

ФОРМУВАННЯ УМОВ СЕРЕДОВИЩА ДЛЯ ПРИСКОРЕННЯ БІОДЕГРАДАЦІЇ НАФТОПРОДУКТІВ

О. Л. МАТВЄЄВА, О. Р. АЛІЄВА

Національний авіаційний університет, м. Київ

Механічні та фізико-хімічні підходи до очищення довкілля від нафтового забруднення є занадто дорогими у застосуванні та недостатньо ефективними. Процес біологічного очищення – біоремедіація має великий потенціал і конкурентні переваги у порівнянні з іншими методами через екологічну безпечність, економічну ефективність і високий ступінь розкладання забруднення. Проте ефективність біоремедіації, як правило, обмежується абіотичними факторами. Висвітлюється роль мікроорганізмів-нафтодеструкторів у біологічному очищенні нафтового забруднення, а також розглядаються підходи до підвищення ефективності біоремедіації через формування відповідних умов середовища біодеградації.

Ключові слова: біодеградація, нафтопродукти, мікроорганізми-нафтодеструктори, вуглеводні, біоремедіація.

Нафтопродукти сьогодні є основним джерелом енергії та сировиною для виробництва багатьох видів товарів, що споживаються населенням у повсякденному житті. Це зумовлює факт існування нафтового забруднення навколишнього середовища, викликаного як аварійними розливами, так і технологічними процесами розвідки, видобутку, переробки, транспортування і зберігання нафти та її похідних. Потрапляння вуглеводнів нафти в навколишнє середовище у результаті діяльності людини є основною причиною забруднення води і ґрунту цими поллютантами [20]. Забруднення ґрунту вуглеводнями

спричиняє значні збитки для місцевих екосистем, адже накопичення цих забруднювальних речовин у тканинах тварин і рослин може призвести до смерті або до появи мутацій [1]. Відомі технології, які зазвичай використовуються для очищення нафтового забруднення, охоплюють механічні, хімічні та біологічні засоби і пристрої, що зазвичай доповнюють один одного залежно від конкретних умов і обставин. На жаль, вони мають обмежені технологічні можливості і низьку продуктивність очищення нафтозабрудненого середовища і не забезпечують оперативну за часом і ефективну за результатом обробку забруднення.

Процес біологічного очищення визначається як використання мікроорганізмів для детоксикації або видалення забруднюючих речовин внаслідок застосування їх різних метаболічних можливостей. Цей метод активно застосовується для видалення і деградації багатьох забруднювачів навколишнього середовища, у тому числі продуктів нафтопереробки [29]. Крім того, технологія біологічного очищення, як вважається, є неінвазивною і відносно рентабельною [3]. Біологічне розкладання природними популяціями мікроорганізмів являє собою один із основних механізмів, за допомогою яких нафтові та інші вуглеводневі забруднювачі можуть бути видалені з навколишнього середовища [35], вартість таких біотехнологій значно дешевша, ніж інші технології відновлення нафтозабрудненого середовища [27]. Однак, біоремедіація має свої недоліки, серед яких необхідність контролю великої кількості зовнішніх факторів і відносна тривалість процесу очищення нафтового забруднення. У статті розглянуті деякі підходи до вирішення зазначених проблем, зокрема питання формування сприятливих умов середовища для прискорення біодеградації нафтопродуктів.

Участь мікроорганізмів у процесі нафтодеструкції

У даний час відомо, що вуглеводні у навколишньому середовищі можуть розкладатись в основному бактеріями, водоростями, дріжджами і грибами [15, 16]. Незважаючи на те, що ці організми в наземних та водних екосистемах є

всюдисущими, кількість гетеротрофних мікроорганізмів, які можуть використовувати вуглеводні, дуже мінлива: від 6 % до 82 % ґрунтових грибів, від 0,13 % до 50 % ґрунтових бактерій, від 0,003 % до 100 % морських бактерій [44].

Бактеріями, що використовують газоподібні вуглеводні, зокрема, пропан, є представники родів *Corynebacterium*, *Mycobacterium*, *Nocardia*, *Rhodococcus*. Мікроорганізмами, які можуть використовувати бутан у якості єдиного джерела вуглецю і енергії, є *Arthrobacter*, *Brevibacterium*, *Pseudomonas* spp. [38].

Штамами, здатними використовувати поліциклічні ароматичні вуглеводні, є *Beijerenckia*, *Pseudomonas* spp. (*P. paucimobilis*, *P. fluorescens*, *P. putida*), *Alcaligenes denitrificans* WW1, *Mycobacterium* spp. (e.g. *M. flavescens*), *Rhodococcus* spp. (e.g. *R. rhodnii*), *Athrobacter* sp., *Aeromonas* sp., морські *Cyanobacteria*, *Streptomyces flavovirens*, *Synechococcus* sp. [42, 43].

Гриби родів *Penicillium* і *Polisporum* можуть рости на агаризованому живильному середовищі, що містить важкі фракції сирої нафти. *Penicillium* і *Mortierella* spp. можуть бути використані для перетворення високомолекулярних фракцій сирої нафти [45].

Найбільш важливими бактеріями у біодеградації вуглеводнів у ґрунтах і морській воді є *Achromobacter*, *Acinetobacter*, *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Flavobacterium*, *Nocardia*, *Pseudomonas* spp. і *Corynebacterium* sp. Серед виділених з морської води дріжджів та грибів, які розкладають вуглеводні, найбільш значимими є *Aureobasidium*, *Candida*, *Rhodotorula*, *Sporobolomyces* spp. Видами, які отримані з ґрунту, є *Trichoderma* і *Mortierella* spp. [2, 6, 16, 23, 36].

Бактерії виду *B. subtilis* виявилися кращими вуглеводневими деструкторами, ніж інші штами [30]. В іншому дослідженні штами були виділені із забрудненого нафтою ґрунту і ідентифіковані як *Pseudomonas pseudoalcaligenes*, *Bacillus firmus*, *Bacillus alvei*, *Penicillium funiculosum*, *Aspergillus sydowii* і *Rhizopus* sp. Вони розкладали 79 %, 80 %, 68 %, 86 %, 81 % і 67 % від загальної кількості нафтових вуглеводнів. Роди *Stenotrophomonas*,

Bacillus, *Brevibacillus*, *Nocardioides* і *Pseudomonas* були використані у різних комбінаціях, і ступінь деградації вуглеводнів дорівнював 67 % вже через 12 діб [10]. Деякі мікроорганізми можуть засвоювати лише обмежене число вуглеводневих субстратів, тому набір різних мікроорганізмів з усіма можливими метаболічними шляхами може більш ефективно руйнувати складні суміші вуглеводнів у ґрунті, прісній і морській воді, ніж один мікроорганізм. Таким чином може бути досягнута повна мінералізація субстрату [32], адже ефективність змішаних консорціумів значно вища, ніж при застосуванні окремих штамів [8, 14, 18, 32, 39, 40]. Мікробні природні популяції, які складаються із штамів мікроорганізмів, що належать до різних родів, також були виділені з нафтозабруднених ґрунтів та водних об'єктів [34]. Це підтверджує думку, що кожен штам або рідвідіграє свою роль у трансформаційних процесах біодеградації.

Фактори, що обумовлюють процес біодеградації

Успіх застосування біологічних методів очищення нафтового забруднення залежить від здатності контролювати ряд чинників та встановлювати і підтримувати умови, які сприяють підвищенню швидкості біодеградації вуглеводнів у забрудненому середовищі. Окремі наукові оглядові статті висвітлюють різні фактори, що впливають на швидкість біодеградації нафти [4, 5, 17, 27, 37].

Біологічне розкладання – це динамічний процес, який залежить від мінливих умов, складу мікрофлори і нафтопродуктів. Коли всі необхідні умови наявні, великі обсяги нафтопродуктів у довкіллі можуть бути знешкоджені протягом відносно короткого часу у порівнянні з природними геологічними і геохімічними процесами. Для того, щоб біодеградація нафтопродуктів відбувалась успішно, необхідним є слідування наступним умовам:

1. Кінцеві акцептори електронів (наприклад, молекулярний кисень, нітрати, сульфати, тривалентне залізо або діоксид вуглецю) повинні бути

присутніми [7]. Додавання термінальних акцепторів, таких як сульфати, нітрати або хелатне залізо може стимулювати процес анаеробної біодеградації [12].

2. Основні поживні речовини повинні бути доступні. Вуглеводні являють собою багате джерело вуглецю та енергії, але в цілому вони не забезпечують такі поживні речовини, як азот, фосфор і мікроелементи, відсутність яких може обмежити процес біодеградації.

3. Мікроорганізми повинні мати можливість доступу до нафтопродуктів. Такі розчинні компоненти, як бензол, толуол, етилбензол та ксилоли вимиваються з нафти і палив, але мають дуже низьку розчинність у водному середовищі, і тому розкладання більшості нафтопродуктів відбувається на поверхні розподілу вуглеводні-вода. Це означає, що доступ мікроорганізмів до нафтопродуктів принаймні частково залежить від геометрії резервуара [26], і швидкості, з якою вуглеводні можуть дифундувати до поверхні розподілу вуглеводні-вода [22]. Збільшення площі такого доступу за допомогою диспергаторів є важливим інструментом для прискорення біодеградації. Особливий інтерес у цьому напрямку складає застосування ультразвуку до середовища протікання біодеградації [31], адже в такому випадку досягається більш стійка емульсована суміш вуглеводнів у водному середовищі, що дозволяє отримати збільшення площі доступу мікроорганізмів до нафтопродуктів і полегшити їх потрапляння до мікробної клітини.

4. Вода має бути присутня, а її солоність має бути меншою, ніж ~ 100-150 проміле [19] для оптимального процесу біодеградації.

5. Температури повинні залишатися у встановлених межах, які підтримують життєздатність мікроорганізмів. Хоча гіпертермофільні нафтові деструктори поки не знайдені, екстремальні термофіли, такі як представники родів *Thermoplasma* і *Bacillus*, здатні розкладати поліциклічні ароматичні вуглеводні і алкани з довгим ланцюгом з великою швидкістю за температури до 83 °C [24]. З тим, оптимальні температури для протікання біодеградації у ґрунті становлять 30–40 °C [9], 20–30 °C – у прісній воді [11] і 15–20 °C – у морській воді [41].

6. Бактерицидні речовини повинні бути відсутні у середовищі. Наприклад, H_2S високо токсичний для аеробних мікробів, і концентрації вище 5 % H_2S інгібують анаеробні сульфат-редуктори [25].

Мікробіологи також визнають два різних шляхи, за якими хімічний склад вуглеводневої суміші може вплинути на її біодеградацію. Перший з них пов'язаний з регуляцією генів, де синтез ферментів, задіяних у біодеградації, контролюється присутністю одного або більше вуглеводневих субстратів. Толуол є яскравим прикладом того, як присутність цієї речовини активує системи для його біодеградації [28]. Можна припустити, що за умови додавання толуолу та інших вуглеводнів, які активують синтез необхідних ферментів, можна досягти підвищення ступеню біодеградації.

Іншим шляхом впливу складу вуглеводневої суміші на процес біодеградації є феномен ко-метаболізму. Цей процес зазвичай визначається як «окислення речовин без використання енергії, отриманої при окисленні для підтримки зростання мікроорганізмів» [21]. З тим, у чистих культур явище ко-метаболізму має тенденцію призводити до окислення побічних продуктів, а не повної мінералізації до CO_2 , але ці продукти, як правило, біорозкладаються іншими організмами і рідко зустрічаються у змішаних культурах. Дослідження складності процесу ко-метаболізму потребує багато роботи, але цілком імовірно, що він відіграє важливу роль у деградації вуглеводнів у біосфері, маючи на увазі, що ступінь біодеградації деяких вуглеводнів залежатиме від наявності інших.

За таких умов стає необхідним виявлення підходу, за якого можна прогнозувати та розраховувати значення необхідних параметрів середовища, в якому відбувається біодеградація вуглеводнів. Теорія співвідношення ресурсів може бути використана для визначення кількості необхідних поживних речовин, швидкості їх подачі у середовище і залежностей між ними і ступенем біодеградації [33]. За визначених вихідних факторів (тип вуглеводнів, штам нафтодеструктора) дана теорія може бути практично впроваджена, що

сприятиме успішному застосуванню деяких чинників зовнішнього середовища для інтенсифікації біодеградації нафтопродуктів.

Також, під час формування умов оптимальних для протікання біодеградації критично важливим є впровадження постійного моніторингу ефективності розкладання нафтопродуктів.

Значення балансу мас та постачання кисню

Як біотичні, так і абіотичні умови відіграють важливу роль у підвищенні ефективності біоремедіації за рахунок оптимізації нафтодеструктивної функції корінних штамів мікроорганізмів. При застосуванні таких штамів, виділених із природніх місць розміщення нафти, поліпшення абіотичних умов може виразно підвищити ефективність біодеградації. Серед цих факторів, як зазначалось раніше, важливими є температура і рН, які можуть бути урегульовані в лабораторних та промислових умовах, але не можуть бути контрольовані при використанні підходу *in situ*. Баланс мас, особливо в частині додавання поживних речовин, таких як N і P, може підвищити ефективність біодеградації за рахунок оптимізації співвідношення C : N : P. Проте, відповідний розрахунок і спосіб введення мають велике значення, так як недостатній ступінь додавання поживних речовин не зможе вплинути на процес біодеградації, але надмірна їх кількість спричинятиме токсичні ефекти для мікроорганізмів. Крім того, вплив поживних речовин на якість води також повинен враховуватись для того, щоб не призвести до ризику евтрофікації. Забезпечення доступу до кисню також виявляється стимулюючим підходом для підвищення ступеню і швидкості мікробного розкладання вуглеводнів [13], тому що окислення і гідроліз є первинними процесами розщеплення складних вуглеводневих сполук, які використовуються мікроорганізмами в якості джерела карбону.

Що стосується постачання кисню, то воно повинне бути повільним, але достатнім для забезпечення постійного аеробного середовища для мікроорганізмів. Введення твердих пероксидних матеріалів забезпечує життєздатну альтернативу для задоволення потреби мікроорганізмів у кисні

[13]. Ці речовини, в першу чергу оксиди кальцію і магнію (CaO_2 і MgO_2), які можуть виділяти кисень на підвищених рівнях протягом тривалого періоду часу з утворенням відповідних гідроксидів.

Виходячи з вищезазначеного, для підвищення ефективності процесу біодеградації важливо використовувати мікроорганізми, здатні до нафтодеструкції, які виділені з місць походження нафти і є комерційно доступними, ідентифікованими та наявні у вигляді збагаченої культури. Застосування твердих пероксидних матеріалів, коригування балансу мас поживних речовин, особливо для оптимізації співвідношення C:N:P за оптимальних умов навколишнього середовища, таких як відповідна температура і рН є чинниками, які можуть застосовуватись при формуванні умов для підвищення швидкості і ступеню біодеградації нафтопродуктів.

Проте, існує ряд інших чинників, які також можуть розглядатись з точки зору можливості їх застосування для поліпшення процесу біоремедіації і повинні бути досліджені більш детально, зокрема додавання до середовища поверхнево-активних речовин, та інші підходи, які дозволяють полегшити процес потрапляння молекул вуглеводнів до мікробних клітин, серед яких важливим є застосування ультразвукового та інших силових впливів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Alvarez P. J. J. Substrate interactions of benzene, toluene, and para-xylene during microbial degradation by pure cultures and mixed culture aquifer slurries / P. J. J. Alvarez, T.M. Vogel // *Applied and Environmental Microbiology*. – 1991. – Vol. 57, No. 10. – P. 2981–2985.
2. Petroleum pollutant degradation by surface water microorganisms / [Antić M. P., Jovancićević B. S., Ilić M. et al.] // *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* – 2006. – Vol. 13, No. 5. – P. 320–327.
3. April T. M. Hydrocarbondegrading filamentous fungi isolated from flare pit soils in northern and western Canada / April T. M., Foght J. M., Currah R. S. // *Canadian Journal of Microbiology*. – 2000. – Vol. 46, No. 1. – P. 38–49.

4. Atlas R. M. Microbial degradation of petroleum hydrocarbons: an environmental perspective / R. M. Atlas // *Microbiological Reviews*. – 1981. – Vol. 45, No. 1. – P. 180–209.
5. Atlas R. M. Hydrocarbon biodegradation and oil spill bioremediation / R. M. Atlas, R. Bartha // *Advances in Microbial Ecology*. – 1992. – Vol. 12. – P. 287–338.
6. Numerical taxonomy and ecology of petroleum-degrading bacteria / [Austin B., Calomiris J. J., Walker J. D., Colwell R. R.] // *Appl. Environ. Microbiol.* – 1977. – Vol. 34. – P. 60–68.
7. Bekins B.A. Distribution of microbial physiologic types in an aquifer contaminated by crude oil / Bekins B.A., Godsy E.M., Warren E. // *Microbial Ecol.* – 1999. – I. 37. – P. 263–275.
8. Effectiveness of biodegradation of petroleum products by mixed bacterial populations in liquid medium at different pH values / [Boszczyk-Maleszak H., Zabost A., Wolicka D., Kaciszczenko J.] // *Pol. J. Microbiol.* – 2006. – Vol. 55, No. 1. – P. 69–73.
9. Brusseau M. L. The impact of physical, chemical and biological factors on biodegradation / M. L. Brusseau // *Proceedings of the International Conference on Biotechnology for Soil Remediation: Scientific Bases and Practical Applications*, R. Serra, Ed., C.I.P.A. S.R.L. – 1998. – P. 81–98.
10. Isolation and identification by 16S rDNA partial sequencing of hydrocarbon-chitinolytic bacteria involved in hydrocarbon removal process / [Cervantes-Gonzalez E., Rojas-Avelizapa L.I., Cruz-Camarillo R. et al.] // *Progress Environ. Sci. Technol.* – 2007. – V.1. – P. 1143–1149.
11. Cooney J. J. The fate of petroleum pollutants in fresh water ecosystems / J. J. Cooney // *Petroleum Microbiology*, ed. R. M. Atlas. – New York : Macmillan Publishing Company, 1984. – P. 399–434.
12. Da Silva M. L. B. Enhanced anaerobic biodegradation of BTEX-ethanol mixtures in aquifer columns amended with sulfate, chelated ferric iron or nitrate / Da

Silva M. L. B., Ruiz-Aguilar G. M. L., Alvarez P. J. J. // *Biodegradation*. – 2005. – I. 16. – P. 105–114.

13. Davis J. W. Enhanced Land Treatment of Petroleum-Contaminated Soils Using Solid Peroxygen Materials / Davis J. W., West R. J., Kecka G. M. // *Remediation Journal*. – 1997. – Vol. 7, No. 2. – P. 67–81.

14. Design of bacterial defined mixed cultures for biodegradation of specific crude oil fractions, using population dynamics analysis by DGGE / [Escalante-Espinosa E., Favela-Torres E. et al.] // *Int. Biodeter. Biodegr.* – 2008. – Vol. 62 (1). – P. 21–30.

15. Biodegradation of crude oil and n-alkanes by fungi isolated from Oman / [Elshafie A., AlKindi A.Y., Al-Busaidi S. et al.] // *Mar. Pollut. Bull.* – 2007. – Vol. 54. – P. 1692–1096.

16. Fallgren P. H. Biodegradation of petroleum compounds in soil by a solid-phase circulating bioreactor with poultry manure amendments / P. H. Fallgren, S. Jin // *J. Environ. Sci. Health A Tox Hazard Subst Environ. Eng.* – 2008. – V.43, No. 2. – P. 125–131.

17. Foght J. M. Biodegradation of hydrocarbons in freshwater / J. M. Foght, D. W. S. Westlake // *Oil in Freshwater: Chemistry, Biology, Countermeasure Technology : Proceedings of the Symposium of Oil Pollution in Freshwater, June 10-12, 1987 : thesis*. – Edmonton, 1987. – P. 217–230.

18. Biodegradation of oil tank bottom sludge using microbial consortia / [Gallego J.L.R., Garcia-Martinez M.J., Llamas J.F. et al.] // *Biodegradation*. – 2007. – V.18 (3). – P. 269–281.

19. Holden P. A. Water content mediated microaerophilic toluene biodegradation in arid vadose zone materials / Holden P. A., Hersman L. E., Firestone M. K. // *Microbial Ecol.* – 2001. – I. 42. – P. 256–266.

20. Contaminated environments in the subsurface and bioremediation: organic contaminants / [Holliger C., Gaspard S., Glod G. et al.] // *FEMS Microbiology Reviews*. – 1997. – Vol. 20, No. 3–4. – P. 517–523.

21. Horvath R. S. Microbial co-metabolism and the degradation of organic compounds in nature / R. S. Horvath // *Bacteriol. Rev.* – 1972. – I. 36. – P. 146–155.
22. A dynamic biodegradation model suggested by petroleum compositional gradients within reservoir columns from the Liaohe basin / [Huang H., Larter S.R., Bowler B.F.J., Oldenburg T.B.P.] // *NE China. Org. Geochem.* – 2004. – I. 35. – P. 299–316.
23. Bioremediation of oil-contaminated soil using *Candida catenulata* and food waste / [Joo H.S., Ndegwa P.M., Shoda M., Phae C.G.] // *Environ. Pollut.* – 2008. – Vol.156 (3). – P. 891–896.
24. Isolation and characterization of long-chain-alkane degrading *Bacillus thermoleovorans* from deep subterranean petroleum reservoirs / [Kato T., Haruki M., Imanaka T., Morikawa et al.] // *J. Bioscience Bioeng.* – 2001. – I. 91. – P. 64–70.
25. Formation of sphalerite (ZnS) deposits in natural biofilms of sulfate-reducing bacteria / [Labrenz M., Druschel G.K., Thomsen-Ebert T., Gilbert B. et al.] // *Science.* – 2000. – I. 290 – P. 1744–1747.
26. When biodegradation preserves petroleum! Petroleum geochemistry of N. Sea oil rimmed gas accumulations (ORGAs) / [Larter S., Hockey A., Aplin A., Telnaes N. et al.] // *Natural Gas Formation and Occurrence : Proceedings of the AAPG Hedberg Research Conference, September 12-16, 1999 : thesis.* – Durango, 1999. – P. 287–291.
27. Leahy J. G. Microbial degradation of hydrocarbons in the environment / J. G. Leahy, R. R. Colwell // *Microbiological Reviews.* – 1990. – Vol. 54, No. 3. – P. 305–315.
28. Leuthner B. A two-component system involved in regulation of anaerobic toluene metabolism in *Thauera aromatica* / B. Leuthner, J. Heider // *FEMS Microbiol. Lett.* – 1998. – I. 166. – P. 35–41.
29. Evidence for *in situ* crude oil biodegradation after the Prestige oil spill / [Medina-Bellver J. I., Marín P., Delgado A. et al.] // *Environmental Microbiology.* – 2005. – Vol. 7, No. 6. – P. 773–779.

30. Nwaogu L.A. Degradation of diesel oil in a polluted soil using *Bacillus subtilis* / Nwaogu L.A., Onyeze G.O.C., Nwabueze R. // *Afr J Biotechnol.* – 2008. – Vol.7 (12). – P. 1939–1943.
31. Pitt W. G. Ultrasound increases the rate of bacterial cell growth / W. G. Pitt, S. A. Ross // *Biotechnol Prog.* – 2003. – 19 (3). – P. 1038–1044.
32. Prince R. C. The primary aerobic biodegradation of gasoline hydrocarbons / Prince R. C., Parkerton T. F., Lee C. // *Environ. Sci. Technol.* – 2007. – Vol.41, N9. – P. 3316–3321.
33. Smith V. H. Application of resource-ratio theory to hydrocarbon biodegradation / Smith V. H., Graham D. W., Cleland D. D. // *Environ. Sci. Technol.* – 1998. – I. 32. – P. 3386–3395.
34. Establishment of oil-degrading bacteria associated with cyanobacteria in oil-polluted soil / [Sorkhoh N.A., Al-Hasan R.H., Khanafer M., Radwan S.S.] // *Journal of Applied Bacteriology.* – 1995. – Vol. 78. – P. 194–199.
35. Ulrici W. Contaminant soil areas, different countries and contaminant monitoring of contaminants / W. Ulrici // *Environmental Process II. Soil Decontamination Biotechnology.* – 2000. – Vol. 11. – P. 5–42.
36. Phytoremediation of petroleum polluted soil / [Wang J., Zhang Z. Z., Su Y. M. et al.] // *Petroleum Sci.* – 2008. – Vol.5 (2). – P.167–171.
37. Zobell C. E. Action of microorganisms on hydrocarbons / C. E. Zobell // *Bacteriological Reviews.* – 1946. – Vol. 10. – P. 1–49.
38. Куликова А. К. Микроорганизмы, ассимилирующие газообразные углеводороды (C₂-C₄) (Обзор) / А. К. Куликова // *Прикладная биохимия и микробиология.* – 1995. – Т. 31, № 2. – С. 155–167.
39. Малиновська І. М. Вплив забруднення сірого лісового ґрунту нафтопродуктами на його фітотоксичні властивості та стан мікробіоценозу / І. М. Малиновська, Н. А. Зінов'єва // *Збірник наук. праць Інституту землеробства.* – 2010. – Вип. 1–2. – С. 61–69.

40. Малиновська І. М. Деградація нафтопродуктів аборигенними мікробними угрупованнями сірого лісового ґрунту / І. М. Малиновська, Н. А. Зінов'єва // Вісн. Харк. нац. агр. ун-ту. – 2011. – Вип. 2(23). – С.105–112.
41. Мельников Д. А. Распределение признаков биодеградации углеводов и оценка технологически важных свойств нефтеокисляющих бактерий: дис. на соискание науч. степени канд. биол. наук: 03.00.23 спец. «Биотехнология» / Мельников Дмитрий Александрович. – Кр-р, 2005. – 131 с.
42. Біодеструкція поліциклічних ароматичних вуглеводнів / [Павленко М.І., Сорока Я.М., Гвоздяк П.І., Кухар В.П.] // Катализ и нефтехимия. – 2007. – № 15. – С. 46–62.
43. Новый путь окисления стирола культурой *Pseudomonas putida* / [Рустемов С.А., Головлева Л.А., Алиева Р.М., Баскунов Б.П.] // Микробиология. – 1992. – Т.61, Вып. 1. – С. 5–10.
44. Філяк О. Біодеградація нафтопродуктів у накодишньому природному середовищі / Філяк О., Сибірний А., Юрим М. // Вісник Львів. Ун-ту. Серія біологічна. – 2008. – Вип. 47. – С. 89–95.
45. Шевкопляс В. Н. Конверсия тяжелых фракций сырой нефти микромицетами родов *Mortierella* (Соем.), *Penicillium* (Link ex Fr.), её анализ методиками ИК- и Н-ЯМР спектроскопии / В. Н. Шевкопляс, М. И. Бойко // Проблемы экологии та охорони природи техногенного регіону. – 2009. – №1(9). – С. 221–229.

ФОРМИРОВАНИЕ УСЛОВИЙ СРЕДЫ ДЛЯ УСКОРЕНИЯ БИОДЕГРАДАЦИИ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Е. Л. МАТВЕЕВА, О. Р. АЛИЕВА

Национальный авиационный университет, г. Киев

Механические и физико-химические подходы к очистке окружающей среды от нефтяного загрязнения являются слишком дорогими в применении и

недостаточно эффективными. Процесс биологической очистки – биоремедиация имеет большой потенциал и конкурентные преимущества по сравнению с другими методами из-за экологической безопасности, экономической эффективности и высокую степень разложения загрязнения. Однако эффективность биоремедиации, как правило, ограничивается абиотическими факторами. Описана роль микроорганизмов-нефтедеструкторов в процессе биологической очистки нефтяного загрязнения, а также рассматриваются подходы к повышению эффективности биоремедиации путем формирования соответствующих условий среды биodeградации.

Ключевые слова: биodeградация, нефтепродукты, микроорганизмы-нефтедеструкторы, углеводороды, биоремедиация.

FORMING MEDIA CONDITIONS FOR HYDROCARBON BIODEGRADATION

O. L. MATVYEYeva, O. R. ALIYEVA

National Aviation University, Kyiv

Mechanical, physical and chemical approaches to cleaning up the environment from oil pollution is too expensive and not effective enough. A process of biological treatment – bioremediation has a great potential and competitive advantage in comparison with other methods due to its environmental safety, cost-effectiveness and high rate of contamination decomposition. However, the effectiveness of bioremediation is usually limited by abiotic factors. A role of oil-destructive microorganisms in biological treatment of oil pollution is characterized, and approaches to improve the efficiency of bioremediation through formation of proper conditions in biodegradation media are described.

Keywords: *biodegradation, petroleum products, oil-destructive microorganisms, hydrocarbons, bioremediation.*