної кризи біосфери?

Тести для самоконтролю

Виберіть правильну відповідь:

1. До природних джерел забруднення відносяться:
 - а) пилові бурі;
 - б) вулканічні виверження;
 - в) космічний пил;
 - г) Ваша відповідь.
2. Серед джерел антропогенного забруднення виділяють:
 - а) стаціонарні;
 - б) пересувні;
 - в) кислотні дощі;
 - г) змивання пестицидів, мінеральних добрив у водойми внаслідок зрошення земель.

3. **Доповніть:** Атмосферні забруднення поділяють на _____, які потрапляють безпосередньо в атмосферу, і _____, які є наслідком перетворення попередніх.
4. **Хімічні елементи й сполуки штучного походження, речовини у твердому, газоподібному і твердому станах, які надходять у біосферу, порушуючи встановлені природою процеси кругообігу речовин, зумовлюють:**
- а) фізичне забруднення;
 - б) механічне забруднення;
 - в) хімічне забруднення;
 - г) біологічне забруднення.
5. **Закінчіть речення:** Група хімічних засобів захисту рослин, які використовують у сільському господарстві, називається _____.
6. **Встановіть відповідність між групами пестицидів та їх функціями:**
- | Функції | Групи пестицидів |
|--|------------------|
| 1. Знищення бур'янів. | а) бактерициди; |
| 2. Боротьба із збудниками грибкових захворювань рослин. | б) гербіциди; |
| 3. Знищення шкідливих комах. | в) фунгіциди; |
| 4. Боротьба із збудниками бактеріальних хвороб рослин. | г) інсектициди. |
7. **Доповніть:** Однією із форм фізичного забруднення навколишнього середовища, що виникає внаслідок коливальних змін тиску повітря, є _____ забруднення.
8. **Забруднення природного середовища електромагнітними випромінюваннями називається:**

- а) теплове;
 б) електромагнітне;
 в) шумове;
 г) механічне.
9. **Закінчіть речення:** Основними джерелами теплового забруднення є _____ і _____.
10. **Закінчіть речення:** Неорганічні сполуки, токсичні для мешканців водного середовища, зумовлюють _____.

Приклади розв'язання задач

Приклад 1. В об'ємі розчину $2 \times 10^{-11} \text{ м}^3$ методом потокової ультрамікроскопії виявлено 100 часточок золю сірки. Концентрація золю становить $6,5 \times 10^{-5} \text{ кг/м}^3$, густина $1 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$. Обчислити середній радіус часточок, вважаючи їх сферичними.

Розв'язання. Радіус часточок знаходимо за формулою:

$$r = \sqrt[3]{\frac{3cV}{4\pi Nd}} = \sqrt[3]{\frac{3,65 \times 10^{-5} \times 2 \times 10^{-11}}{4 \times 3,142 \times 100 \times 10^{-3}}} = 1,459 \times 10^{-5} \text{ м}$$

Відповідь: $r = 1,459 \times 10^{-5} \text{ м}$.

Приклад 2. Обчислити середнє зміщення колоїдних частинок гідроксиду заліза (III) при 293 К за 4 с, якщо радіуси частинок дорівнюють 10^{-8} м , а в'язкість води – $10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$.

Розв'язання. Величину середнього зміщення знаходимо за формулою:

$$\bar{\Delta x} = \sqrt{\frac{RT}{N_A} \times \frac{\Delta \tau}{3\pi\eta r}} = \sqrt{\frac{8,314 \times 293}{6,0225 \times 10^{23}} \times \frac{4}{3 \times 3,14 \times 10^{-3} \times 10^{-8}}} = 1,316 \times 10^{-5} \text{ м}$$

Відповідь: $\Delta x = 1,316 \times 10^{-5} \text{ м}$

Приклад 3. Розрахувати наважку руди, що містить 60% Fe_2O_3 , яку слід взяти для визначення заліза, якщо після обробки її для титрування Fe^{2+} використали 30 мл розчину KMnO_4 молярної концентрації еквівалента 0,10 моль/л.

Розв'язання. 1. Розрахуємо T ($\text{KMnO}_4 / \text{Fe}_2\text{O}_3$)

$$T_{\text{KMnO}_4 / \text{Fe}_2\text{O}_3} = \frac{(\text{KMnO}_4) \times M(1/z\text{Fe}_2\text{O}_3)}{1000} = \frac{0,1 \times 79,85}{1000} = 0,007985 \text{ г / мл}$$

2. Визначаємо масу Fe_2O_3 :

$$m(\text{Fe}_2\text{O}_3) = T (\text{KMnO}_4 / \text{Fe}_2\text{O}_3) \times V = 0,007985 \times 30 = 0,2395 \text{ г.}$$

3. Визначаємо наважку руди (x):

$$x = \frac{m(\text{Fe}_2\text{O}_3) \times 100}{\omega(\text{Fe}_2\text{O}_3)} = \frac{0,2395 \times 100}{60} = 0,3993 \text{ г}$$

Відповідь: $x = 0,3993 \text{ г.}$

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Алексєнко В.А. Экологическая геохимия. – М.: Логос, 2000. – 627 с.
2. Алексєнко В.А. Геохимия ландшафта и окружающая среда. – М.: Недра, 1990. – 142 с.
3. Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов. – М.: Издательство МГУ, 2007.-350 с.
4. Дмитрук Ю.М. Еколого-геохімічний аналіз ґрунтового покриву агроєкосистем. – Чернівці: Рута, 2006. – 328 с.

5. *Єрьюменко О.А., Колесніков М.О.* Практикум з основ екологічної хімії. – Мелітополь: ТОВ «Видавничий будинок ММД», 2010. - 272 с.
6. *Ковальський В.В.* Геохимическая экология. – М.: Знание, 1973. – 64 с.
7. *Лурье Ю.Ю.* Аналитическая химия промышленных сточных вод. М.: Химия, 1984. – 447 с.
8. *Лурье Ю.Ю.* Справочник по аналитической химии.- М.: Химия, 1994.- 485 с.
9. *Малишева Л.Л.* Ландшафтно-геохімічна оцінка екологічного стану території. – К.: Ред.-видавн. центр «Київський ун-т», 1998. – 132 с.
10. *Перельман А.И., Касимов Н.С.* Геохимия ландшафта. – М.: Астрей, 1999. – 768 с.
11. Практикум по физико-химическим методам анализа / Под ред. О.М.Петрухина. – М.: Химия, 1987. – 248 с.
12. *Саєт Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. и др.* Геохимия окружающей среды. – М.: Наука, 1990. – 335 с.
13. Справочник по геохимии. – М.: Недра, 1990. – 480 с.
14. *Федорова Г.В.* Практикум з біогеохімії для екологів: навчальний посібник. – К.: «КНТ», 2007. – 288 с.

**ТЕРМІНОЛОГІЧНИЙ
СЛОВНИК**

А В

Б

А

- Абсолютні органогени (8 елементів)** – елементи без яких неможливе існування життя на Землі: О, Н, С, N, Mg, К, Р, S.
- Абсолютні домішки** – елементи, які не тільки не споживаються рослинами, але й не можуть накопичуватися в них.
- Абсорбція** – поглинання газу чи пари всім об'ємом твердого тіла або рідини.
- Адсорбційна крива** – лінія, яка відображає залежність між хімічним складом рослин та вмістом елемента в ґрунті (за О. Л. Ковалевським).
- Адсорбція** – поглинання газів або розчинених речовин з розчину поверхнею твердого тіла або рідини. Розрізняють молекулярну адсорбцію, вона характерна для слабодисоційованих речовин, та іонну адсорбцію, що характерна для дисоційованих речовин.
- Аеробне дихання** – процес окиснення сахарів гексоз або ряду інших речовин (гліцерину, жирних кислот, амінокислот – продуктів розпаду високомолекулярних сполук) до карбонатної кислоти завдяки молекулярному кисню.
- Анаеробне дихання** – процес окиснення органічних речовин анаеробними організмами в умовах відсутності *вільного* кисню завдяки Оксигену мінеральних сполук.
- Амоніфікації** – процес мінералізації Нітрогену за схемою: Гумус і нерозкладені білки → амінокислоти → NH_3 , NH_4^+ .
- Атмосфера** – газова частина біосфери.
- Атмосферна фіксація** Нітрогену – утворення оксидів Нітрогену під час грози за реакцією: $\text{N}_2 + \text{O}_2 + \text{AE} \leftrightarrow 2\text{NO}$.

Б

- Біогенні елементи** – елементи, що виконують певну біологічну роль в живих організмах.
- Біоіндикатори** – організми або їх угруповання, життєві функції яких тісно корелюють з певними чинниками середовища і можуть використовуватися для їх оцінки.
- Біотестування** – оцінка якості компонента біосфери за відповідними реакціями організмів, що його населяють і виконують роль тест-об'єктів.
- Біофільність** – показник, за яким визначається біологічна роль хімічних елементів у живих організмах.
- Біогенна акумуляція** – переважання поглинання хімічних елементів живими організмами із середовища існування над їх поверненням.

В

- Великий геологічний кругообіг (цикл) хімічних елементів та їх сполук** – це переміщення хімічних елементів між усіма геологічними оболонками планети Земля. Цей кругообіг, направлений на формування земної кори, вік якої становить 3,5-4 млрд. років.
- Водні мігранти** – розчинні у воді хімічні елементи.

Г

ГДК – норматив, що встановлює концентрацію шкідливої речовини в одиниці об'єму повітря, яка при дії на організм певного проміжку часу є практично безпечною для здоров'я людини і її нащадків.

ГДВ – нормує викид окремим джерелом за одиницю часу;

ГДК с.д. – концентрація шкідливої речовини в повітрі населених пунктів, яка не повинна викликати пряму або непряму дію на людину при необмежено довгому вдиханні;

ГДК м.р. – нормує безпечну концентрацію при щоденній 8-годинній роботі (крім вихідних) протягом всього робочого часу.

Геохімічний бар'єр – ділянки земної кори, в яких на короткій відстані різко зменшується інтенсивність міграції хімічних елементів, внаслідок чого відбувається їх концентрування.

Геохімічні провінції – регіони, які мають підвищений або знижений вміст конкретних хімічних елементів у докільці.

Геохімічний фон – це територія у межах провінції, де є різні типи гірських порід, які також відрізняються вмістом розсіяних елементів.

Гетеросфера – оболонка Землі, яка розташовується над гомосферою.

Гіпогенна міграція – первинне розсіювання мікроелементів у навколишньому середовищі, що приводить до утворення руд.

Гірські породи і мінерали – найпоширеніша форма знаходження для неживої матерії скелетної природи. Нараховується приблизно 2000 видів мінералів різних комбінацій.

Глобальні техногенні аномалії – аномалії, які характерні для всієї планети.

Глобальні аномалії гідросфери:

- можливе подальше підвищення рівня Світового океану внаслідок танення льодовиків Арктики та Антарктиди завдяки парниковому ефекту;
- забруднення вод Світового океану, особливо прибережних районів, і як наслідок – збіднення рибних промислів та погіршення умов відпочинку людей;
- зростання дефіциту прісної води через перевитрату на аграрні, індустріальні та міські потреби;
- забруднення рік, озер, ґрунтових вод та зростання мінералізації прісних вод.

Глобальні аномалії живої речовини:

- безпосереднє знищення окремих видів;
- створення незвичних зовнішніх умов існування організмів (в тому числі незвичних за концентраціями і формами знаходження хімічних елементів, що призводить до мутації й знищення окремих видів);
- штучне виведення й переселення нових видів живих організмів.

Глобальні аномалії педосфери:

- зменшення площ сільськогосподарських угідь;
- зростання ерозії та засоленості ґрунтів, спустошення земель;
- зменшення родючості ґрунтів (вміст у них гумусу), їх стерилізація;
- підкиснення ґрунтів та накопичення в них токсичних елементів.

Гомосфера – нижня частина атмосфери, що прилягає до земної поверхні, висотою 80 км.

Грунти – верхній горизонт літосфери, задіяний в біологічний кругообіг за участю рослин, тварин і мікроорганізмів.

Гумус – продукт, який утворюється за участю живої речовини внаслідок посмертного розкладення органічних залишків, їх мінералізації з вивільненням зольних (мінеральних) елементів та синтезом якісно нових органо-мінеральних сполук.

Д

Денітрифікація – процес мікробіологічного відновлення Нітрогену із нітратів у нижчі оксиди (NO, N₂O) і молекулярний азот (N₂).

Дефосфатизація суші – природна нестача Фосфору у ґрунті через його винесення та акумуляції у гідросфері.

Дихання – необхідна і найбільш характерна властивість живих організмів. Воно притаманне всім клітинам, тканинам і органам. Життя невід’ємне від дихання, яке дає енергію, що використовується для перебігу синтетичних реакцій і поставляє численні лабільні сполуки. Ці сполуки, утворені як проміжні продукти дихання, служать вихідним матеріалом для багатьох синтетичних реакцій в живих організмах.

Е

Евтрофікація водойм - «цвітіння» води внаслідок бурхливого розмноження анаеробних організмів в річках і прісних водоймах завдяки концентруванню в них сполук Фосфору.

Елементи біологічного накопичення (17 елементів) - елементи, коефіцієнт біологічного поглинання (КБП) яких набуває

значення від 1 до 100 та більше: P, Br, Cl, I, S, Ca, K, Na, Zn, Mg, B, Se, Sr (для C, H, O, N – КБП розрахувати неможливо).

Елементи біологічного захоплення – елементи, коефіцієнт біологічного поглинання яких менший 1 (Fe, Al, Cu, Co, Ba, V, F...).

Екологічні домішки - елементи, які частково споживаються рослинами та можуть накопичуватись у деяких із них.

Є

Ємність біологічного кругообігу – кількість (маса) хімічних елементів, що знаходяться в складі біомаси (фітомаси) зрілого фітоценозу.

З

Закон Оддо – Гаркінса:

Елементи з парними порядковими номерами і парними значеннями атомної маси більш розповсюджені, ніж розташовані поряд у таблиці Д. І. Менделєєва елементи з непарними значеннями атомної маси.

Засолені ґрунти – група ґрунтів, що містять у собі велику кількість легкорозчинних солей (карбонат натрію, хлориди, сульфати), які є пригнічуючими чи згубними для сільськогосподарських рослин.

Зольність – це загальна маса всіх зольних елементів рослини або всієї біомаси, виражається у відсотках відносно маси сухої

речовини. До зольних елементів належать всі нелеткі хімічні елементи.

I

Інтенсивність біологічного кругообігу – це величина, що відображає швидкість накопичення хімічних елементів у фітоценозі і визначається як маса зольних хімічних елементів в прирості за одиницю часу (добу, місяць, рік).

Й

Йоносфера – верхній шар атмосфери, де під впливом електромагнітного і корпускулярного випромінювання Сонця відбувається дисоціація газів з утворенням вільних атомів, які на висоті 100 – 400 км іонізуються.

К

«Кислотні дощі» – зростання кислотності опадів у промислових районах із природним рН = 6-6,5 до рН = 4,6-5,7, а в окремих випадках рН = 2,7-3,5.

Кларк – середній вміст хімічного елемента у відсотках від маси даного кожного елемента, що знаходиться у земній корі будь-якої її частини, Землі в цілому, у планетах та інших космічних об'єктах (А.Є.Ферсман).

Кларк концентрації – це величина, що показує ступінь відхилення вмісту хімічного елемента від його кларка.

Коефіцієнт біологічного поглинання – безрозмірний коефіцієнт, який використовують для характеристики надходження хімічного елемента у живу речовину:

$$КПБ = \frac{X}{K_x}$$

де: X – середній вміст хімічних елементів у золі рослин (%);

K_x – середній вміст хімічних елементів у літосфері (кларк, %).

Коефіцієнт концентрування або накопичення (КН) – безрозмірний коефіцієнт, який дорівнює відношенню концентрації радіонукліда у вищій ланці трофічного ланцюга до його концентрації у нижчій ланці трофічного ланцюга або в навколишньому середовищі.

Коефіцієнт переходу (КП) – коефіцієнт, який дорівнює відношенню концентрації радіонукліда в організмі до щільності радіоактивного забруднення ґрунту ($m^2 \times kg^{-1}$).

Контрастність біологічного кругообігу – критерій, який дає порівняльну оцінку ємностей біологічного кругообігу в різних біоценозах.

Л

Ландшафт – вища одиниця морфологічної структури природно-територіального комплексу.

Ландшафтно-геохімічні системи (ЛГС) – будь-які структурні одиниці географічної оболонки (геосистеми різних рангів).

Лінія поживних речовин – лінія, що з'єднує в таблиці елементів Д. І. Менделєєва Калій, Карбон і Ферум.

Лімітуючі параметри – біогеохімічні параметри, що обмежують життєздатність організму і визначають межі стійкості організму або популяції до змін навколишнього природного середовища.

М

Макроелементи – хімічні елементи, середній вміст яких у живих організмах складає 10^0 - $10^{-2}\%$.

Малий біологічний кругообіг (МБК) хімічних елементів - це сукупність процесів утворення, відмирання та розкладення живої речовини в системі: «середовище – жива речовина – середовище». Повний (замкнутий) у часі біологічний кругообіг речовин називають біологічним або біогеохімічним циклом.

Міграція – постійний рух і переміщення хімічних елементів у природі, що періодично завершується циклом.

«Метод мічених атомів» – метод дослідження поведінки хімічних елементів в екосистемах та геосферах за допомогою спостереження за окремими радіоактивними ізотопами. Радіонукліди, фізичне детектування яких значно простіше, ніж хімічний кількісний аналіз, виконують роль своєрідних маркерів або «міток».

Механічна денудація – переміщення часточок речовини водними потоками на поверхні суші.

Механогенез, або механічна міграція – механічне переміщення хімічних елементів без зміни їх форми знаходження в природі.

Мікроелементи – хімічні елементи, середній вміст яких в живих організмах складає 10^{-2} - $10^{-4}\%$.

Моніторинг – комплексна система спостережень, оцінки і прогнозу змін стану навколишнього середовища під впливом антропогенних факторів.

N

Нітрифікація – процес перетворення аміаку або катіону амонію в нітрат-йони, який проходить внаслідок життєдіяльності нітрифікуючих бактерій.

«Нітрифікація» біосфери – збільшення внаслідок техногенної діяльності вмісту Нітрогену в навколишньому середовищі. Загальна надлишкова кількість Нітрогену складає близько 19×10^6 т/рік.

O

Озоносфера – шар стратосфери, збагачений озоном (O_3). Він міститься на висотах 20–50 км і захищає все живе від жорсткого ультрафіолетового випромінювання Сонця (менше 315 нм), яке здатне розривати молекули білків і викликати загибель живих організмів.

II

«Парниковий ефект» – збільшення концентрації CO_2 в атмосфері, що за оцінками деяких спеціалістів вплине на середню температуру на планеті в бік її зростання на 1,5-2 °С.

Педосфера – поверхневий шар суші земної кори, якому властива родючість, тобто здатність забезпечити умови життя для рослин.

Повітряні мігранти – елементи, які утворюють газоподібні сполуки. Це – Гідроген, Карбон, Оксиген і Нітроген.

Потік хімічних елементів – переміщення певної кількості речовин у напрямку від одного до іншого резервуару.

Правила С.Ткалича:

- 1) хімічні елементи, що лежать на лінії поживних речовин, найбільш розповсюджені в біосфері;
- 2) вміст хімічних елементів у золі рослин зменшується в міру віддалення від лінії поживних речовин;
- 3) в міру віддалення хімічних елементів від лінії поживних речовин їх КБП (коефіцієнт біологічного поглинання) зменшується;
- 4) із збільшенням атомної маси елемента зростає його токсичність.

P

Регіональні техногенні аномалії – аномалії, що характерні для континентів, природних зон, провінцій, окремих областей.

Резервуар – частина геосфери, у якій відбувається накопичення певних хімічних сполук.

С

Спеціальні органогени (13 елементів) – елементи, які необхідні багатьом, але не всім видам живих організмів: Si, Na, Ca, Fe, Sb, F, Mn, Sr, B, Br, Cu, I, Zn.

Супергенна міграція – вторинне розсіювання мікроелементів у навколишньому середовищі під впливом атмосферних процесів, що призводить до руйнування мінералів.

Т

Тверді мінерали – це те середовище, у якому і завдяки якому розвивається основна маса живих організмів материка. Складові частини (хімічні елементи) цих мінералів стають доступними для організмів або у процесі, або після розпаду мінералів.

Техногенна міграція – викликане діяльністю людини переміщення хімічних елементів та зміна їх форм знаходження в природі.

Техногенні геохімічні аномалії – накопичення або перевитрата хімічних елементів внаслідок техногенної (виробничої) діяльності людини.

Техногенні забруднювачі атмосфери – техногенні речовини, які об'єднують у три групи:

- 1) речовини, які утворюються при спалюванні палива;

- 2) промислові викиди;
- 3) атмосферні забруднення, пов'язані з процесами утилізації побутових та промислових відходів.

У

Ультраелементи – хімічні елементи, середній вміст яких у живих організмах складає менше ніж $10^{-4}\%$.

Ф

Фізико-хімічна міграція – міграція водних розчинів і газових сумішей, яка супроводжується фізико-хімічними перетвореннями елементів (найбільш розповсюджений тип для Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+).

Фітоіндикатори – рослинні угруповання, що вказують на конкретні умови середовища.

Форми знаходження хімічних елементів – системи різних відносно стійких хімічних рівноваг елементів у земній корі.

«Фосфатизація суші» – збільшення вмісту Фосфору внаслідок техногенної діяльності в навколишньому середовищі.

Х

Хлорорганічні пестициди (ХОП) – найбільш стійкі серед усіх типів пестицидів, мають високу термічну стабільність і погану розчинність у воді, але добру в органічних розчинниках і

жирах. Здатні до акумуляції вздовж трофічних ланцюгів. Період напіврозпаду в ґрунті здебільш не перевищує 1,5 року, але ДДТ складає 15–20 років.

III

Швидкість біологічного кругообігу – період, за який хімічний елемент проходить шлях від початку його поглинання живим організмом (рослинами) до повернення в первинне середовище існування, виражається в одиницях маси (г, кг, ц, т) за біогеохімічний цикл (доба, рік, століття).

ДОДАТКИ

**КЛАРКИ ДЕЯКИХ ХІМІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ У ЛІТОСФЕРІ І
ГРУНТІ (за даними О.П.Виноградова)**

| Еле- мент | К літос- фери | К грунту | Еле- мент | К літос- фери | К. грун- ту | Еле- мент | К літос- фери | К. грунту |
|--------------|---------------------|---------------------|--------------|---------------------|-------------------|--------------|---------------------|---------------------|
| Ag | $7 \cdot 10^{-6}$ | 10^{-6} | Ce | $7 \cdot 10^{-3}$ | $5 \cdot 10^{-3}$ | Hf | 10^{-4} | $6 \cdot 10^{-4}$ |
| Al | 8,05 | 7,13 | Cl | $1,7 \cdot 10^{-2}$ | 10^{-2} | Hg | $8,3 \cdot 10^{-6}$ | 10^{-6} |
| As | $1,7 \cdot 10^{-4}$ | $5 \cdot 10^{-4}$ | Co | $1,8 \cdot 10^{-3}$ | $8 \cdot 10^{-4}$ | In | $2,5 \cdot 10^{-5}$ | 10^{-6} |
| B | $1,2 \cdot 10^{-5}$ | 10^{-3} | Cr | $8,3 \cdot 10^{-3}$ | $2 \cdot 10^{-2}$ | I | $4 \cdot 10^{-7}$ | $5 \cdot 10^{-4}$ |
| Ba | $6,5 \cdot 10^{-2}$ | $5 \cdot 10^{-2}$ | Cs | $3,7 \cdot 10^{-4}$ | $5 \cdot 10^{-4}$ | K | 2,5 | 1,36 |
| Be | $3,8 \cdot 10^{-4}$ | $6 \cdot 10^{-4}$ | Cu | $4,7 \cdot 10^{-3}$ | $2 \cdot 10^{-3}$ | Mg | 1,87 | $6,3 \cdot 10^{-1}$ |
| Bi | $9 \cdot 10^{-7}$ | 10^{-6} | F | $6,6 \cdot 10^{-2}$ | $2 \cdot 10^{-2}$ | Mn | 10^{-1} | $8,5 \cdot 10^{-2}$ |
| Br | $2,1 \cdot 10^{-4}$ | $5 \cdot 10^{-6}$ | Fe | 4,65 | 3,8 | Mo | $1,5 \cdot 10^{-4}$ | $2 \cdot 10^{-4}$ |
| Ca | 3,96 | 1,37 | Ga | $1,9 \cdot 10^{-3}$ | $3 \cdot 10^{-3}$ | N | $1,9 \cdot 10^{-3}$ | 10^{-1} |
| Cd | $1,3 \cdot 10^{-6}$ | $5 \cdot 10^{-5}$ | Ge | $1,4 \cdot 10^{-4}$ | 10^{-4} | Na | 2,5 | $6,3 \cdot 10^{-1}$ |
| Ni | $5,8 \cdot 10^{-3}$ | $4 \cdot 10^{-3}$ | Se | $5 \cdot 10^{-6}$ | 10^{-6} | Tl | 10^{-4} | $4 \cdot 10^{-6}$ |
| P | $9,3 \cdot 10^{-2}$ | $8 \cdot 10^{-2}$ | Si | 29 | 33 | U | $2,5 \cdot 10^{-4}$ | $5 \cdot 10^{-4}$ |
| Pb | $1,6 \cdot 10^{-3}$ | 10^{-3} | Sn | $2,5 \cdot 10^{-4}$ | 10^{-3} | V | $9 \cdot 10^{-3}$ | 10^{-2} |
| Rb | $1,5 \cdot 10^{-2}$ | 10^{-2} | Sr | $3,4 \cdot 10^{-2}$ | $3 \cdot 10^{-2}$ | W | $1,3 \cdot 10^{-4}$ | - |
| S | $4,7 \cdot 10^{-2}$ | $8,5 \cdot 10^{-2}$ | Ta | $2,5 \cdot 10^{-4}$ | - | Y | $2 \cdot 10^{-3}$ | $5 \cdot 10^{-3}$ |
| Sb | $5 \cdot 10^{-5}$ | $2 \cdot 10^{-2}$ | Th | $1,3 \cdot 10^{-3}$ | $6 \cdot 10^{-4}$ | Zn | $8,3 \cdot 10^{-3}$ | $5 \cdot 10^{-3}$ |
| Sc | 10^{-3} | $7 \cdot 10^{-4}$ | Ti | 0,45 | 0,46 | Zr | $1,7 \cdot 10^{-2}$ | $3 \cdot 10^{-2}$ |

ВЕЛИЧИНИ ІОННИХ РАДІУСІВ, Е

(за Г.Б.Бокієм та М.В.Бєловим)

| Іон | R_i | Іон | R_i | Іон | R_i | Іон | R_i |
|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
| Ag^+ | 1,13 | Cr^{6+} | 0,52 | Mo^{4+} | 0,68 | Sr^{2+} | 1,20 |
| Al^{3+} | 0,57 | Cs^+ | 1,65 | Na^+ | 0,98 | Ta^{5+} | 0,66 |
| As^{3-} | 1,01 | Cu^{2+} | 0,8 | NH_4^+ | 1,43 | Te^{4+} | 0,89 |
| As^{3+} | 0,69 | F^- | 1,33 | Ni^{2+} | 0,74 | Th^{4+} | 0,95 |
| As^{5+} | 0,47 | Fe^{2+} | 0,8 | Ni^{3+} | 0,35 | Ti^{2+} | 0,78 |
| Ba^{2+} | 1,43 | Fe^{3+} | 0,67 | O^{2-} | 1,32 | Ti^{4+} | 0,64 |
| Be^{2+} | 0,34 | Fr^+ | 1,75 | P^{3-} | 1,86 | Tl^+ | 1,49 |
| Bi^{3+} | 1,2 | Ge^{2+} | 0,65 | P^{5+} | 0,35 | Tl^{3+} | 1,05 |
| Bi^{5+} | 0,74 | Ge^{4+} | 0,44 | Pb^{2+} | 1,32 | U^{4+} | 1,04 |
| Br^- | 1,96 | H^+ | 1,36 | Pt^{4+} | 0,64 | V^{2+} | 0,72 |
| C^{4+} | 0,15 | Hg^{2+} | 1,12 | S^{2-} | 1,86 | V^{3+} | 0,67 |
| C^4 | 2,6 | I^- | 2,2 | S^{6+} | 0,30 | V^{4+} | 0,61 |
| Ca^{2+} | 1,06 | K^+ | 1,33 | Sb^{3-} | 2,08 | V^{5+} | 0,40 |
| Cd^{2+} | 1,03 | Li^+ | 0,68 | Sb^{3+} | 0,9 | W^{4+} | 0,68 |
| Cl^- | 1,81 | Mg^{2+} | 0,74 | Sb^{5+} | 0,62 | W^{6+} | 0,65 |
| Co^{2+} | 0,82 | Mn^{2+} | 0,91 | Sc^{4+} | 0,69 | Y^{3+} | 0,97 |
| Co^{3+} | 0,64 | Mn^{3+} | 0,7 | Se^{4+} | 0,69 | Yb^{3+} | 0,81 |
| Cr^{2+} | 1,83 | Mn^{4+} | 0,52 | Si^{4+} | 0,39 | Zn^{2+} | 0,81 |
| Cr^{3+} | 0,64 | Mn^{7+} | 0,46 | Sn^{2+} | 1,02 | Zr^{2+} | 0,83 |

**ГРАНИЧНО ДОПУСТИМІ КОНЦЕНТРАЦІЇ (ГДК)
ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН У АТМОСФЕРІ НАСЕЛЕНИХ
ПУНКТИВ**

| Речовина | ГДК (максимальна разова), мг/м³ | ГДК (середньодобова), мг/м³ |
|------------------------|---|---|
| Нітробензен | - | 0,008 |
| Бензен | 1,5 | 1,5 |
| Ацетальдегід | 0,1 | 0,1 |
| Карбон (II) оксид (CO) | 3,0 | 1,0 |
| Фенол | 0,01 | 0,01 |
| Формальдегід | 0,035 | 0,012 |
| Хлороводень | 0,2 | 0,2 |
| Тетрахлорид карбону | 4,0 | 2,0 |
| Сірчистий газ | 0,5 | 0,05 |
| Сірководень | 0,008 | 0,008 |
| Хром (VI) оксид | 0,0015 | 0,0015 |
| Гідраргірум | 0,0003 | 0,0003 |
| Плюмбум | - | 0,0007 |
| Манган і його сполуки | - | 0,01 |

| Речовина | ГДК (максимальна разова), мг/м ³ | ГДК (середньодобова), мг/м ³ |
|----------------------------|---|---|
| Фосфорний ангідрид | 0,15 | 0,05 |
| Кіптява (сажа) | 0,15 | 0,05 |
| Пари сульфатної кислоти | 0,3 | 0,1 |
| Хлор | 0,1 | 0,03 |
| Пари ацетатної кислоти | 0,2 | 0,06 |
| Ацетон | 0,35 | 0,35 |
| Нафталін | 0,003 | 0,003 |
| Пеніцилін | 0,05 | 0,002 |
| Аміак | 0,2 | 0,004 |
| Пари фтороводню | 0,02 | 0,005 |
| Нітроген (IV) оксид | 0,085 | 0,04 |
| Нітроген (I) оксид | 0,6 | 0,04 |
| Пил нетоксичний | 0,5 | 0,15 |
| Ванадій (V) оксид | — | 0,002 |
| Бензопірен | — | 0,000001 |

**ГРАНИЧНО ДОПУСТИМИ КОНЦЕНТРАЦІЇ ШКІДЛИВИХ
РЕЧОВИН У ВОДІ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ ГОСПОДАРСЬКО-
ПИТНОГО ТА КУЛЬТУРНО-ПОБУТОВОГО
ВОДОКОРИСТУВАННЯ**

| Назва речовини | ГДК, мг/л |
|---|------------------|
| Аміак, (за Нітрогеном:) | 2,0 |
| Амонію сульфат (за N ₂) | 1,0 |
| Активний хлор | Відсутня |
| Ацетон | 2,2 |
| Бензен | 0,5 |
| Дихлоретан | ОДР 0,02 |
| Ферум | 0,3 |
| Кадмій | 0,001 |
| Капролактам | 1,0 |
| Кобальт | 0,1 |
| Силіцій | 10,0 |
| Манган | 0,1 |
| Купрум | 1,0 |
| Нітрати (NO ₃ ⁻) | 45,0 |
| Нітрити (NO ₂ ⁻) | 3,0 |
| Ртуть | 0,0005 |
| Натрій | 200,0 |
| Нафтопродукти | 0,1 |
| Фенол | 0,001 |
| Хром (3+) | 0,5 |
| Хром (6+) | 0,05 |
| Цинк | 1,0 |
| Етиленгліколь | 1,0 |

Додаток 5

ГРАНИЧНО ДОПУСТИМИ КОНЦЕНТРАЦІЇ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН У ПИТНІЙ ВОДІ

| Речовина | ГДК, мг/л | Речовина | ГДК, мг/л |
|---------------------------|-----------|---------------------------|-----------|
| Арсен (загальний) | 0,05 | Ферум | 0,5 |
| Ацетати | 45,0 | Флуориди | 0,75 |
| Дихлорфенолоцтова кислота | 1,0 | Форміати | 45,0 |
| Ефіророзчинні речовини | 0,1 | Фосфати | 1,0 |
| Купрум | 0,1 | Фосфорорганічні пестициди | 0,03 |
| Нафтопродукти | 0,1-0,3 | Хлориди | 100,0 |
| Нітрати | 45,0 | Хром (загальний) | 0,5 |
| Нітриди | 0 | Хром (VI) | 0,01 |
| Сульфати | 500,0 | Ціаніди | 0 |
| Феноли | 0,001 | | |

ЗНАЧЕННЯ ГДК ХІМІЧНИХ РЕЧОВИН У ГРУНТАХ

| Назва речовини | ГДК, мг/м³ |
|--------------------------------|------------------------------|
| Ванадій | 150 |
| Кобальт (рухлива форма) | 5,0 |
| Манган, вилучений з: | |
| - чорнозему | 700 |
| - дерново-підзолистого ґрунту: | |
| pH = 4 | 300 |
| pH = 5,1-5,9 | 400 |
| pH = 6 | 500 |
| Купрум (рухлива форма) | 3,0 |
| Нікель | 4,0 |
| Гідраргірум | 2,1 |
| Плюмбум | 32 |
| Плюмбум (рухлива форма) | 6,0 |
| Хром | 6,0 |

| Назва речовини | ГДК, мг/м ³ |
|---|------------------------|
| Цинк | 23 |
| Нітрати | 130 |
| Арсен | 20 |
| Сірководень | 0,4 |
| Фосфор (суперфосфат) | 200 |
| Фториди – водорозчинна форма | 10 |
| Бензен | 0,3 |
| Ізопропілбензен | 0,5 |
| Ксилоли | 0,3 |
| Стирол | 0,1 |
| Толуен | 0,3 |
| Рідкі комплексні добрива з додаванням Мангану | 80 |
| Азотно-калійні добрива | 120 |
| Поверхнево-активні речовини | 0,2 |

**ДОЗВОЛЕНІ РІВНІ ВМІСТУ ^{137}Cs і ^{90}Sr У ПРОДУКТАХ
ХАРЧУВАННЯ ТА ПИТНІЙ ВОДІ (ДР-97)**

| № з/п | Назва продукту | ^{90}Sr (Бк/кг, Бк/л) | ^{137}Cs (Бк/кг, Бк/л) |
|-------|---|--------------------------------|---------------------------------|
| 1 | Хліб, хлібопродукти | 5 | 20 |
| 2 | Картопля | 20 | 60 |
| 3 | Овочі (листові коренеплоди, столова зелень) | 20 | 40 |
| 4 | Фрукти | 10 | 70 |
| 5 | М'ясо і м'ясні продукти | 20 | 200 |
| 6 | Риба і рибні продукти | 35 | 150 |
| 7 | Молоко і молочні продукти | 20 | 100 |
| 8 | Яйця (в одному яйці) | 2 | 6 |
| 9 | Вода | 2 | 2 |
| 10 | Молоко згущене і концентроване | 60 | 300 |
| 11 | Молоко сухе | 100 | 500 |
| 12 | Свіжі дикоростучі ягоди і гриби | 50 | 500 |
| 13 | Сушені дикоростучі ягоди і гриби | 250 | 2500 |
| 14 | Лікарські рослини | 200 | 600 |
| 15 | Інші продукти | 200 | 600 |
| 16 | Спеціальні продукти дитячого харчування | 5 | 40 |

Марчук Галина Петрівна
Біла Тетяна Анатоліївна

ГЕОХІМІЯ ДОВКІЛЛЯ

Навчальний посібник

Формат 60x84/16. Папір Офс. друк. Ум. арк. 14,07
Обл.-вид. арк. 14. Тираж 300 пр.

Видавництво: ПП «Олді-плюс»
e-mail: oldi-ks@i.ua
73033 м. Херсон, а/с № 15
Ліцензія сер. ХС № 2 від 16.08.2000 р.