

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ІВАНА ФРАНКА**

Т. Б. Перетятко

БІОГЕОХІМІЧНА ДІЯЛЬНІСТЬ МІКРООРГАНІЗМІВ

Методичні вказівки
для студентів спеціальності 091 – Біологія
спеціалізації Мікробіологія

ЛЬВІВ – 2019

Біогеохімічна діяльність мікроорганізмів: методичні вказівки для студентів спеціальності 091 – Біологія спеціалізації Мікробіологія / Т. Б. Перетятко. – Львів: Львівський національний університет імені Івана Франка, 2019. – 32 с.

Автор: кандидат біологічних наук, доцент Т. Б. Перетятко

Рецензент: доктор біологічних наук, професор Й. В. Царик

Відповідальний за випуск: кандидат біологічних наук,
професор С. О. Гнатуш

Редактор: Л. І. Сідлович

Відповідальний за друк: О. М. Старушко

*Рекомендовано
методичною радою
біологічного факультету
(протокол № 3 від 13.02.2019 р.)*

ЗМІСТ

Вступ.....	2
1. Мета і завдання навчальної дисципліни.....	3
2. Програма навчальної дисципліни.....	5
Тема 1. Загальна геохімічна організація біосфери.....	5
Тема 2. Глобальні біогеохімічні цикли елементів.....	6
Тема 3. Трансформування металів мікроорганізмами.....	8
Тема 4. Утворення та деструкція мінералів мікроорганізмами.....	10
Тема 5. Біопошкодження як індикатор біогеохімічної діяльності мікроорганізмів.....	12
Тема 6. Біопошкодження виробів і матеріалів, спричинені мікроорганізмами.....	13
Тема 7. Біогеотехнології видобування металів.....	15
Тема 8. Біоремедіація довкілля за участю мікроорганізмів.....	17
3. Практичні заняття.....	19
4. Самостійна робота студентів.....	27
5. Критерії успішності й методи контролю.....	28

ВСТУП

Метою курсу «Біогеохімічна діяльність мікроорганізмів» для магістрів є ознайомити студентів із роллю мікроорганізмів у біосфері і їхньою біогеохімічною діяльністю в умовах техногенезу. Згідно з навчальним планом на вивчення курсу виділено 32 лекційні і 16 практичних годин, а також запропоновано 72 години для самостійної роботи студентів.

Програма передбачає глибоке ознайомлення з глобальними циклами хімічних елементів (карбону, нітрогену, фосфору, сульфуру) з погляду екології, фізіології та біохімії хемолітотрофних, хемоорганотрофних, фототрофних мікроорганізмів.

Розглядаються сучасні стратегії вивчення мікробної корозії, механізми її розвитку за аеробних й анаеробних умов, вплив аніонів у складі ґрунту на інтенсивність мікробної корозії, мікробіологічні аспекти активного і пасивного захисту підземних споруд від мікробної корозії, формування біоплівки на поверхні захисних покриттів.

Вивчення матеріалу курсу має допомогти студентам зрозуміти роль мікроорганізмів у забезпеченні циклів карбону, нітрогену, фосфору і сульфуру в природі, у трансформуванні металів, утворенні й деструкції мінералів, біогеохімічних перетвореннях у літосфері й гідросфері в умовах техногенезу.

У методичних вказівках для поглибленого вивчення курсу «Біогеохімічна діяльність мікроорганізмів» до кожного розділу запропоновано перелік джерел літератури, в яких висвітлюються теоретичні та практичні аспекти біогеохімічної діяльності мікроорганізмів і які студенти-магістри можуть використати у процесі самостійної роботи. З метою перевірки отриманих знань після кожного розділу подано перелік питань для самоконтролю.

1. МЕТА І ЗАВДАННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Метою навчального курсу «Біогеохімічна діяльність мікроорганізмів» для студентів-магістрів є:

- встановлення взаємозв'язків між різними групами мікроорганізмів та геохімічним складом оболонок Землі;
- формування цілісного світогляду про роль мікроорганізмів у глобальних біогеохімічних циклах елементів у гідросфері, атмосфері й літосфері;
- аналіз здатності мікроорганізмів у формуванні та деструкції мінералів і гірських порід у літосфері й гідросфері;
- розвиток сучасних уявлень про біокорозійну активність ґрунтів, спричинену мікроорганізмами;
- порівняння ролі мікроорганізмів та інших біологічних об'єктів у пошкодженні виробів і матеріалів;
- ознайомлення із різноманітністю методів бактеріального вилуговування металів із руд;
- аналіз переваг та недоліків різних методів біоремедіації ґрунтів і ґрунтових вод від забруднень.

Завданнями **навчального курсу** «Біогеохімічна діяльність мікроорганізмів» є:

- дослідження ролі мікроорганізмів у становленні складу атмосфери;
- розуміння біогеохімічних процесів, які відбуваються в атмосфері за участю мікроорганізмів;
- розгляд мікробіологічних процесів, які забезпечують цикли карбону, нітрогену, сульфуру та фосфору в природі;
- аналіз участі мікроорганізмів у процесах трансформування металів, утворенні та деструкції мінералів;
- встановлення причинно-наслідкових зв'язків між кількісним і якісним складом мікробіоценозу ґрунту й інтенсивністю мікробної корозії надземних і підземних інженерних споруд;
- ознайомлення з методами дослідження бактеріо- та грибостійкості матеріалів, а також із методами захисту матеріалів і виробів від біодеструкторів;
- аналіз ролі мікроорганізмів у процесах вилуговування металів і збагачення сульфідних мінералів.

У результаті вивчення курсу студент повинен знати:

- хімічний склад земної кори;
- про участь різних груп мікроорганізмів у трансформованні сполук карбону, нітрогену, сульфуру та фосфору у водному та ґрунтовому середовищах;
- про участь бактерій і плісневих грибів в утворенні та деструкції мінералів;
- механізми аеробної й анаеробної корозії металів;
- методи захисту виробів і матеріалів від біодеструкторів;
- про роль мікроорганізмів у вилуговуванні металів;
- ознаки пошкоджень різних матеріалів мікроорганізмами;
- про біоремедіацію ґрунтів і ґрунтових вод мікроорганізмами.

У результаті вивчення курсу студент повинен уміти:

- застосовуючи знання про фізіологічні особливості мікроорганізмів, аналізувати їхню роль у глобальних біогеохімічних циклах елементів (карбону, нітрогену, сульфуру та фосфору) і трансформованні металів (заліза, марганцю, золота, миш'яку та ртуті);
- використовувати різні методи для виділення мікроорганізмів із природних зразків з елементами біопшкодження;
- аналізувати вплив аніонів у складі ґрунту на інтенсивність мікробної корозії;
- з'ясувати причини пошкодження матеріалів і виробів бактеріями та плісневими грибами;
- розробити методи виявлення мікроорганізмів, які пошкоджують різні матеріали та вироби.

Основні форми проведення самостійної роботи: підготовка студентів до практичних занять, модульних контрольних робіт, тестування, створення мультимедійних презентацій.

Метою самостійної роботи студентів є: вироблення практичних навичок роботи з літературою, вміння аналізувати літературні дані та застосовувати їх під час розкриття тем, винесених для вивчення; вміння системно й послідовно викладати власні погляди на проблеми і питання, винесені на вивчення у програмі курсу, критично оцінювати запропоновані теорії.

Контроль самостійної роботи студентів здійснюється у вигляді проведення модульних контрольних робіт під час лекцій і

обговорення матеріалу під час лекцій та практичних занять. Питання, винесені на самостійне опрацювання, включено в екзаменаційні білети.

2. ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Тема 1. Загальна геохімічна організація біосфери

Хімічний склад земної кори. Різноманітність мінералів і магматичних гірських порід. Осадкові та метаморфічні породи. Ґрунти.

Біогеохімія атмосфери Землі. Еволюція сучасної атмосфери. Роль мікроорганізмів у становленні складу атмосфери.

Система гідросфери. Класифікація ґрунтових вод. Хімічний склад вод океанів і річок. Стратифікація водойм.

Жива речовина. Характеристика біогеохімічних процесів, які відбуваються в атмосфері за участю мікроорганізмів: фіксація, асиміляція, мінералізація, газоутворення, деструкція, фракціонування.

Література

1. Козлова І. П., Радченко О. С., Степура Л. Г. та ін. Геохімічна діяльність мікроорганізмів та її прикладні аспекти. – К.: Наукова думка, 2008. – 528 с.
2. Шнюков С. Є., Гожик А. П. Основи геохімії: навч. посіб. – К.: Наукова думка, 2011. – 245 с.
3. Хільчевський В. К., Ободовський О. Г., Гребінь В. В. та ін. Загальна гідрологія: підручник. – К.: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2008. – 399 с.
4. Catling D. C., Claire M. W. How Earth's atmosphere evolved to an oxic state: a status report // Earth and Planetary Science Letters. – 2005. – Vol. 237. – P. 1–20.
5. Kasting J. F., Siefert J. L. Life and the evolution of earth's atmosphere // Science. – 2002. – Vol. 296. – P. 1066–1068.
6. Madsen E. L. Microorganisms and their roles in fundamental biogeochemical cycles // Current Opinion in Biotechnology. – 2011. – Vol. 22. – P. 456–464.
7. Ozaki K., Tajika E. Biogeochemical effects of atmospheric oxygen concentration, phosphorus weathering, and sea-level stand on oceanic redox chemistry: Implications for greenhouse climates // Earth and Planetary Science Letters. – 2013. – Vol. 373. – P. 129–139.

8. Rudnick R. L., Gao S. Composition of the continental crust // Treatise on Geochemistry. – 2003. – Vol. 3. – P. 1–64.
9. Smith P., Cotrufo M. F., Rumpel C. et al. Biogeochemical cycles and biodiversity as key drivers of ecosystem services provided by soils // Soil. – 2015. – Vol. 1. – P. 665–685.

Контрольні питання

1. Який внесок мікроорганізмів у формуванні ґрунту?
2. Поясніть роль ціанобактерій у появі вільного кисню в атмосфері.
3. Які парникові гази є продуктами метаболізму мікроорганізмів?
4. Які біогеохімічні процеси відбуваються в атмосфері за участю мікроорганізмів?
5. Як розумів значення живої речовини у біосфері В. І. Вернадський?
6. Яким є походження мінералів? Наведіть приклади.
7. Що таке розсіяні елементи? У яких формах вони містяться у земній корі?

Тема 2. Глобальні біогеохімічні цикли елементів

Цикл карбону. Фіксація CO₂ автотрофними організмами з утворенням органічних сполук. Окиснення органічних сполук до вуглекислого газу. Перетворення органічних сполук карбону у ґрунтах. Етапи гумусоутворення у ґрунтах. Перетворення органічного карбону у водоймах. Утворення та розкладання нафти мікроорганізмами. Мікробіологічне утворення метану. Мікробне окиснення метану до вуглекислого газу.

Цикл нітрогену. Амоніфікація. Нітрифікація. Денітрифікація. Азотофіксація. Анаеробне окиснення амонію. Особливості колообігу нітрогену у прісних водоймах. Колообіг нітрогену у Світовому океані. Антропогенний вплив на колообіг нітрогену.

Цикл сульфору. Мінералізація сульфуровмісних органічних сполук. Мікробне окиснення сполук сульфору. Відновлення сульфуровмісних сполук мікроорганізмами. Асиміляційне і дисиміляційне відновлення сульфатів.

Цикл фосфору. Вивітрювання первинних фосфоровмісних мінералів. Асиміляція розчинних сполук фосфору мікроорганізмами. Мінералізація органічного фосфору. Осадження й утворення вторинних фосфоровмісних мінералів.

Література

1. Галушка А., Перетятко Т., Гудзь С. Бактерії циклу сірки та їх роль у природі // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. біол. – 2007. – Вип. 43. – С. 61–77.
2. Козлова І. П., Радченко О. С., Степура Л. Г. та ін. Геохімічна діяльність мікроорганізмів та її прикладні аспекти. – К.: Наукова думка, 2008. – 528 с.
3. Galloway J. N., Dentener F. J., Capone D. G. Nitrogen cycles: past, present, and future // Biogeochemistry. – 2004. – Vol. 70. – P. 153–226.
4. Canadell J. G., Ciais P., Dhakal S. Interactions of the carbon cycle, human activity, and the climate system: a research portfolio // Current Opinion in Environmental Sustainability. – 2010. – Vol. 2. – P. 301–311.
5. Del Valle D. A., Karl D. M. Aerobic production of methane from dissolved water-column methylphosphonate and sinking particles in the North Pacific Subtropical Gyre // Aquatic Microbial Ecology. – 2014. – Vol. 73. – P. 93–105.
6. Francis C. A., Beman J. M., Kuypers M. M. New processes and players in the nitrogen cycle: the microbial ecology of anaerobic and archaeal ammonia oxidation // The ISME Journal. – 2007. – Vol. 1. – P. 19–27.
7. Fowler D., Steadman C. E., Stevenson D. Effects of global change during the 21st century on the nitrogen cycle // Atmospheric Chemistry and Physics. – 2015. – Vol. 15. – P. 13849–13893.
8. Karl D. M. Microbially mediated transformations of phosphorus in the sea: new views of an old cycle // Annu. Rev. Mar. Sci. – 2014. – Vol. 6. – P. 279–337.
9. Kallistova A. Y., Merkel A. Y., Tarnovetskii I. Y., Pimenov N. V. Methane formation and oxidation by prokaryotes // Microbiology. – 2017. – Vol. 86, N 6. – P. 671–691.
10. Mand J., Park H. S., Okoro C. Microbial methane production associated with carbon steel corrosion in a nigerian oil field // Frontiers in Microbiology. – 2016. – Vol. 3. – 12 p.
11. Sorokin D. Y., Kuenen J. G., Muyzer G. The microbial sulfur cycle at extremely haloalkaline conditions of soda lakes // Frontiers in Microbiology. – 2011. – Vol. 2. – 16 p.
12. Wang Y. P., Law R. M., Pak B. A global model of carbon, nitrogen and phosphorus cycles for the terrestrial biosphere // Biogeosciences. – 2010. – Vol. 7. – P. 2261–2282.

Контрольні питання

1. Якими є особливості колообігу карбону в оліготрофних і евтрофних водоймах?
2. Назвіть основні етапи циклу нітрогену.
3. Які мікроорганізми беруть участь в утворенні та розкладанні нафти і нафтопродуктів?
4. Унаслідок яких перетворень нітроген повертається в атмосферу?
5. Як впливає на колообіг сульфору діяльність людини?
6. Які особливості має колообіг фосфору?
7. У чому полягає роль мікроорганізмів у переведенні нерозчинних сполук фосфору в розчинні?

Тема 3. Трансформування металів мікроорганізмами

Мобілізація, асиміляція, іммобілізація й акумулювання металів.

Цикли феруму та мангану. Відновлення окиснених форм феруму та мангану. Окиснення відновлених форм феруму та мангану аеробними хемоорганотрофними мікроорганізмами. Окиснення відновлених форм феруму хемолітотрофами (залізобактеріями). Окиснення відновлених форм феруму анаеробними хемолітотрофними і фотолітотрофними бактеріями.

Мікробіологічні перетворення ауруму. Розчинення ауруму у складі мінералів мікроорганізмами. Мікробно індуковане осадження ауруму.

Мікробіологічні перетворення арсену. Окиснення арсену (III) мікроорганізмами. Відновлення мікроорганізмами сполук арсену. Акумуляція й осадження арсену мікроорганізмами.

Мікробіологічні перетворення ртуті. Колообіг ртуті за участю мікроорганізмів. Відновлення двовалентного ртуті до нетоксичного елементного стану мікроорганізмами.

Література

1. Козлова І. П., Радченко О. С., Степура Л. Г. та ін. Геохімічна діяльність мікроорганізмів та її прикладні аспекти. – К.: Наукова думка, 2008. – 528 с.
2. Перетятко Т. Б., Галушка А. А., Гудзь С. П. Використання металів як кінцевих акцепторів електронів сульфатвідновлювальними бактеріями // Біологічні студії. – 2009. – Т. 3, № 3. – С. 141–158.
3. Batool I., Andleeb S., Ali S. et al. Accumulation of heavy metals by living and dead bacteria as biosorbents: isolated from waste soil //

- Pakistan Journal of Scientific and Industrial Research. – 2017. – Vol. 60, N 2. – P. 106–115.
4. *Boyd P. W., Ellwood M. J.* The biogeochemical cycle of iron in the ocean // *Nature Geoscience*. – 2010. – Vol. 3. – P. 675–682.
 5. *Cavalca L., Corsini A., Zaccheo P.* Microbial transformations of arsenic: perspectives for biological removal of arsenic from water // *Future Microbiology*. – 2013. – Vol. 8, N 6. – 17 p.
 6. *Gadd G. M.* Metals, minerals and microbes: geomicrobiology and bioremediation // *Microbiology*. – 2010. – Vol. 156. – P. 609–643.
 7. *Kappler A.* Geomicrobiological cycling of iron // *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*. – 2005. – Vol. 59. – P. 85–108.
 8. *Khalid S., Shahid M., Niazi N. K. et al.* A comparison of technologies for remediation of heavy metal contaminated soils // *Journal of Geochemical Exploration*. – 2017. – Vol. 182. – P. 247–268.
 9. *Lamers L. P. M., Van Diggelen J. M. H., Op den Camp H. J. M. et al.* Microbial transformations of nitrogen, sulfur, and iron dictate vegetation composition in wetlands: a review // *Frontiers in Microbiology*. – 2012. – Vol. 3. – 12 p.
 10. *Morel F. M. M., Kraepiel A. M. L., Amyot M.* The chemical cycle and bioaccumulation of mercury // *Annu. Rev. Ecol. Syst.* – 1998. – Vol. 29. – P. 543–566.
 11. *Tebo B. M., Johnson H. A., McCarthy J. K.* Geomicrobiology of manganese (II) oxidation // *TRENDS in Microbiology*. – 2005. – Vol. 13, N 9. – P. 421–428.
 12. *Thamdrup B.* Bacterial manganese and iron reduction in aquatic sediments // *Advances in microbial ecology*. – 2000. – Vol. 16. – P. 40–84.
 13. *Wuana R. A., Okieimen F. E.* Heavy metals in contaminated soils: a review of sources, chemistry, risks and best available strategies for remediation // *ISRN Ecology*. – 2011. – ID 402647 – 20 p.

Контрольні питання

1. Поясніть роль мікроорганізмів у процесах мобілізації та іммобілізації металів.
2. Які механізми адаптації мікроорганізмів до дії йонів важких металів Вам відомі?
3. Опишіть етапи колообігу феруму та мангану.
4. Назвіть бактерії, здатні до окиснення сульфідних руд.
5. Опишіть процеси відновлення сполук арсену мікроорганізмами.

Тема 4. Утворення та деструкція мінералів мікроорганізмами

Формування мінералів за участю мікроорганізмів. Руйнування мінералів і гірських порід унаслідок життєдіяльності мікроорганізмів.

Мікробне трансформування силіцію. Різноманітність силікатних мінералів. Деструкція первинних силікатних мінералів. Ферментативне перетворення силікатних мінералів мікроорганізмами. Акумуляція і осадження біогенного силіцію.

Перетворення карбонатів мікроорганізмами. Способи осадження карбонатів мікроорганізмами. Утворення строматолітів ціанобактеріями.

Утворення та розкладання покладів сірки. Формування покладів сірки у термальних джерелах. Мікробіологічні процеси в сингенетичних і епігенетичних родовищах сірки.

Утворення та деструкція сульфідних руд мікроорганізмами. Осадкові гідротермальні й сингенетичні сульфідні родовища.

Утворення та розкладання залізних і манганових руд. Відкладання заліза всередині клітини. Магнітобактерії.

Біомінералізація золота бактеріями.

Література

1. *Козлова І. П., Радченко О. С., Степура Л. Г.* та ін. Геохімічна діяльність мікроорганізмів та її прикладні аспекти. – К.: Наукова думка, 2008. – 528 с.
2. *Anbu P., Kang C.-H., Shin Y.-J.* et al. Formations of calcium carbonate minerals by bacteria and its multiple applications // SpringerPlus. – 2016. – Vol. 5. – 26 p.
3. *Bennett P. C., Rogers J. R., Choi W. J.* Silicates, silicate weathering, and microbial ecology // Geomicrobiology Journal. – 2001. – Vol. 18. – P. 3–19.
4. *Bilonizhka P., Datsyuk Y.* Involment of microorganisms in formation of sedimentary rocks, ores and minerals // Visnyk of the Lviv University. Series Geology. – 2015. – Vol. 29. – P. 60–66.
5. *Chaparro-Acuña S. P., Becerra-Jiménez M. L., Martínez-Zambrano J. J.* et al. Soil bacteria that precipitate calcium carbonate: mechanism and applications of the process // Acta Agronómica. – 2018. – Vol. 67, N 2. – P. 277–288.
6. *Faivre D., Schuler D.* Magnetotactic bacteria and magnetosomes // Chem. Rev. – 2008. – Vol. 108. – P. 4875–4898.

7. *Gadd G. M.* Metals, minerals and microbes: geomicrobiology and bioremediation // *Microbiology*. – 2010. – Vol. 156. – P. 609–643.
8. *Henley R. W., King P. L., Wykes J. L.* Porphyry copper deposit formation by sub-volcanic sulphur dioxide flux and chemisorption // *Nature Geoscience*. – 2015. – Vol. 8. – P. 210–215.
9. *Jimenez-Lopez C., Jroundi F., Pascolin C.* Consolidation of quarry calcarenite by calcium carbonate precipitation induced by bacteria activated among the microbiota inhabiting the stone // *International Biodeterioration & Biodegradation*. – 2008. – Vol. 62. – P. 352–363.
10. *Johnson J. E., Webb S. M., Ma C.* Manganese mineralogy and diagenesis in the sedimentary rock record // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 2016. – Vol. 173. – P. 210–231.
11. *Lian B., Chen Y., Zhu L.* Effect of microbial weathering on carbonate rocks // *Earth Science Frontiers*. – 2008. – Vol. 15, N 6. – P. 90–99.
12. *Rawlings D. E., Dew D., Du Plessis C.* Biomineralization of metal-containing ores and concentrates // *TRENDS in Biotechnology*. – 2003. – Vol. 21, N 1. – P. 38–44.
13. *Reith F., Webb D. R., Mcphail D. C.* Biomineralization of gold: biofilms on bacterioform gold // *Science*. – 2006. – Vol. 313. – P. 231–236.
14. *Schulz S., Brankatschk R., Dumig A.* The role of microorganisms at different stages of ecosystem development for soil formation // *Biogeosciences*. – 2013. – Vol. 10. – P. 3983–3996.
15. *Scott C., Wing B. A., Bekker A. et al.* Pyrite multiple-sulfur isotope evidence for rapid expansion and contraction of the early Paleoproterozoic seawater sulfate reservoir // *Earth and Planetary Science Letters*. – 2014. – Vol. 389. – P. 95–104.
16. *Stal L. J.* Cyanobacterial mats and stromatolites. In: *Ecology of Cyanobacteria II*. – Dordrecht; New York; London: Springer, 2012. – P. 65–125.

Контрольні питання

1. Опишіть механізми деструкції первинних мінералів.
2. Поясніть роль мікроорганізмів у формуванні епігенетичних і сингенетичних покладів сірки та сульфідних руд.
3. Які мікроорганізми сприяють осадженню феруму й мангану?
4. Що таке магнетосоми? У яких бактерій їх виявлено?
5. Опишіть будову строматоліту.

Тема 5. Біопшкодження як індикатор біогеохімічної діяльності мікроорганізмів

Біогеохімічні перетворення сульфуру. Окиснювальне та відновлювальне трансформування сульфуру. Бактерії циклу сульфуру як чинник корозії металу. Механізми аеробної й анаеробної корозії. Роль сіркоокиснювальних і сульфатвідновлювальних бактерій у створенні екстремальних корозійних ситуацій. Сучасні уявлення про біокорозійну активність ґрунтів.

Феросфера – зона формування агресивного мікробного угруповання. Підходи до прогнозування корозійної ситуації у підземному середовищі.

Біоплівка – головний чинник мікробної корозії. Стратегія вивчення мікробної корозії: біоплівка, її формування та функціонування. Мікробна корозія в біоплівках як аналог біогеохімічного процесу. Вплив аніонного складу ґрунту на інтенсивність мікробної корозії. Мікробіологічні аспекти активного та пасивного захисту підземних споруд від мікробної корозії. Формування біоплівки на поверхні захисних покриттів.

Література

1. *Андреюк К. І., Козлова І. П., Коптєва Ж. П.* та ін. Мікробна корозія підземних споруд. – К.: Наукова думка, 2005. – 259 с.
2. *Галушка А., Перетятко Т., Гудзь С.* Бактерії циклу сірки та їх роль у природі // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. біол. – 2007. – Вип. 43. – С. 61–77.
3. *Козлова І. П., Радченко О. С., Степура Л. Г.* та ін. Геохімічна діяльність мікроорганізмів та її прикладні аспекти. – К.: Наукова думка, 2008. – 528 с.
4. *Beech W. B., Sunner J.* Biocorrosion: towards understanding interactions between biofilms and metals // Current Opinion in Biotechnology. – 2004. – Vol. 15. – P. 181–186.
5. *Bhattarai B.* Variation of soil microbial population in different soil horizons // Journal of Microbiology & Experimentation. – 2015. – Vol. 2, N 2. – 4 p.
6. *Bhola R., Bhola S. M., Mishra B.* Microbiologically influenced corrosion and its mitigation // Material Science Research India. – 2010. – Vol. 7, N 2. – P. 407–412.
7. *Chesnokova M. G., Shalaj V. V., Kriega A. S.* The relevance of studying soil biocorrosive activity in establishing an integrated action

- criterion combined effect of corrosion factors // *Procedia Engineering*. – 2016. – Vol. 152. – P. 420–422.
8. *Chinedu I.* Mechanism of microbial corrosion: a review // *Journal of Chemical, Biological and Physical Sciences*. – 2016. – Vol. 6, N 4. – P. 1173–1178.
 9. *Mansour R., Elshafei A. M.* Role of microorganisms in corrosion induction and prevention // *British Biotechnology Journal*. – 2016. – Vol. 14, N 3. – P. 1–11.
 10. *Mataqi K. Y., Akbar B. H.* Sulfur cycle of microbial corrosion on carbon steel in soil model // *International Journal of Engineering Research and Applications*. – 2013. – Vol. 3, N 2. – P. 617–623.
 11. *Polutrenko M., Maruschak P., Tymoshenko A., Sorochak A.* Influence of soil microorganisms on metal corrosion of underground pipelines // *Koroze a ochrana materiálu*. – 2018. – Vol. 62, N 2. – P. 65–70.
 12. *Valencia-Cantero E., Pena-Cabria J. J.* Effects of iron-reducing bacteria on carbon steel corrosion induced by thermophilic sulfate-reducing consortia // *J. Microbiol. Biotechnol.* – 2014. – Vol. 24, N 2. – P. 280–286.
 13. *Videla H. A., Herrera L. K.* Microbiologically influenced corrosion: looking to the future // *International Microbiology*. – 2005. – Vol. 8. – P. 169–180.
 14. *Zhang C., Wen F., Cao Y.* Progress in research of corrosion and protection by sulfate-reducing bacteria // *Procedia Environmental Sciences*. – 2011. – Vol. 10. – P. 1177–1182.

Контрольні питання

1. У чому полягає особливість мікробного окиснення ферум (II) сульфату?
2. За якими механізмами відбувається анаеробна корозія металів?
3. У чому полягає механізм катодної деполяризації?
4. Наведіть сучасні уявлення щодо біоплівки.
5. Якими є особливості біоплівки, сформованої тіоновими бактеріями?
6. Якими методами оцінюють біостійкість покриттів?

Тема 6. Біопшкодження виробів і матеріалів, спричинені мікроорганізмами

Мікроскопічні гриби та бактерії – основні агенти біодеструкції виробів і матеріалів. Пошкодження деревини, природних, синтетичних та штучних волокон і тканин, натуральної

та синтетичної шкіри, косметичних товарів, полімерних матеріалів, гумотехнічних виробів, лакофарбових матеріалів.

Мікроскопічні гриби-деструктори як чинник загрози безпеці життєдіяльності людини.

Методи дослідження бактеріо- та грибостійкості матеріалів.

Методи захисту виробів і матеріалів від біодеструкторів.

Література

1. Козлова І. П., Радченко О. С., Степура Л. Г. та ін. Геохімічна діяльність мікроорганізмів та її прикладні аспекти. – К.: Наукова думка, 2008. – 528 с.
2. Blanchette R. A. A review of microbial deterioration found in archaeological wood from different environments // International Biodeterioration & Biodegradation. – 2000. – Vol. 46. – P. 189–204.
3. Cadete R. M., Lopes M. R., Rosa C. A. Yeasts associated with decomposing plant material and rotting wood / Yeasts in natural ecosystems: diversity. – Springer International Publishing AG, 2017. P. 265–292.
4. Grice E. A., Segre J. A. The skin microbiome // Nat. Rev. Microbiol. 2011. – Vol. 9, N 4. – P. 244–253.
5. Gu J.-D. Microbiological deterioration and degradation of synthetic polymeric materials: recent research advances // International Biodeterioration & Biodegradation. – 2003. – Vol. 52. – P. 69–91.
6. Halla N., Fernandes I. P., Heleno S. A. Cosmetics preservation: a review on present strategies // Molecules. – 2018. – Vol. 23. – 41 p.
7. Huang K.-S., Yang C.-H., Huang S.-L. Recent advances in antimicrobial polymers: a mini-review // Int. J. Mol. Sci. – 2016. – Vol. 17. – 14 p.
8. Johnston S. R., Boddy L., Weightman A. J. Bacteria in decomposing wood and their interactions with wood-decay fungi // FEMS Microbiol. Ecol. – 2016. – Vol. 92, N 11. – 12 p.
9. Kurowski G., Vogt O., Ogonowski J. Paint-degrading microorganisms // Chemistry. – 2017. – Vol. 12. – P. 81–92.
10. Mohan S. K., Srivastava T. Microbial deterioration and degradation of polymeric materials // J. Biochem. Tech. – 2010. – Vol. 2, N 4. – P. 210–215.
11. Perez J., Munoz-Dorado J., de la Rubia T. et al. Biodegradation and biological treatments of cellulose, hemicellulose and lignin: an overview // Int. Microbiol. – 2002. – Vol. 5. – P. 53–63.

12. *Shah A. A., Hasan F., Hameed A. et al.* Biological degradation of plastics: a comprehensive review // *Biotechnology Advances.* – 2008. – Vol. 26. – P. 246–265.
13. *Stencel R., Kasperski J., Pakiela W.* Properties of experimental dental composites containing antibacterial silver-releasing filler // *Materials.* – 2018. – Vol. 11. – 27 p.
14. *Tuson H. H., Weibel D. B.* Bacteria-surface interactions // *Soft Matter.* – 2013. – Vol. 9, N 18. – P. 4368–4380.
15. *Webb H. K., Arnott J., Crawford R. J.* Plastic degradation and its environmental implications with special reference to poly(ethylene terephthalate) // *Polymers.* – 2013. – Vol. 5. – P. 1–18.
16. *Zaharia M., Jurcoane S., Maftai D.* Yeast biodegradation of some pesticide dinitrophenols // *Romanian Biotechnological Letters.* – 2013. – Vol. 18, N 2. – P. 8144–8151.

Контрольні питання

1. Із якими біологічними особливостями мікроскопічних грибів пов'язане їхнє домінуюче положення як біодеструкторів у наземному середовищі?
2. Які матеріали та вироби пошкоджують гриби?
3. Опишіть роль спор мікроскопічних грибів у біоповшкодженні матеріалів і виробів.
4. Перелічіть методи дослідження грибостійкості матеріалів.
5. Схарактеризуйте методи захисту від деструктивної дії мікроміцетів.

Тема 7. Біогеотехнології видобування металів

Вилуговування металів. Вилуговування металів зі сульфідних руд. Технології бактеріального вилуговування металів. Купне, підземне і чанове вилуговування. Вилучення металів зі силікатних матеріалів. Вилуговування алюмінію, мангану, самородного золота.

Вилуговування металів із розчинів. Мікробне осадження сульфідів металів. Окиснення та відновлення металів мікроорганізмами. Біосорбція металів. Збагачення руд: видалення силіцію, флотаційне збагачення руд.

Література

1. *Васильєва Н. Ю., Слюсаренко Л. І., Неццерет Л. С.* та ін. Бактеріальне вилуговування металів з відпрацьованої маси паливних елементів // *Мікробіологія і біотехнологія.* – 2018. – № 1. – С 28–38.

2. Козлова І. П., Радченко О. С., Степура Л. Г. та ін. Геохімічна діяльність мікроорганізмів та її прикладні аспекти. – К.: Наукова думка, 2008. – 528 с.
3. Маланчук З. Р., Маланчук Є. З., Корнієнко В. Я. Спеціальні технології видобутку корисних копалин: навч. посіб. – Рівне: НУВГП, 2017. – 266 с.
4. Barmettler F., Castelberg C., Fabbri C. et al. Microbial mobilization of rare earth elements (REE) from mineral solids // *AIMS Microbiology*. – 2016. – Vol. 2, N 2. – P. 190–204.
5. Febrianto J. Kosasih A. N., Sunarso J. et al. Equilibrium and kinetic studies in adsorption of heavy metals using biosorbent: a summary of recent studies // *Journal of Hazardous Materials*. – 2009. – Vol. 162. – P. 616–645.
6. Ijaz K., Wattoo J. I., Zeshan B. et al. Potential impact of microbial consortia in biomining and bioleaching of commercial metals // *Advancements in Life Sciences*. – 2017. – Vol. 5, N 1. – P. 13–18.
7. Latorre M., Paz Cortés M., Trivisany D. et al. The bioleaching potential of a bacterial consortium // *Bioresource Technology*. – 2016. – Vol. 218. – P. 659–666.
8. Lotter N. O., Whiteman E., Bradshaw D. J. Modern practice of laboratory flotation testing for flowsheet development // *Minerals Engineering*. – 2014. – Vol. 66–68. – P. 2–12.
9. Mishra D., Rhee Y. H. Microbial leaching of metals from solid industrial wastes // *Journal of Microbiology*. – 2014. – Vol. 52, N 1. – P. 1–7.
10. Okoh M. P., Olobayetan I. W., Mambula S. S. M. Bioleaching, a technology for metal extraction and remediation: mitigating health consequences for metal exposure // *International Journal of Development and Sustainability*. – 2018. – Vol. 7, N 7. – P. 2103–2118.
11. Watling H. R. Review of biohydrometallurgical metals extraction from polymetallic mineral resources // *Minerals*. – 2015. – Vol. 5. – P. 1–60.
12. Willner J., Fornalczyk A. Extraction of metals from electronic waste by bacterial leaching // *Environment Protection Engineering*. – 2013 – Vol. 39, N 1. – P. 197–208.

Контрольні питання

1. У чому полягає метод бактеріального вилуговування металів зі сульфідних руд?
2. Які мікроорганізми використовують для вилуговування металів?

3. Що таке чанове вилуговування металів? Для яких мінералів його застосовують?
4. Наведіть приклади мікроорганізмів, які активно сорбують метали з розчинів.
5. Якою є роль мікроорганізмів у процесах збагачення сульфідних мінералів?

Тема 8. Біоремедіація довкілля за участю мікроорганізмів

Деструкція природних органічних речовин: целюлози, гемицелюлози, пектину, лігніну, хітину, хітозану, білків, амінокислот, ліпідів, жирних кислот, вуглеводнів, ароматичних сполук.

Деструкція ксенобіотиків мікроорганізмами.

Біологічні методи очищення стічних вод. Застосування аеротенків, біофільтрів, обертових біоконтакторів, метантенків, анаеробних біофільтрів, UASB- і EGSB-реакторів у очищенні стічних вод.

Біоремедіація ґрунтів і ґрунтових вод. Використання реакторів сухого типу і пульпових реакторів для очищення ґрунту.

Література

1. *Верхоляк Н. С., Перетятко Т. Б.* Використання ароматичних сполук бактеріями. I. Аеробна й анаеробна деструкція // Біологічні Студії / *Studia Biologica*. – 2018. – Т. 12, № 2. – С. 135–156.
2. *Верхоляк Н. С., Перетятко Т. Б.* Використання ароматичних сполук бактеріями. II. Розкладання ароматичних ксенобіотиків // Біологічні Студії / *Studia Biologica*. – 2018. – Т. 12, № 3–4. – С. 117–140.
3. *Гудзь С. П., Гнатуш С. О., Білінська І. С.* Мікробіологія: підручник. – Львів: Вид. центр ЛНУ ім. І. Франка, 2009. – 360 с.
4. *Козлова І. П., Радченко О. С., Степура Л. Г.* та ін. Геохімічна діяльність мікроорганізмів та її прикладні аспекти. – К.: Наукова думка, 2008. – 528 с.
5. *Dadrasnia A., Usman M. M., Lim K. T.* et al. Microbial aspects in wastewater treatment – a technical review // *Environmental Pollution and Protection*. – 2017. – Vol. 2, N 2. – P. 75–84.
6. *Goddeka S., Delaideb B. P. L., Joyce A.* et al. Nutrient mineralization and organic matter reduction performance of RASbased sludge in sequential UASB-EGSB reactors // *Aquacultural Engineering*. – 2018. – Vol. 83. – P. 10–19.

7. *Gustavsson D. J. I., Syd V. A.* Biological sludge liquor treatment at municipal wastewater treatment plants – a review // *VATTEN.* – 2010. – Vol. 66. – P. 179–192.
8. *Huang Y., Xiao L., Li F. et al.* Microbial degradation of pesticide residues and an emphasis on the degradation of cypermethrin and 3-phenoxy benzoic acid: a review // *Molecules.* – 2018. – Vol. 23. – 23 p.
9. *Joutey N. T., Bahafid W., Sayel H. et al.* Biodegradation: involved microorganisms and genetically engineered microorganisms. – 2013. [Electronic Resource]. Mode of Access: <http://dx.doi.org/10.5772/56194>.
10. *Khan F. I., Ghoshal A. K.* Removal of volatile organic compounds from polluted air // *Journal of Loss Prevention in the Process Industries.* – 2000. – Vol. 13. – P. 527–545.
11. *Kriklavova L., Lederer T.* A review study of nanofiber technology for wastewater treatment // *NANOCON.* – 2011. – Vol. 9. – 6 p.
12. *Langwaldt J. H., Puhakka J. A.* On-site biological remediation of contaminated groundwater: a review // *Environmental Pollution.* – 2000. – Vol. 107. – P. 187–197.
13. *Oakley S., von Sperling M., Verbyla M.* Anaerobic sludge blanket reactors // *Global water pathogens project* / Ed. by J. B. Rose, B. Jiménez-Cisneros. – 2017. [Electronic Resource]. Mode of Access: <http://www.waterpathogens.org>.
14. *Ratnakar A., Shankar S.* An overview of biodegradation of organic pollutants // *International Journal of Scientific and Innovative Research.* – 2016. – Vol. 4, N 1. – P. 73–91.

Контрольні питання

1. Назвіть природні полімери, що руйнують мікроорганізми. Які речовини є кінцевими метаболітами? Які ферменти каталізують ці процеси?
2. У яких метаболічних шляхах розщеплюються ароматичні сполуки?
3. Які методи очищення стічних вод Ви знаєте?
4. У яких очисних спорудах відбувається аеробне очищення стічних вод?
5. Що таке активний мул? Вкажіть його технологічні переваги та недоліки.
6. Як можна очистити ґрунти і підземні води від ксенобіотиків за допомогою мікроорганізмів?

3. ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ

Практичне заняття 1

Утворення та розкладання нафти мікроорганізмами.

Мікробне окиснення метану до вуглекислого газу

Мета: ознайомлення студентів із роллю мікроорганізмів в утворенні та розкладанні нафти, в окисненні метану до вуглекислоти.

Завдання:

1. Описати механізми окиснення вуглеводнів нафти мікроорганізмами.
2. З'ясувати вплив абіотичних чинників на окиснення нафти і її компонентів.
3. Порівняти ступінь деградації компонентів нафти природними та генетично модифікованими штамами мікроорганізмів.
4. Ознайомитись із різноманітністю ферментних шляхів окиснення вуглеводнів нафти.
5. Порівняти ефективність біодеградації вуглеводнів нафти суспензійними та іммобілізованими клітинами мікроорганізмів, окремими видами та консорціями.
6. Ознайомитися з методами біоремедіації нафтових розливів у водному та ґрунтовому середовищах.
7. Описати властивості носіїв для іммобілізації клітин бактерій і дріжджів, які використовують у біоремедіації середовища в разі нафтового забруднення.

Рекомендована література

1. *Al-Hawash A. B., Draghc M. A., Li S. et al.* Principles of microbial degradation of petroleum hydrocarbons in the environment // *Egyptian Journal of Aquatic Research*. – 2018. – Vol. 44. – P. 71–76.
2. *Das N., Chandran P.* Microbial degradation of petroleum hydrocarbon contaminants: an overview // *Biotechnology Research International*. – 2011. – ID 941810. – 13 p.
3. *Dzionek A., Wojcieszynska D., Guzik U.* Natural carriers in bioremediation: a review // *Electronic Journal of Biotechnology*. – 2016. – Vol. 23. – P. 28–36.
4. *Karlapudi A. P., Venkateswarulu T. C., Tammineedi J. et al.* Role of biosurfactants in bioremediation of oil pollution-a review // *Petroleum*. – 2018. – Vol. 4. – P. 241–249.
5. *Olajire A. A., Essien J. P.* Aerobic degradation of petroleum components by microbial consortia // *Journal of Petroleum & Environmental Biotechnology*. – 2014. – Vol. 5, N 5. – 22 p.

6. *Tanzadeh J., Ghasemi M. F.* The use of microorganisms in bioremediation of oil spills in sea waters and shoreline // *Res J. Chem. Environ. Sci.* – 2016. – Vol. 4. – P. 71–77.
7. *Wegeberg S., Johnsen A., Aamand J. et al.* Arctic marine potential of microbial oil degradation. In: *Scientific Report from DCE.* – 2018. [Electronic Resource]. Mode of Access: <https://dce2.au.dk/pub/SR271.pdf>.

Практичне заняття 2

Колообіг нітрогену у прісних водоймах і Світовому океані.

Антропогенний вплив на колообіг нітрогену

Мета: ознайомлення студентів із подібностями та відмінностями в колообігу сполук нітрогену у прісних водоймах і Світовому океані; проаналізувати наслідки антропогенного впливу на колообіг нітрогену.

Завдання:

1. З'ясувати роль нітрогену у прісноводних і морських екосистемах.
2. Проаналізувати вплив чинників, які впливають на колообіг нітрогену у водоймах.
3. Змоделювати вплив абіотичних чинників на глобальний цикл нітрогену у водних екосистемах.
4. Порівняти якісний і кількісний склад мікроорганізмів, залучених у колообіг сполук нітрогену, у прісних водоймах і Світовому океані.
5. Проаналізувати наслідки впливу нітрогеновмісних гербіцидів і пестицидів на зміни у процесах колообігу нітрогену у водоймах.

Рекомендована література

1. *DeBusk W. F.* Nitrogen cycling in wetlands // <http://ufdcimages.uflib.ufl.edu/IR/00/00/31/21/00001/SS30300.pdf>.
2. *Durand P., Breuer L., Johnes P. J. et al.* Nitrogen processes in aquatic ecosystems. In: *The European Nitrogen Assessment.* – Cambridge University Press, 2011. – P. 126–146.
3. *Galloway J. N., Dentener F. J., Capone D. G.* Nitrogen cycles: past, present, and future // *Biogeochemistry.* – 2004. – Vol. 70. – P. 153–226.
4. *Grizzetti B., Passy P., Billen G. et al.* The role of water nitrogen retention in integrated nutrient management: assessment in a large basin using different modelling approaches // *Environ. Res. Lett.* – 2015. – Vol. 10. – 11 p.
5. *Gruber N., Galloway J. N.* An Earth-system perspective of the global nitrogen cycle // *Nature.* – 2008. – Vol. 451. – P. 293–296.

6. *Loken L. C., Small G. E., Finlay J. C. et al.* Nitrogen cycling in a freshwater estuary // *Biogeochemistry*. – 2016. – Vol. 127. – P. 199–216.
7. *Viers J. H., Liptzin D., Rosenstock T. S. et al.* Nitrogen sources and loading to groundwater. – California State Water Resources Control Board, 2012. – 343 p.
8. *Watanabe M. D. B., Ortega E.* Ecosystem services and biogeochemical cycles on a global scale: valuation of water, carbon and nitrogen processes // *Environmental Science & Policy*. – 2011. – Vol. 14. – P. 594–604.

Практичне заняття 3

Мікробіологічні перетворення ртуті

Мета: ознайомлення студентів із роллю мікроорганізмів у перетворенні сполук ртуті у водному та ґрунтовому середовищах.

Завдання:

1. З'ясувати роль метилювання ртуті в мобільності сполук ртуті у природі.
2. Ознайомитися з механізмами метилювання ртуті мікроорганізмами.
3. Проаналізувати вплив фізичних і хімічних чинників на деградацію сполук ртуті мікроорганізмами.
4. З'ясувати роль мікроорганізмів у відновлювальній ланці циклу ртуті. Ртутірезистентні мікроорганізми.
5. Порівняти інтенсивність хімічного, фізичного та біологічного перетворення сполук ртуті у водному і ґрунтовому середовищах.

Рекомендована література:

1. *Batrakova N., Travnikov O., Rozovskaya O.* Chemical and physical transformations of mercury in the ocean: a review // *Ocean Sci.* – 2014. – Vol. 10. – P. 1047–1063.
2. *Fitzgerald W. F., Lamborg C. H.* Geochemistry of mercury in the environment // *Earth Systems and Environmental Sciences*. – 2014. – Vol. 11. – P. 91–129.
3. *Lefebvre D. D., Kelly D., Budd K.* Biotransformation of Hg (II) by cyanobacteria // *Applied and Environmental Microbiology*. – 2007. – Vol. 73, N 1. – P. 243–249.
4. *Lin C.-C., Yee N., Barkay T.* Microbial transformations in the mercury cycle. In: *Environmental Chemistry and Toxicology of*

Mercury. First Edition. – John Wiley & Sons, Inc. Published, 2012. – P. 155–191.

5. YanBin L. I., Yong C. A. I. Progress in the study of mercury methylation and demethylation in aquatic environments // Chin. Sci. Bull. – 2013. – Vol. 58, N 2. – P. 177–185.
6. Yu R.-Q., Reinfelder J. R., Hines M. E. et al. Mercury methylation by the methanogen *Methanospirillum hungatei* // Applied and Environmental Microbiology. – 2013. – Vol. 79, N 20. – P. 6325–6330.

Практичне заняття 4

Утворення та розкладання залізних і марганцевих руд

Мета: проаналізувати роль абіотичних і біотичних чинників в утворенні та розкладанні залізних і марганцевих руд.

Завдання:

1. Ознайомитись із класифікацією залізних і марганцевих руд.
2. Проаналізувати вплив вулканічної активності на формування залізних і марганцевих руд.
3. З'ясувати причини накопичення великих запасів заліза та марганцю в морських осадових породах.
4. Порівняти роль прокаріотів й еукаріотів у розкладанні залізних і марганцевих руд.
5. Проаналізувати роль хемолітотрофних і фотолітотрофних бактерій у циклах феруму та мангану в природі.

Рекомендована література:

1. Cannon W. F., Kimball B. E., Corathers L. A. Manganese / Critical Mineral Resources of the United States – Economic and Environmental Geology and Prospects for Future Supply. – 2017. – 40 p.
2. Haider S. K., Azimi G., Duan L. et al. Enhancing properties of iron and manganese ores as oxygen carriers for chemical looping processes by dry impregnation // Applied Energy. – 2016. – Vol. 163. – P. 41–50.
3. Johnson J. E., Webb S. M., Ma C. et al. Manganese mineralogy and diagenesis in the sedimentary rock record // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 2016. – Vol. 173. – P. 210–231.
4. Gadd G. M. Metals, minerals and microbes: geomicrobiology and bioremediation // Microbiology. – 2010. – Vol. 156. – P. 609–643.
5. Ovalle J. T., LaCruz N. L., Reich M. et al. Formation of massive iron deposits linked to explosive volcanic eruptions // Scientific Reports. – 2018. – Vol. 8. – DOI:10.1038/s41598-018-33206-3.

6. *Ramanaidou E. R., Wells M. A. Sedimentary hosted iron ores // Treatise on Geochemistry. – Second Edition. – Elsevier Ltd, 2017. [Electronic Resource]. Mode of Access: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-095975-7.01115-3>.*

Практичне заняття 5

Біоплівка – головний чинник мікробної корозії

Мета: сформувати у студентів систему знань щодо участі мікроорганізмів циклу сульфуру та феруму у складі біоплівки в розвитку корозії надземних і підземних металевих конструкцій.

Завдання:

1. Сформувати уявлення про біокорозійну активність ґрунтів.
2. Ознайомитися з методичними підходами щодо вивчення мікробної корозії металевих конструкцій.
3. Розглянути механізми аеробної й анаеробної корозії металів.
4. Ознайомитись із процесом формування біоплівки на поверхні підземних споруд за участю бактерій циклу сульфуру та феруму.
5. Порівняти ефективність використання різних методів пасивного й активного захисту підземних споруд від корозії.
6. Проаналізувати доцільність використання різних інгібіторів корозії для захисту надземних і підземних металевих конструкцій.
7. Ознайомитися з етапами формування біоплівки на поверхні захисних покриттів.

Рекомендована література:

1. *Андреюк К. І., Козлова І. П., Коптєва Ж. П.* та ін. Мікробна корозія підземних споруд. – К.: Наукова думка, 2005. – 259 с.
2. *Борецька М. О., Козлова І. П.* Біоплівка на поверхні металу як фактор мікробної корозії // Мікробіол. журн. – 2010. – Т. 72, № 3. – С. 57–65.
3. *Козлова І. П., Радченко О. С., Степура Л. Г.* та ін. Геохімічна діяльність мікроорганізмів та її прикладні аспекти. – К.: Наукова думка, 2008. – 528 с.
4. *Крижанівський Є. І., Полутренко М. С.* Підвищення ефективності пасивного захисту підземних споруд від корозії // Наук. вісн. ІФНТУНГ. – 2012. – № 1 (31). – 5 с.
5. *Beech W. B., Sunner J.* Biocorrosion: towards understanding interactions between biofilms and metals // Current Opinion in Biotechnology. – 2004. – Vol. 15. – P. 181–186.

6. *Chinedu I.* Mechanism of microbial corrosion: a review // Journal of Chemical, Biological and Physical Sciences. – 2016. – Vol. 6, N 4. – P. 1173–1178.
7. *Mansour R., Elshafei A. M.* Role of microorganisms in corrosion induction and prevention // British Biotechnology Journal. – 2016. – Vol. 14, N 3. – P. 1–11.
8. *Valencia-Cantero E., Pena-Cabria J. J.* Effects of iron-reducing bacteria on carbon steel corrosion induced by thermophilic sulfate-reducing consortia // J. Microbiol. Biotechnol. – 2014. – Vol. 24, N 2. – P. 280–286.

Практичне заняття 6

Методи захисту виробів і матеріалів від мікроорганізмів-деструкторів

Мета: ознайомлення з різноманітністю й доцільністю використання різних методів захисту виробів і матеріалів від біодеструкторів залежно від умов експлуатації.

Завдання:

1. Ознайомитися з механізмами адгезії мікроорганізмів до поверхонь виробів і матеріалів.
2. З'ясувати причини стійкості/чутливості полімерних матеріалів до біодеструкторів.
3. Проаналізувати доцільність використання біоцидів різної хімічної природи для захисту виробів і матеріалів від мікроорганізмів-деструкторів.
4. Порівняти ефективність використання покриття різної хімічної природи для захисту різного типу поверхонь від біодеструкторів.
5. Спрогнозувати вплив модифікації дерев'яних і металевих конструкцій на процес біологічного руйнування.

Рекомендована література:

1. *Савельєв Ю. В., Марковська Л. А., Робота Л. П.* та ін. Поліуретанові функціональні покриття для захисту різного типу поверхонь від дії агресивних факторів довкілля // Наука та інновації. – 2014. – Т. 10, № 3. – С. 28–34.
2. *Цанко Ю. В., Гузій С. Г.* Дослідження впливу модифікування деревини на процес біологічного руйнування // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка. – 2013. – Вип. 50. – С. 48–53.
3. *Boryo D. E. A.* The effect of microbes on textile material // The International Journal of Engineering and Science. – 2013. – Vol. 2, N 8. – P. 9–13.

4. *Katsikogianni M., Missirlis Y. F.* Concise review of mechanisms of bacterial adhesion to biomaterials and of techniques used in estimating bacteria–material interactions // *European Cells and Materials*. – 2004. – Vol. 8. – P. 37–57.
5. *Kryvomaz T., Perebynos A.* The protection of wooden constructing materials and structural elements of buildings against biological damage // *Lviv Polytechnic National University Institutional Repository*. – 2017. – Vol. 2, N 1. – P. 7–10.
6. *Pirog T. P., Konon A. D., Savenko I. V.* Microbial surfactants in environmental technologies // *Biotechnologia Acta*. – 2015. – Vol. 8, N 4. – P. 21–39.
7. *Savelyev Y.* Polymer materials against the microorganism's attack. In: *Science against microbial pathogens: communicating current research and technological advances* / ed. by A. Méndez-Vila. – Badajoz: Formatex, 2011. – Vol. 1. – P. 122–134.

Практичне заняття 7

Окиснення та відновлення металів мікроорганізмами

Мета: проаналізувати роль мікроорганізмів у окисненні та відновленні металів, порівняти ефективність використання біологічних і хімічних методів у вилуговуванні металів.

Завдання:

1. Ознайомитися з різноманітністю механізмів вилуговування металів мікроорганізмами.
2. Порівняти інтенсивність відновлення металів і радіонуклідів бактеріями та дріжджами.
3. Проаналізувати роль бактерій циклу сульфуру у відновленні й окисненні металів із їхніх руд.
4. З'ясувати переваги використання мікроорганізмів у процесах вилуговування металів порівняно з хімічними способами.
5. Ознайомитися з механізмами пристосування метало-окиснювальних мікроорганізмів, які використовують для відновлення металів із мінералів.

Рекомендована література:

1. *Fatemi F., Rashidi A., Jahani S.* Isolation and identification of native sulfuroxidizing bacterium capable of uranium extraction // *Progress in Biological Sciences*. – 2015. – Vol. 5, N 2. – P. 207–221.
2. *Johnson D. B., Grail B. M., Hallberg K. B. et al.* A new direction for biomining: extraction of metals by reductive dissolution of oxidized ores // *Minerals*. – 2013. – Vol. 3. – P. 49–58.

3. *Lloyd J. R.* Microbial reduction of metals and radionuclides // *FEMS Microbiology Reviews.* – 2003. – Vol. 27. – P. 411–425.
4. *Mishra D., Kim D.-J., Ahn J.-G.* et al. Bioleaching: a microbial process of metal recovery // *Metals and Materials International.* – 2005. – Vol. 11, N 3. – P. 249–256.
5. *Rawlings D. E.* Characteristics and adaptability of iron- and sulfur-oxidizing microorganisms used for the recovery of metals from minerals and their concentrates // *Microbial Cell Factories.* – 2005. – Vol. 4. – 15 p.
6. *Rawlings D. E., Johnson D. B.* The microbiology of biomining: development and optimization of mineral-oxidizing microbial consortia // *Microbiology.* – 2007. – Vol. 153. – P. 315–324.
7. *Satarupa R., Madhumita R.* Bioleaching of heavy metals by sulfur oxidizing bacteria: a review // *International Research Journal of Environment Sciences.* – 2015. – Vol. 4, N 9. – P. 75–79.

Практичне заняття 8

Біоремедіація ґрунтів і ґрунтових вод

Мета: ознайомлення студентів із різноманітністю методів та підходів до біоремедіації ґрунтів і ґрунтових вод.

Завдання:

- 1 Ознайомитись із заходами запобігання поширенню та заходами ліквідації вуглеводневих забруднень ґрунту.
- 2 Проаналізувати якісний і кількісний склад мікроорганізмів, виділених із ґрунтів, забруднених нафтопродуктами.
- 3 Ознайомитися з методами біоремедіації ґрунтових вод від нітратів.
- 4 Порівняти різноманітність і ефективність біологічних та фізико-хімічних методів ремедіації ґрунтів, забруднених йонами важких металів.
- 5 Ознайомитися з різноманітністю технологій біоремедіації ґрунтів і ґрунтових вод.
- 6 Встановити вплив абіотичних чинників на процеси біоремедіації ґрунтів і ґрунтових вод.

Рекомендована література:

1. *Бодачівська Л. Ю.* Запобігання розповсюдженню та ліквідація вуглеводневих забруднень // *Екологія довкілля та безпека життєдіяльності.* – 2008. – № 5. – С. 55–58.
2. *Семака О.* Комплексний підхід до очищення глибинних шарів ґрунту від нафтопродуктів // *Технічні науки та технології.* – 2016. – Т. 4, № 6. – С. 230–236.

3. Abatenh E., Gizaw B., Tsegaye Z. et al. The role of microorganisms in bioremediation // Open. J. Environ. Biol. – 2017. – Vol. 2, N 1. – P. 38–46.
4. Melvani K., Pathmarajah S. Bioremediation of nitrates in groundwater. [Electronic Resource]. Mode of Access: https://www.researchgate.net/publication/237020751_Bioremediation_of_nitrates_in_groundwater/download.
5. Milić J. S., Beškoski V. P., Ilić M. V. et al. Bioremediation of soil heavily contaminated with crude oil and its products: composition of the microbial consortium // J. Serb. Chem. Soc. – 2009. – Vol. 74, N 4. – P. 455–460.
6. Remediation technologies for soils and groundwater / ed. by A. Bhandari, R. Y. Surampalli, P. Champagne et al. – American Society of Civil Engineers, 2007. – 456 p.

4. САМОСТІЙНА РОБОТА СТУДЕНТІВ

№	Назва теми, література	Кількість годин
1.	Класифікація ґрунтових вод. Стратифікація водойм	6
2.	Перетворення органічного карбону у водоймах	2
3.	Колообіг нітрогену у Світовому океані	2
4.	Асиміляційне і дисиміляційне відновлення сульфатів	4
5.	Мінералізація органічного фосфору	2
6.	Окиснення відновлених форм феруму анаеробними хемоліто-трофними і фотолітотрофними бактеріями	4
7.	Акумуляція та осадження арсену мікроорганізмами	4
8.	Відновлення двовалентного меркурію до нетоксичного елементного стану мікроорганізмами	2
9.	Утворення та деструкція сульфідних руд	4
10.	Магнетобактерії	4
11.	Перетворення карбонатів за участю мікроорганізмів	4
12.	Роль сіркоокиснювальних і сульфатвідновлювальних бактерій у створенні екстремальних корозійних ситуацій	4
13.	Мікробіологічні аспекти активного та пасивного захисту підземних споруд від мікробної корозії	4

№	Назва теми, література	Кількість годин
14.	Пошкодження деревини, натуральних і синтетичних волокон, натуральної шкіри, полімерних матеріалів, лакофарбових матеріалів та покриття, будівельних матеріалів і пального мікроскопічними грибами	10
15.	Біосорбція металів	4
16.	Збагачення руд	4
17.	Біологічні методи очищення стічних вод	4
Разом		72

5. КРИТЕРІЙ УСПІШНОСТІ Й МЕТОДИ КОНТРОЛЮ

Знання із навчальної дисципліни оцінюють за модульно-рейтинговою системою. Для оцінювання знань використовують усний та письмовий контроль.

Форми контролю: поточний контроль, модульний контроль, підсумковий контроль.

Розподіл балів, які присвоюються студентам

Оцінювання знань студента здійснюється за 100-бальною шкалою.

Максимальна кількість балів під час оцінювання знань студентів з дисципліни, яка завершується екзаменом, становить: за поточну успішність – 50 балів, на іспиті – 50 балів.

Для оформлення документів за екзаменаційну сесію використовують таблицю відповідності оцінювання знань студентів за різними системами.

Поточний контроль:

Дисципліна має два змістових модулі, які охоплюють матеріал усіх тем. За кожен змістовий модуль студенти мають змогу отримати 0–25 балів.

Змістовий модуль 1:

- модульна контрольна робота, яка передбачає розв’язання 10 тестових завдань (5 балів – по 0,5 бала за кожне правильно виконане завдання), та ґрунтовний і логічний опис 4 запитань із тем, які були викладені на лекціях чи передбачені для самостійного опрацювання (8 балів – по 2 бали за кожне правильно виконане завдання); всього – 13 балів;

- робота студента на практичних заняттях – 12 балів (до 3-х балів за роботу на кожному практичному занятті).

Змістовий модуль 2:

- модульна контрольна робота, яка передбачає розв’язання 10 тестових завдань (5 балів – по 0,5 бала за кожне правильно виконане завдання), та ґрунтовний і логічний опис 4 запитань із тем, які були викладені на лекціях чи передбачені для самостійного опрацювання (8 балів – по 2 бали за кожне правильно виконане завдання); всього – 13 балів;
- робота студента на практичних заняттях – 12 балів (до 3-х балів за роботу на кожному практичному занятті).

Підсумковий контроль:

Підсумковий контроль: іспит – тестовий, усний.

Іспит проводиться за розкладом, з яким студентів ознайомлюють за місяць до початку екзаменаційної сесії. Іспит проводиться за єдиними білетами, складеними лектором і затвердженими на засіданні кафедри. Кожен білет має свій номер.

Склавши комбінований іспит, студенти мають змогу одержати 50 балів. Його проводять у тестовій і усній формах, оцінюючи:

- розв’язання 20 тестових завдань (письмова частина) – у 20 балів (по 1 балу за кожне правильно виконане завдання);
- ґрунтовне та логічне розкриття 3 запитань із тем, які були викладені на лекціях, розглянуті на практичних заняттях чи передбачені для самостійного опрацювання – у 30 балів (по 10 балів за кожне правильно виконане завдання).

Порівнева діагностика успішності навчання проводиться з урахуванням критерію успішності, здобутого студентом після виконання усіх завдань, передбачених програмою курсу:

- Початковий (Е) – студент за допомогою викладача, опорного конспекту чи літератури фрагментарно характеризує окремі поняття й об’єкти.
- Середній (D) – студент самостійно, але не повно відтворює навчальний матеріал; наводить прості приклади.
- Достатній (C–B) – студент вільно відповідає на поставлені запитання; за допомогою викладача встановлює причинно-наслідкові зв’язки; робить чітко сформульовані висновки.
- Високий (A) – студент виявляє міцні та глибокі знання матеріалу даного курсу; може вести дискусію з конкретного питання з використанням міждисциплінарних зв’язків;

самостійно оцінює та характеризує явища і процеси, виявляє особисту позицію щодо них; уміє розв'язувати проблемні завдання та використовувати здобуті знання у практичних цілях.

Шкала оцінювання: вузу, національна та ECTS

Оцінка ECTS	Оцінка в балах	За національною шкалою	
		Оцінка	
A	90–100	5	Відмінно
B	81–89	4	Добре
C	71–80		
D	61–70	3	Задовільно
E	51–60		
FX	21–50	2	Незадовільно
F	0–20		

ДЛЯ НОТАТОК

ДЛЯ НОТАТОК