**Лекція 24**

**Тема: Самоочищення геосистем**

**1. Шляхи самоочищення геосистем від забруднюючих речовин.**

Виділяють наступні шляхи самоочищення геосистем від забруднюючих речовин:

1) механічне винесення забруднюючих речовин з геосистеми з вітром, з поверхневими і підземними водами;

2) ізолювання забруднюючих речовин на бар'єрах в межах геосистеми;

3) деструкція забруднюючих речовин.

**2. Ефективність механічного виносу забруднюючих речовин за межі геосистеми залежить:**

- від форм рельєфу (пониження рельєфу ускладнюють винесення забруднень, орієнтація гірських хребтів може заважати виносу забруднюючих речовин з вітром і т.н.);

- від кліматичних факторів (наявність вітрів і дощів, відсутність туманів і атмосферних інверсій сприяє самоочищенню геосистем);

- від наявності водойм з активним потоком води;

- від типу водно-геохімічного режиму території (промивний режим сприяє виносу забруднюючих речовин з поземними водами, аридний режим - сприяє накопиченню забруднюючих речовин в поверхневому шарі грунтів, випітний режим - сприяє привнесенню забруднюючих речовин з інших територій з висхідним потоком ґрунтових вод);

- від механічного та фізико-хімічного складу грунтів і підстелюючих гірських порід (тобто, від їх здатності утримувати забруднюючі речовини і тим самим перешкоджати їх механічному виносу за межі геосистеми).

**3. Ізолювання забруднюючих речовин в межах геосистеми на бар'єрах**

Типи бар'єрів в геосистемах:

↓ ↓ ↓

Механічні Фізико-хімічні Біологічні

і хімічні

Роль механічних бар'єрів в геосистемах можуть виконувати: форми рельєфу, які механічно обмежують винос речовин з геосистем; непротічні водойми, в яких відсутнє механічне очищення геосистем і т.н.

**4. Геохімічні бар'єри в геосистемі.**

Якщо сусідні геогоризонти відрізняються за своїми фізичними і хімічними властивостями, то на кордоні між цими геогоризонтами відбувається уповільнення міграції хімічних речовин. Геохімічний бар'єр - це ділянка землі, на якій різко змінюється інтенсивність міграції хімічних елементів. Чим контрастніше властивості сусідніх геогоризонтів, тим ефективніше на них буде затримуватися міграція речовин.

Контрастність бар'єрів обчислюється таким чином:

Контрастність бар'єру = Умови міграції в геогоризонті А

Умови міграції в геогоризонті Б

**5. Фізико-хімічні бар'єри:**

Фізико-хімічні бар'єри:

1. Термодинамічні бар'єри виникають між геогоризонтами, які відрізняються за своєю температурою: при зміні температури ґрунтового розчину змінюється розчинність речовин і частина іонів може випадати з розчину вигляді осаду.

2. Випаровувальні бар'єри виникають між геогоризонтами, які відрізняються за своєю зволоженістю: зменшення зволоженості призводить до підвищення концентрації ґрунтового розчину і до випадання деяких речовин з розчину. Випаровувальні бар'єри виникають при випотному геохімічному режимі території, коли грунтові води піднімаються до поверхневих більш сухих геогоризонтів.

3. Роль сорбційних бар'єрів виконують частинки ґрунтів або гірських порід, на яких можуть адсорбуватися з грунтових розчинів ті чи інші хімічні речовини. Наприклад, глинисті мінерали і органічна речовина гумусу мають на поверхні своїх часточок негативно-заряджені молекули і, тому, здатні адсорбувати на своїй поверхні позитивно-заряджені іони з грунтового розчину:

Ni2+ + глина(-) ↔ Ni2+∙глина(-)

Pb2+ + гумінові кислоти гумусу(-) ↔ Pb2+ ∙гумінові кислоти гумусу(-)

Сорбція - явище зворотнє. При надходженні інших іонів можливий іонообмін і повторне потрапляння забруднюючих речовин в грунтовий розчин. Крім того, адсорбовані іони доступні для кореневого живлення рослин і можуть потрапляти в харчові ланцюги біоти.

**6. Хімічні бар'єри.**

До хімічних бар'єрів відносяться:

1. Окисні бар'єри - затримують хімічні елементи, якщо окислена форма хімічного елемента є менш рухливою, ніж відновлена форма цього ж елемента:

Mn2+ - 2e- → Mn4+↓

2. Відновлювальні бар'єри - затримують хімічні елементи, якщо відновлена форма хімічного елементу є менш рухливою, ніж окислена форма:

Cr6+ + 3e- → Cr3+↓

3. Лужні гідроксидні бар'єри - затримують хімічні елементи, гідроксидні форми яких є малорухливими:

Hg2+ + 2OH- → Hg(OH)2↓

4. Кислі бар'єри - затримують хімічні елементи, які є похідними слабких кислот і які є малорозчинними:

Na2MoO4 + HCl → NaCl + H2MoO4

↓ ↓

H2O + MoO3↓

5. Сольові (карбонатні, сульфідні та ін.) бар'єри – затримують малорозчинні солі, які утворює хімічний елемент:

Pb2+ + 2HCO3- → PbCO3↓

Cd2+ + S2- → CdS↓

Хімічний бар'єр ізолює забруднюючі речовини з геосистеми в тому випадку, якщо він лежить нижче зони кореневого живлення рослин, але, вище дзеркала грунтових вод. Якщо геохімічний бар'єр збігається з зоною кореневого всмоктування рослин, то можливе використання токсичних елементів рослинами при їх живленні.

Таблиця 1. Класифікація геохімічних бар’єрів (фрагмент таблиці) (за Перельманом О.І., 1989)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Фізико-хімічні умови | Склад вод, що надходять до геохімічного бар’єра | | | |
| Окисно-відновні | Кисневі води: | | | |
| Лужно-кислотні | I. Сильнокислі | II. Кислі і слабокислі | III. Нейтральні і слаболужні | IV. Сильно лужні (содові) |
| Межі рН у зоні гіпергенезу | < 3 | 3 – 6,5 | 6,5 – 8,5 | > 8,5 |
|  | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Елементи, рухливі у водах будь-якого складу |  |  |  |  |
| Парагенна асоціація | Li, Tl, F, Mg,  Ca, Ra, Mn, Fe,  Co, Ni, Cu, Zn,  Cd, Hg, Be, Al, Ga, In, Sc, Y,  Tr, Si, Ge, Sn,  Ti, Zr, Th, Cr,  Mo, W, U, P,  As, V, Nb, Ta | Li, Tl, F, Mg,  Ca, Sr, Ba, Ra, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, Cd, Hg, Ag, Au, Be, Al, Ga, In, Sc, Y, Tr, Si, Ge, Sn, Ti, Zr, Th, Cr, Mo, W, U, P, As, V, Nb, Ta | Li, Tl, Mg, Ca, Sr, Zn, Se, Cr,  Mo, W, U, Re | Li, F, B, Zn,  Cu, Ag, Be, Al, Sc, Y, Si, Ge, Sn, Ti, Zr, Th, Cr, Mo, W, U,  Re, V, Nb |
| Кисневий бар’єр А | A1  Fe | A2  Fe, Mn, Co | A3  Mn | A4  - |
| Сульфідний бар’єр (сірководневий) В | B1  Tl, Cu, Hg, Pb,  Cd, Bi, Sn, As,  Sb, Mo, W, U | B2  Tl, Mn, Co, Ni,  Cu, Zn, Pb, Cd, Hg, Sn, Cr, Mo, U | B3  Tl, Cr, Mo, U,  Se, Re, V | B4  Cu, Ag, Zn, Cr,  Mo, U, V, As |
| Глейовий бар’єр С | C1  Cu, U, Mo | C2  Cu, U, Mo | C3  Cu, Cr, U, Mo,  Re, Se, V | C4  Cu, Ag, Cr, Mo,  U, Re, Se, V, As |
| Лужний бар’єр D | D1  Mg, Ca, Sr, Ba, Ra, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Pb,  Cd, Hg, Be, Al, Ga, Y, Tr, Cr,  P, As, U | D2  Mg, Ca, Sr, Ba, Ra, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, Cd, Hg, Be, U | D3  - | D4  - |
| Кислий бар’єр Е | E1  - | E2  - | E3  Si, Mo | E4  (Cu), (Zn), Ag, Be, Al, Ga, Sc, Y, Tr, Si, (Ge), Zr, (Ti), Mo, Cr, V |
| Випаровувальний бар’єр F | F1  Na, K, Rb, Tl, Cl, Mg, Ca, Sr, S, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Pb,  Cd, Al, Mo, U | F2  - | F3  Li, Na, K, Rb, Tl, N, B, F, Cl, Br, I, Mg, Ca, Sr, S, Zn, Mo,  U, V, Se | F4  Li, Na, K, Rb, Tl, N, B, F, Cl, Br, I, Cu, Zn, Mo, U, Se |
| Сорбційний бар’єр G | G1  Al, Sc, Ga, Si, Ge, P, V, As | G2  Si, Ba, Zn, Cd, Ni, Co, Pb, Cu, U, Cl, Br, I, F,  S, P, V, Mo, As | G3  Li, Na, K, Rb, Cs, Tl, Zn, (Cl, Br, I, F, B, S, P, V, Mo, As) | G4  Li, Na, K, Rb, Cs, Tl, (Cl, Br, I, B, F, S, P, V, Mo, As) |
| Термодинамічний бар’єр Н | H1  - | H2  Mg, Ca, Sr, Ba, Mn, Zn, Pb, Co, Ni | H3  (Li), Mg, Ca, Sr, Ba, Zn, Pb | H4  Zn, (Cu), (U) |

Таблиця 2.

|  |  |
| --- | --- |
| **Типи природніх і штучних геохімічних барьєрів** | **Хімічні елементи, які осідають на даних геохімічних бар’єрах** |
| **Лужні бар’єри** (технологічний варіант – роздріблені вапняки, доломіти, мергелі, карбонатні горизонти грунтів, відходи содового виробництва і т.п.). | Mg, Ca, Sr, Ba, Ra, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, Cd, Hg, Be, Al, Ga, Y, Tr, Cr, P, As, U та інш.  **NB:** Крім органо-металічних сполук цих елементів. |
| **Кислі бар’єри** | Si, Mo, Ag, Be, Al, Ga, Sc, Y, Tr, Ge, Zr, Ti, Cr, V, Se та інш. |
| **Глейові бар’єри** | Cu, U, Mo, Cr, Re, Se, V, Ag, As та інш. |
| **Сульфідні бар’єри** (технологічний варіант – використання піритних огарків і т.п.) | Tl, Cu, Hg, Pb, Cd, Bi, Sn, As, Sb, Mo, W, U, Co, Ni, Zn, Cr, U, Se, Re та інш. |
| **Окислювальні бар’єри** | Fe, Mn, Co, Al та інш. |
| **Сорбційні бар’єри** (технологічний варіант – використання торфу, глини і т.п.) | Rb, Cs, Tl, Si, Ba, Zn, Cd, Ni, Co, Pb, Cu, U, I, F, Mo, As, Se, Cr, Sb та інш. |

|  |  |
| --- | --- |
| Perelman AI.gif  А.І. Перельман (1916 - 1998) (за <https://ru.wikipedia.org/wiki/>). | Олександр Ілліч Перельман є одним з основоположників геохімії ландшафтів.  Він розробив вчення про геохімічні бар'єри, створив геохімічну класифікацію ландшафтів, досліджував основні закономірності поведінки хімічних елементів в географічній оболонці.  Запропоновані ним поняття в даний час є одними з фундаментальних в геохімії і дають пояснення багатьом аномальним концентраціям елементів в ландшафтах і в зоні гіпергенезу в цілому (<http://www.igem.ru/lab_radio/pamiat/> perelman.htm?p=history8). |

**7. Біологічні бар'єри.**

Відомо, що живі організми здатні накопичувати в своєму тілі техногенні забруднюючі речовини у великих кількостях, тим самим забезпечуючи самоочищення ландшафтів. Під біологічним бар'єром розуміють селективне і надмірне накопичення в живих організмах хімічних елементів.

Ефективність накопичення забруднюючих речовин в біологічних системах оцінюється за величиною коефіцієнта біологічного поглинання:

Кбіол.поглинання = Концентрація хімічного елемента в організмі\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Концентрація хімічного елемента в навколишньому середовищі

Коефіцієнт біологічного поглинання - це відношення вмісту хімічного елемента в живому організмі до його вмісту в навколишньому середовищі. Наприклад, в м.Чернівці, в рослинах свинець і мідь накопичуються в концентрації, яка в 50-100 разів перевищує фонові значення.

Показана видова спеціалізація рослин щодо типу токсичних хімічних елементів, які накопичуються рослиною:

- злакові накопичують переважно свинець, мідь, цинк;

- верба накопичує цинк і стронцій;

- акація накопичує свинець, бор, молібден і стронцій;

- мохи та лишайники накопичують важкі метали і радіоактивні елементи в концентраціях, які в 10 разів перевищують накопичення цих же речовин в організмі трав'янистих рослин і т.н.

Таким чином, рослини є потужним біологічним бар'єром, який ізолює техногенні елементи з геосистеми. З метою проведення рекультивації земель, території, які необхідно очистити від того чи іншого типу забруднюючих речовин, засівають рослинами - специфічними накопичувачами тих чи інших токсинів. Після завершення вегетаційного періоду, рослини, які накопичили токсини, вивозять і знищують, або захоронюють на спеціальних полігонах.

**Рослини - накопичувачі важких металів, які можна використовувати для фіторемедіації забруднених територій і акваторій**. Yuan Y. з колегами (2016) в районі сховищ відходів виробництва, були описані рослини, здатні рости на грунтах, забруднених важкими металами (хромом, кадмієм, свинцем, міддю і цинком). Аналіз показав, що деякі з цих рослин (зокрема, *Nerium indicum* і *Zephyranthes candida*) є накопичувачами хрому та інших важких металів і можуть бути рекомендовані в якості піонерних видів на забруднених грунтах (за [Yuan et al., 2016)](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Yuan%20Y%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=27552994).

|  |  |
| --- | --- |
| Олеандр индийский (nerium indicum)  Олеандр індійський (*Nerium indicum*) (за <https://www.evaveda.com/spravochnye-materialy/>...). | Arun image32.jpg  Зефирантес (*Zephyranthes candida*) (за <https://en.wikipedia.org/wiki/> Zephyranthes\_candida). |

Для фіторемедіації забруднених вод, використовують водні рослини, гіпернакопичувачі важких металів: *Pistia stratiotes*, *Eicchornia* spp., *Lemna* spp. і *Salvinia* spp. (за [Rezania et al., 2016)](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Rezania%20S%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=27474848).

|  |  |
| --- | --- |
| Рослини водного салату (*Pistia stratiotes*) є накопичувачами марганцю, ртуті та інших важких металів (за [Rezania et al., 2016)](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Rezania%20S%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=27474848). | Ряска (*Lemna minor*) здатна накопичувати нікель, мідь, кадмій, цинк, марганець, уран, бор і миш'як (за [Rezania et al., 2016)](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Rezania%20S%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=27474848). |