**Лекція 24**

**Тема: Самоочищення геосистем (частина 2)**

**8. Деструкція забруднюючих речовин**

Розкладання забруднюючих речовин в геосистемах може йти як через фізико-хімічну, так і через біологічну деструкцію.

Основні шляхи деструкції техногенних забруднюючих речовин в геосистемах:

I. Фізико-хімічне розкладання техногенних забруднюючих речовин за допомогою води, кисню, озону, ультрафіолетового випромінювання навколишнього середовища:

1. Гідроліз:

А-B + H2O → A-OH + H-B

Наприклад:

CH3-SH + H2O → CH3-OH + H2S↑

метилмеркаптан метанол сірководень

(токсичен)

Наприклад:

R-O S R-O S

P + H2O → P + R-SH

R-O S-R R-O OH

фосфорорганічні нетоксичні

інсектіциди похідні

2. Окислення:

A-B + O2 → A=O , A=O, Box

⏐ ⏐

H O-H

Наприклад:

OH

⏐

/ \

2⏐Ο⏐ + 15 O2 → 12CO2↑ + 6H2O

\ /

фенол

3. Вільно-радикальне розкладання:

A-B + ∙ OH → A=O + B=O, A=O

⏐ ⏐ ⏐

OH OH O-OH …

Наприклад:

2O2 + УФ ↔ O3 + O ∙

O3 ↔ O2 + O∙

O∙ + H2O ↔ 2OH∙ и т.д.

R1-R2 + ∙OH → R1=O + R2=O

⏐ ⏐

O-OH OH…

вуглеводні продукти розкладення вуглеводнів, СПАР

нафти, СПАР

II. Біологічне розкладання техногенних забруднюючих речовин.

Біологічне розкладання техногенних забруднюючих речовин відбувається зарахунок ферментів, які виділяють в навколишнє середовище мікроорганізми, гриби, актиноміцети. Зокрема, в навколишнє середовище виділяються гідролітичні, окислювальні, ліполітичні, денітрифікуючі і ін. ферменти. Для всіх типів природних сполук є ферменти, еволюційно вироблені організмами, для розщеплення практично всіх хімічних зв'язків. Проблеми часто виникають з синтетичними похідними, оскільки іноді вони містять такі типи хімічних зв'язків, які не пізнаються природними ферментами мікроорганізмів. Сьогодні, одна з основних вимог до нових матеріалів - ці матеріали повинні руйнуватися в природних умовах, або повинна бути розроблена технологія їх утилізації та знешкодження.

При одночасному забрудненні геосистеми декількома видами забруднюючих речовин мікроорганізми в першу чергу утилізують той субстрат, з якого легше отримати енергію. Так, при одночасному попаданні в водойму нафтопродуктів і синтетичних поверхнево-активних речовин, на початку мікроорганізми розкладають вуглеводні нафти і лише потім приступають до деструкції СПАР. При цьому важливо підкреслити, що СПАР є більш токсичними для навколишнього середовища сполуками, в порівнянні з нафтопродуктами. Якщо розкладання різних забруднюючих речовин ведуть різні групи мікроорганізмів, то процеси деструкції можуть йти паралельно. Хоча, можуть і сповільнюватися або прискорюватися, в залежності від характеру проміжних продуктів деструкції, а також від особливостей конкурентних взаємин між мікроорганізмами різних груп.

У геосистемах практично завжди відбувається одночасне руйнування техногенних забруднюючих речовин як в результаті протікання фізико-хімічних процесів, так і в результаті їх ферментації мікроорганізмами. Співвідношення двох типів деструкції при розкладанні того чи іншого типу забруднюючих речовин залежить:

- від типу забруднення (наприклад, фізико-хімічна: біологічна деструкція для нафтопродуктів 1: 1, для бензапирена 4: 1 і т.п.).

- від кліматичних умов (при недостатній кількості сонячної радіації переважно йде біологічна деструкція).

Наприклад, початкові етапи деструкції хлорорганічного інсектициду ДДТ можуть протікати наступним чином:

→ окислення ДДТ (О2) → …

ДДТ → вільно-радикальне розкладання ДДТ (УФ, О3) → …

→ бактеріальне розкладання ДДТ (*Enterobacter aerogenes* ) → …

→ грибкове розкладання ДДТ (*Fusarium oxysporum* ) → …

|  |  |
| --- | --- |
| P,p'-dichlorodiphenyltrichloroethane.svg  Структурна фрормула інсектициду ДДТ (дуст) (за https:// ru.wikipedia.org/wiki/). | http://www.musarama.org/upload/high/fusarium-mycelium.jpg  Гіфи гриба *Fusarium oxysporum* під електронним мікроскопом (за [https://yandex.fr/ images/search?img\_url](https://yandex.fr/%20images/search?img_url) ). |

Період напіврозпаду техногенних забруднюючих речовин може змінюватися в дуже широкому діапазоні: від декількох діб (наприклад, для алкілсульфатів - одним з різновидів синтетичних поверхнево-активних речовин) до декількох десятків років (наприклад, для хлорорганічного інсектициду ДДТ період напіврозпаду становить 10 років).

**Самоочищення екосистем, забруднених сирими нафтопродуктами**. З грунтів, забруднених сирими нафтопродуктами, Abou-Shanab R.A. з колегами (2016) були виділені бактерії, здатні руйнувати нафту: *Ochrobactrum cytisi* (штам RAM03), *Ochrobactrum anthropi* (штами RAM06 та RAM17) і *Sinorhizobium meliloti* (штам RAM13). Авторами роботи була показана можливість використання даних штамів бактерій для біоремедіації екосистем, забруднених сирою нафтою (за [Abou-Shanab et al., 2016](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Abou-Shanab%20RA%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=27655077)).



Бактерії *Ochrobactrum anthropi* на поживному середовищі в чашці Петрі. Дані грунтові бактерії здатні руйнувати сирі нафтопродукти, що потрапили в грунт (за http://resizeandsave. online/ openphoto.php?img).

**Природна біодеградація поліциклічних ароматичних вуглеводнів.** Поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАВ) – це органічні сполуки, для яких характерна наявність в хімічній структурі двох і більше конденсованих бензольних кілець. Основними джерелами техногенних ПАВ в навколишньому природному середовищі є підприємства енергетичного комплексу, автомобільний транспорт, хімічна і нафтопереробна промисловість.

В основі практично всіх техногенних джерел ПАВ лежать термічні процеси, пов'язані зі спалюванням і переробкою органічної сировини: нафтопродуктів, вугілля, деревини, сміття, їжі, тютюну та ін. Багато поліциклічних ароматичних вуглеводнів є сильними хімічними канцерогенами. Такі сполуки, як бензaнтрацен, бензапірен і овален, мають яскраво виражені канцерогенні, мутагенні і тератогенні властивості (за <https://ru.wikipedia.org/wiki/>).

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Benzanthracene.png  Бензантрацен | https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/fa/Benzo-a-pyrene.svg/120px-Benzo-a-pyrene.svg.png    Бензапірен | https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/9/93/Ovalene.svg/120px-Ovalene.svg.png  Овален |

Поліциклічні ароматичні вуглеводні небезпечні для живих організмів. Однак, в екосистемах, які хронічно забруднюються даними речовинами, дослідники виділяють штами бактерій, здатних руйнувати дані токсичні сполуки.



Морські бактерії *Stenotrophomonas acidaminihila* під електронним мікроскопом. Ці бактерії здатні руйнувати поліциклічні ароматичні вуглеводні, які потрапляють в природні води в складі промислових і побутових стічних вод (за [Mangwani et al., 2014)](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Mangwani%20N%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=25040365).

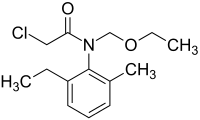
|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Бактерії буркхолдерії *Burkholderia* sp. лінії DBT1 протягом трьох днів руйнують поліциклічні ароматичні вуглеводні, додані до поживного середовища. Ці бактерії були виділені з дренажу стічних вод нафтопереробного заводу. Було запропоновано використовувати даних бактерій для біоремедіації ґрунтів, забруднених поліциклічними ароматичними вуглеводнями. На фотографіях бактерії буркхолдерії на поживних середовищах, що містять різні поліциклічні ароматичні вуглеводні: а - дібензотіофен; b - фенантрен; з - флюорит; d - нафтален; e - бактерії на поживному середовищі без поліциклічних ароматичних вуглеводнів (контроль) (за [Andreolli et al., 2011](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Andreolli%20M%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=21388438)).

**Природна біодеградація гербіцидів.** Квінхлорак - це один із широко використовуваних гербіцидів на рисових полях. При цьому залишкові кількості квінхлорака фітотоксичні для багатьох рослин. Деградація квінхлорака в природних умовах відбувається дуже повільно. Li Y. з колегами (2017) з грунтів, забруднених квінхлораком, ізолювали штам F4 бактерій *Mycobacterium* sp., здатних ефективно руйнувати даний гербіцид. Автори роботи пропонують використовувати даний штам бактерій *Mycobacterium* sp. для біоремедіації ґрунтів, забруднених квінхлораком (за [Li](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Li%20Y%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=28968436) Y. et al., 2017).

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| А | Б | С |

А, Б - Мікобактерії *Mycobacterium* sp. штаму F4, які розкладають гербіцид квінхлорак; С - структурна формула гербіциду квінхлорак, який широко застосовується на рисових полях (за [Li](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Li%20Y%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=28968436) Y. et al., 2017).



Структурна формула гербіциду ацетохлор. Ацетохлор використовується для знищення бур'янів на посівах цукрової кукурудзи, кабачка, кави і цукрового буряка. Канцероген, крім того - викликає ушкодження щитовидної залози. Один з гербіцидів, який найбільш часто виявляють в поверхневих водах природних водойм (за https://ru.wikipedia.org/wiki/). Erguven G.O. (2018) з грунтів, забруднених гербіцидом ацетохлор, були виділені гриби *Tolypocladium geodes* і *Cordyceps cicadae*, здатні руйнувати даний гербіцид. Дослідження, проведені автором роботи, дозволяють запропонувати дані гриби для біоремедіації ґрунтів, забруднених цим гербіцидом (за [Erguven, 2018)](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Erguven%20GO%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=29368301).

**Природна біодеградація техногенних барвників**. Швидка індустріалізація та урбанізація призводять до потрапляння до навколишнього середовища значної кількості барвників, багато з яких є токсичними і канцерогенними для живих організмів. Наприклад, 15% барвників, які використовуються в текстильному виробництві, потрапляють з технічними стічними водами підприємств в навколишнє середовище. При цьому деколорізація (знебарвлення) стічних вод є досить дорогою проблемою.

Rani B. з колегами (2014) з грунтів, забруднених барвниками, були виділені два гриба *Aspergillus niger* і *Phanerochaete chrysosporium*. Лабораторні дослідження показали, що ці гриби викликають знебарвлення барвників малахітового зеленого, нігрозину і основного фуксину і здатні нейтралізувати їх токсичну дію. Зокрема, в біотест-системі проростаюче насіння, було показано, що ці гриби здатні детоксикувати тестовані барвники. Rani B. з колегами (2014) рекомендовано використовувати дані гриби для біоремедіації води і грунтів, забруднених барвниками даного типу (за [Rani](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Rani%20B%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=25477943) et al., 2014).

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Малахітовий зелений (за [Rani](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Rani%20B%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=25477943) et al., 2014). | Нігрозин (за [Rani](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Rani%20B%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=25477943) et al., 2014). | Основний фуксин  (за [Rani](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Rani%20B%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=25477943) et al., 2014). |

|  |  |
| --- | --- |
| Aspergillus niger  Гриб аспергіл чорний (*Aspergillus niger*) (за <http://fb.ru/article/325986/aspergillus-niger>..). | https://www.sciencedaily.com/images/2004/05/040504062021_1_540x360.jpg  Гриб *Phanerochaete chrysosporium* (за https:// www.sciencedaily.com/releases/...). |

****

Знебарвлення барвників грунтовими грибами *Aspergillus niger* і *Phanerochaete chrysosporium* (за [Rani](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Rani%20B%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=25477943) et al., 2014).

****

Тест проростаюче насіння - показав зниження токсичності барвників завдяки присутності грибів, зокрема, аспергіла чорного (*Aspergillus niger*) (за [Rani](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Rani%20B%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=25477943) et al., 2014).

**Природна деградація поліуретанового пластику.** Нещодавно на міському звалищі відходів (Ісламабад, Пакистан) [Khan S](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Khan%20S%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=28318785). з колегами (2017) було знайдено штам грунтових грибів *Aspergillus tubingensis*, спроможних розкладати поліуретановий пластик. Тривалий час вважалося, що природні деструктори – бактерії та гриби – не спроможні до деградації штучних полімерних матеріалів. Знахідка вчених спростувала ці припущення. Таким чином, природний мутагенез спроможний забезпечити появу організмів-деструкторів для синтетичних матеріалів, які не мають природних аналогів (за [Khan et al., 2017)](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Khan%20S%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=28318785).

|  |  |
| --- | --- |
| <https://www.fondaltai21.ru/wp-content/uploads/2017/10/gribi_i_plastik.jpg>  Поліуретановий пластик, зруйнований грунтовими грибами *Aspergillus tubingensis* (за [Khan et al., 2017)](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Khan%20S%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=28318785). | https://pbs.twimg.com/media/C8P2jXRXgAAZfTG.jpg  Штам грунтових грибів *Aspergillus tubingensis*, знайдений на міському сміттєзвалищі (Ісламабад, Пакистан), здатний руйнувати поліуретановий пластик (за [Khan et al., 2017)](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Khan%20S%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=28318785). |

**Контрольні питання:**

1. Основні шляхи самоочищення геосистем.

2. Умови, які впливають на самоочищення геосистем.

3. Поняття «геохімічний бар’єр». Розрахунок контрастності геохімічного бар’єру.

4. Фізико-хімічні бар’єри: адсорбційні, термодинамічні, випаровувальні.

7. Геохімічні бар’єри: окислювальні, відновлювальні, лужні, кислі та сольові бар’єри.

8. Біологічні бар’єри. Коефіцієнт біологічного поглинання.

9. Основні шляхи деструкції техногенних забруднюючих речовин в геосистемах.

10. Фізико-хімічне розкладання техногенних забруднюючих речовин.

11. Біологічне розкладання техногенних забруднюючих речовин.

12. Фактори, які впливають на швидкість деструкції техногенних забруднюючих речовин в

геосистемах.

13. Винесення забруднюючих речовин за межі геосистеми з вітром, з підземними і поверхневими

водами.

**Література:**

1. Перельман А.И. Геохимия. – М.: Высшая школа, 1989.

2. Остроумов С.А. Загрязнение, самоочищение и восстановление водных экосистем. – М.: МАКС Пресс, Учебное пособие, 2005. – 100 с.

3. Винник В.В., Овчаров С.Н. Самоочищение почв, загрязнённых сырой нефтью в присутствии местных форм дождевых червей / Сб. науч. труд. «Актуальные проблемы биологии, медицины, экологии», под ред. проф. Ильинских Н.Н. - 2004 (выпуск 1).

4. [Abou-Shanab R.A](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Abou-Shanab%20RA%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=27655077)., [Eraky M](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Eraky%20M%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=27655077)., [Haddad A.M](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Haddad%20AM%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=27655077)., [Abdel-Gaffar A.B](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Abdel-Gaffar%20AB%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=27655077)., [Salem A.M](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Salem%20AM%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=27655077). Characterization of Crude Oil Degrading Bacteria Isolated from Contaminated Soils Surrounding Gas Stations // [Bull. Environ. Contam. Toxicol.](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27655077) – 2016. – Vol. 97(5). – P. 684 - 688.

5. [Andreolli M](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Andreolli%20M%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=21388438)., [Lampis S](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Lampis%20S%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=21388438)., [Zenaro E](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Zenaro%20E%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=21388438)., [Salkinoja-Salonen M](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Salkinoja-Salonen%20M%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=21388438)., [Vallini G](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Vallini%20G%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=21388438). Burkholderia fungorum DBT1: a promising bacterial strain for bioremediation of PAHs-contaminated soils // [FEMS Microbiol Lett.](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21388438) – 2011. - Vol. 319(1). – P. 11 - 18. doi: 10.1111/j.1574-6968.2011.02259.x.

6. [Erguven G.O](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Erguven%20GO%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=29368301). Comparison of Some Soil Fungi in Bioremediation of Herbicide Acetochlor Under Agitated Culture Media // [Bull. Environ. Contam. Toxicol.](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29368301) – 2018. – Vol. 24. doi: 10.1007/s00128-018-2280-1.

7. [Khan S](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Khan%20S%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=28318785)., [Nadir S](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Nadir%20S%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=28318785)., [Shah Z.U](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Shah%20ZU%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=28318785)., [Shah A.A](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Shah%20AA%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=28318785)., [Karunarathna S.C](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Karunarathna%20SC%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=28318785)., [Xu J](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Xu%20J%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=28318785)., [Khan A](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Khan%20A%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=28318785)., [Munir S](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Munir%20S%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=28318785)., [Hasan F](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Hasan%20F%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=28318785). Biodegradation of polyester polyurethane by Aspergillus tubingensis // [Environ. Pollut.](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28318785) – 2017. – P. 225. – P. 469 - 480. doi: 10.1016/j.envpol.2017.03.012.

8. [Li](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Li%20Y%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=28968436) Y., [Chen](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Chen%20W%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=28968436) W., [Wang](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Wang%20Y%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=28968436) Y., [Luo](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Luo%20K%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=28968436) K., [Li](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Li%20Y%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=28968436) Y., [Bai](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Bai%20L%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=28968436) L., [Luo](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Luo%20F%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=28968436) F. Identifying and sequencing a Mycobacterium sp. strain F4 as a potential bioremediation agent for quinclorac // [PLoS One](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5624592/). – 2017. – Vol. 12(10): e0185721. doi:  [10.1371/journal.pone.0185721](https://dx.doi.org/10.1371%2Fjournal.pone.0185721)

9. [Mangwani N](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Mangwani%20N%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=25040365)., [Shukla S.K](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Shukla%20SK%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=25040365)., [Kumari S](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Kumari%20S%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=25040365)., [Rao T.S](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Rao%20TS%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=25040365)., [Das S](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Das%20S%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=25040365). Characterization of Stenotrophomonas acidaminiphila NCW-702 biofilm for implication in the degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons // [J. Appl. Microbiol.](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25040365) – 2014. – Vol. 117(4). – P. 1012 - 1024. doi: 10.1111/jam.12602.

10. [Rani](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Rani%20B%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=25477943) B., [Kumar](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Kumar%20V%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=25477943) V., [Singh](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Singh%20J%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=25477943) J., [Bisht](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Bisht%20S%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=25477943) S., [Teotia](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Teotia%20P%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=25477943) P., [Sharma](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Sharma%20S%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=25477943) S., [Kela](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Kela%20R%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=25477943) R. Bioremediation of dyes by fungi isolated from contaminated dye effluent sites for bio-usability // [Braz. J. Microbiol](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4204947/). – 2014. – Vol. 45(3). – P. 1055 – 1063.

11. [Rezania S](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Rezania%20S%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=27474848)., [Taib S.M](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Taib%20SM%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=27474848)., [Md Din M.F](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Md%20Din%20MF%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=27474848)., [Dahalan F.A](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Dahalan%20FA%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=27474848)., [Kamyab H](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Kamyab%20H%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=27474848). Comprehensive review on phytotechnology: Heavy metals removal by diverse aquatic plants species from wastewater // [J. Hazard. Mater.](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27474848) – 2016. – Vol. 318. – P. 587 - 599. doi: 10.1016/j.jhazmat.2016.07.053.

12. [Yuan Y](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Yuan%20Y%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=27552994)., [Yu S](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Yu%20S%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=27552994)., [Bañuelos G.S](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Ba%C3%B1uelos%20GS%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=27552994)., [He Y](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=He%20Y%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=27552994). Accumulation of Cr, Cd, Pb, Cu, and Zn by plants in tanning sludge storage sites: opportunities for contamination bioindication and phytoremediation // [Environ. Sci. Pollut. Res. Int.](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27552994) – 2016. – Vol. 23(22). – P. 22477 - 22487.