

ЗАСТОСУВАННЯ БАКТЕРІЙ РОДУ *PSEUDOMONAS*, ЯК БІОЛОГІЧНОГО АГЕНТУ В БІОРЕМЕДІАЦІЇ ҐРУНТІВ ВІД ПРОМИСЛОВИХ ВИДІВ ЗАБРУДНЕННЯ

Бондар А.В, Бондаренко А.І, Музичко Р.В.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, bondarenko.andriy@iit.kpi.ua

Abstract

This article is devoted to the methods of bioremediation of soils from heavy metal contamination, oil refinery waste, and substances with antibiotic effects. The article presents the methods of soil bioremediation using prokaryotic microorganisms of the genus Pseudomonas as biological agents for the decomposition and transformation of polluting organic and inorganic substances.

Keywords: *bioremediation, soil pollution, pollutants, bacteria, Pseudomonas.*

Вступ. Наразі в Україні широко поширені та розвинуті металургійна, нафтопереробна та фармацевтична галузі. Робота та розвиток всіх перерахованих потужностей супроводжується надходженням в навколишнє середовище забруднюючих речовин, таких як важкі метали та складні вуглеводневі сполуки.

Також варто зазначити, що воєнні дії на території України спричинили значне забруднення ґрунтів як і металевими залишками, так і значною кількістю нафтопродуктів.

Всі перераховані вище чинники забруднення впливають на придатність ґрунтів до використання в сільськогосподарських цілях, надходження токсичних речовин в рослини та в наступні ланки харчового ланцюга.

Тому, метою нашої роботи був пошук методів біоремедіації ґрунтів, що забруднені важкими металами та складними органічними сполуками, задля їх очищення та зменшення впливу даних чинників забруднення на сільське господарство та на ґрунтові води України. В цілях прискорення очищення ґрунтів від промислових забруднень задля збільшення потужностей виробництва сільськогосподарської продукції ефективним рішенням є застосування методів біоремедіації з використанням бактерій роду *Pseudomonas*.

Методи та матеріали. Було проведено аналітичний огляд різних методів біоремедіації ґрунтів, що забруднені важкими металами та складними вуглеводневими сполуками внаслідок техногенної діяльності та воєнних дій.

Результати та обговорення. Для ефективного видалення та перетворення органічних та неорганічних токсичних речовин, що містяться в навколишньому середовищі, застосовують методи біоремедіації, що включають різноманітні механізми мікробного захисту, такі як біоаккумуляція, біотрансформація, випаровування, іммобілізація та деградація. Біоремедіація, що ґрунтується на життєдіяльності мікроорганізмів, має численні переваги порівняно з фіторемедіацією.

Біоремедіація ґрунту передбачає вилучення важких металів та складних вуглеводневих сполук з використанням мікроорганізмів з можливим одночасним використанням еукаріотичних та прокаріотичних організмів.

Можливість використання бактерій роду *Pseudomonas* в процесах біоремедіації ґрунтів базується на морфологічних особливостях та специфічному

геномі даних мікроорганізмів. Бактерії роду *Pseudomonas* можуть бути використані для різноманітних методів біоремедіації, які включають очищення від важких металів, нафтопродуктів та антибіотичних речовин [1].

Основними причинами використання даного роду бактерій як біологічного агенту в біоремедіації є здатність бактерій роду *Pseudomonas* до швидкого розкладання складних органічних речовин до простих, придатних до поглинання рослинними організмами. Також, деякі види бактерій роду *Pseudomonas* мають здатність до хелатування важких металів в субстраті, що також дає змогу ефективно використовувати їх в цілях очищення ґрунтів від забруднення важкими металами.

Біоремедіація ґрунтів від нафтопродуктів базується на унікальних метаболічних властивостях, які дають їм змогу ефективно розкладати вуглеводневі сполуки. Механізми дії бактерій роду *Pseudomonas* включають в себе синтез низки специфічних ферментів, які каталізують процеси розкладання вуглеводнів [1]. До таких ферментів відносяться монооксигенази та діоксигенази, які виробляються *Pseudomonas aeruginosa* та *Pseudomonas putida*, що здатні розкладати поліциклічні ароматичні вуглеводні (бензол, ксилол) [1,2]. Також, *Pseudomonas putida* KT2440 виявила високу активність у розкладанні нафти в ґрунті, знижуючи вміст вуглеводнів до безпечних рівнів у короткі терміни [2]. *Pseudomonas fluorescens* виробляє фермент толуолмонооксигеназу, яка каталізує гідроксилування толуолу [3]. Також деякі види *Pseudomonas spp.* можуть використовуватися для біоремедіації ґрунтів навіть у місцях, де кліматичні умови не сприяють біологічній деградації нафтопродуктів [4].

Біоремедіація ґрунту від антибіотиків базується на здатності *Pseudomonas* змінювати молекулярну структуру антибіотиків шляхом їх руйнування або модифікації, що приводить втрати до їхньої активності і в кінцевому підсумку робить їх нешкідливими [5].

Рід бактерій *Pseudomonas* відомий своєю здатністю розкладати різні види антибіотиків, зокрема *Pseudomonas putida* здатна до деградації антибіотиків, таких як цефалоспорини, пеніциліни та їхні похідні [6]. У випадку антибіотика сульфаметоксазолу *Pseudomonas putida* демонструвала найвищу ефективність деградації, що досягала $29 \pm 2\%$. Здатність до деградації сульфаметоксазолу також спостерігалася у *Pseudomonas aeruginosa* [7]. Пеніциліни, в свою чергу, легко розкладаються за участю *Pseudomonas syringae*, а *Pseudomonas putida*, можуть розкладати цефалоспорин та цефалексин з утворенням продукту 2-гідрокси-3-фенілпіразину. Ці види виявлені в активному мулі [8].

Біоремедіація ґрунтів від важких металів базується на здатності бактерій роду *Pseudomonas* до біосорбції, хелатування, утворення біоплівки та секвестрування забруднюючих речовин. Завдяки здатності до утворення біоплівки бактерії роду *Pseudomonas* здатні набувати стійкості до іонів важких металів і, окрім цього, біоплівка, утворена цими бактеріями, може поглинати важкі метали. Стійкість до свинцю, цинку та міді та здатність до їх поглинання було виявлено в біоплівці *Pseudomonas aeruginosa*.

Здатність до хелатування металів бактеріями роду *Pseudomonas* обумовлена численними специфічними білками та метаболічними продуктами, що дає змогу зв'язувати іони металів в комплексні органічні сполуки. Так, *Pseudomonas syringae* утворюють білки периплазматичного простору CopA та CopB і білки зовнішньої мембрани клітини CopC, що беруть участь у зв'язуванні іонів міді, а також важливі для взаємодії клітин в колоніях. Також, бактерії роду *Pseudomonas* здатні накопичувати внутрішньоклітинно іони важких металів за допомогою низькомолекулярних білків, як у випадку з кадмій-толерантними *Pseudomonas putida*, що здатні поглинати мідь, кадмій та цинк та накопичувати всередині своїх клітин [9].

Висновки. Проведено огляд досліджень щодо використання бактерій роду *Pseudomonas* для біоремедіації ґрунтів, забруднених важкими металами та складними вуглеводнями. Зі зростанням обсягів антропогенного впливу необхідним стає пошук рішень щодо очищення ґрунтів від металів, вуглеводнів та інших забруднюючих чинників. Біоремедіація бактеріями роду *Pseudomonas* є економічно вигідним та екологічно безпечним способом очищення ґрунтів, що націлені як на органічні забруднюючі речовини, так і на неорганічні.

Список використаної літератури:

1. Augustine S., Yakoob R., B V P. Bacterial Assisted Bioremediation of Crude Oil Contaminated Environments Using *Pseudomonas* Spp. Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences. 2020. Vol. 10., ISSN 2277-1808
2. Nikel, P. I., de Lorenzo, V. (2018). *Pseudomonas putida* as a functional chassis for industrial biocatalysis: From native biochemistry to trans-metabolism. Metabolic Engineering, 50, 142-155. DOI: [10.1016/j.ymben.2018.05.005](https://doi.org/10.1016/j.ymben.2018.05.005)
3. *Pseudomonas fluorescens*: A Bioaugmentation Strategy for Oil-Contaminated and Nutrient-Poor Soil / Eduardo Jahir Gutiérrez et al. NCBI. 2020. DOI: [10.1016/j.ymben.2018.05.005](https://doi.org/10.1016/j.ymben.2018.05.005)
4. Aislabie J., Saul D. J., Foght J. M. Bioremediation of hydrocarbon-contaminated polar soils. Extremophiles. 2006. Vol. 10, no. 3. P. 171–179. DOI: [10.1007/s00792-005-0498-4](https://doi.org/10.1007/s00792-005-0498-4)
5. Molaei, A., Lakzian, A., Haghnia, G., Astarai, A., Rasouli-Sadaghiani, M., Ceccherini, M. T., et al. Assessment of some cultural experimental methods to study the effects of antibiotics on microbial activities in a soil: an incubation study. 2017. DOI: [10.1371/journal.pone.0180663](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180663)
6. Mulla, S. I., Hu, A., Sun, Q., Li, J., Suanon, F., Ashfaq, M., et al. Biodegradation of Sulfamethoxazole in Bacteria from Three Different Origins. J. Environ. Manage, 2018. № 206. pp. 93 – 102. DOI: [10.1016/j.jenvman.2017.10.029](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.10.029)
7. Reis, Ana C.; Kolvenbach, Boris A.; Nunes, Olga C.; Corvini, Philippe F.X. Biodegradation of antibiotics: The new resistance determinants – part II. New Biotechnology, 2020. pp. 13–27. DOI: [10.1016/j.nbt.2019.08.003](https://doi.org/10.1016/j.nbt.2019.08.003)
8. Xuanjiang Yang , Miao Li, Panpan Guo, Hualong Li, Zelin Hu and Qiang Zhang, Isolation, Screening, and Characterization of Antibiotic-Degrading Bacteria for Penicillin VPotassium (PVK) from Soil on a Pig Farm., 2019. DOI: [10.3390/ijerph16122166](https://doi.org/10.3390/ijerph16122166)
9. Pande V, Pandey SC, Sati D, Bhatt P, Samant M. Microbial Interventions in Bioremediation of Heavy Metal Contaminants in Agroecosystem. Front Microbiol. 2022 May 6;13:824084. DOI: [10.3389/fmicb.2022.824084](https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.824084)