

18. Kruglov I.S. Ekologija landshaftu (geoekologija) : Analiz yevropejs'kih ta pivnichnoamerikans'kih publikacij / I.S. Kruglov // Ukrayins'kij geografichnij zhurnal. – 2000. – № 2. – S. 62–66.
19. Troll C. Landschaftsökologie als geographisch-synoptische Naturbetrachtung / C. Troll // Erkundliches Wissen. – 1966. – Heft. 11. – S. 11–13.
20. Forman R. T. Landscape ecology / R. T. Forman, M. Godron. – New York : John Wiley and Sons, 1986. – 619 p.
21. Rud'ko G. I. Osnovi fundamental'noyi geoekologiyi / G. I. Rud'ko // Pershij Vseukrayins'kij z'yizd ekologiv (Ecology – 2006) : mizhnar. nauk.-prakt. konf. : tezi dopovidej (Vinnicja, 4-7 zhovtnja 2006 r.). – Vinnicja, 2006. – S. 110.
22. Fiziko-geograficheskoe rajonirovanie Ukrainskoj SSR / [red. Popov V. P. i dr.]. – K. : Kievskij universitet., 1968. – 683 s.
23. Dzens-Litovskaja N. N. Pochva i rastitel'nost' stepnogo Kryma / Dzens-Litovskaja N. N. - L.-S-Pb. : Nauka, 1970. – 157 s.
24. L'vova E. V. Ravninnyj Krym: geologicheskoe stroenie, gidrogeologija, ohrana prirody / E. V. L'vova. – K. : Naukova dumka, 1978. – 188 s.
25. Marinich A.M. Priroda Ukrainskoj SSR. Landshafty i fiziko-geograficheskoe rajonirovanie / Marinich A.M., Pashhenko V. M., Shishhenko P. G. – K. : Naukova dumka, 1985. – 224 s.
26. Geografichna enciklopedija Ukrayini : [red. O. M. Marinich ta in.] – K. : «URE» im. M.P. Bazhana, 1990. – T. 2. – S. 256.
27. Nacional'nij atlas Ukrayini / [red. L. G. Rudenko ta in.]. – K. : DNVP «Kartografija», 2007. – 435 s.
28. Andrjushhenko A. Ju. Masshtabno-zavisimye jeffekty v strukture jekologicheskoy nishi lebedja-shipuna Cygnus olor (Gmelin, 1803) v period zimovki v predelah zaliva Sivash / A.Ju. Andrjushhenko, A.V. Zhukov // Biologichnij visnik MDPU im. Bogdana Hmel'nic'kogo, 2016. – vip. 6, № 3. – S. 234–247.
29. Atlas prirodnyh uslovij i estesvennyh resursov Ukrainskoj SSR : [red. P. N. Pershin i dr.]. – M. : GUGK, 1978. – 183 s.
30. Resursy poverhnostnyh vod SSSR : [red. M.M. Ajzenberg, M.S. Kaganer]. – L. : Gidrometeoizdat, 1966. – T. 6, vyp. 4. – 1966. – 344 s. (Ukraina i Moldavija. Krym).

УДК 502.37:507.083.1:543.383.2

СТАНОВЛЕННЯ БІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ВІД НАФТОПРОДУКТІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ МІКРООРГАНІЗМІВ (літературний огляд)

Волошина О. М., Рильський О. Ф.

*Запорізький національний університет
69600, Україна, Запоріжжя, вул. Жуковського, 66*

ecosvznu@gmail.com

У статті досліджено питання становлення біологічного очищення навколишнього середовища із використанням мікроорганізмів. Здійснено аналіз найпоширеніших видів-деструкторів нафтопродуктів та їх застосування при створенні специфічних біопрепаратів на носіях різного походження. Увага акцентується на використанні спеціалізованих мікроорганізмів-деструкторів нафтопродуктів, іммобілізованих на штучному волокні типу «ВІЯ».

Ключові слова: вуглеводні, мікроорганізми, деструкція нафтопродуктів, іммобілізація.

Волошина А.М., Рильский А.Ф. СТАНОВЛЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРООРГАНИЗМОВ (литературный обзор) / Запорожский национальный университет; 69600, Украина, Запорожье, ул. Жуковского, 66

В статье исследован вопрос становления биологической очистки окружающей среды с использованием микроорганизмов. Проведен анализ самых распространенных видов-деструкторов нефтепродуктов и их применения при создании специфических биопрепаратов на носителях различного происхождения. Внимание сконцентрировано на использовании специализированных микроорганизмов-деструкторов нефтепродуктов, иммобилизованных на искусственном волокне типа «ВИЯ».

Ключевые слова: углеводороды, микроорганизмы, деструкция нефтепродуктов, иммобилизация.

Voloshina A.M., Rylsky A.F. FORMATION BIOLOGICAL TREATMENT OF ENVIRONMENT FROM OIL USING MICROORGANISMS (review) / Zaporizhzhya National University; 69600, Ukraine, Zaporizhzhya, Zhukovsky str., 66

One of the major environmental problems today is hydrocarbon contamination resulting from the anthropogenic activities. Hydrocarbon components have been known to belong to the family of carcinogens and neurotoxic organic pollutants. Currently accepted disposal methods of incineration or burial in secure landfills can become prohibitively expensive when amounts of contaminants are large. Mechanical and chemical methods generally used to remove hydrocarbons from contaminated sites have limited effectiveness and can be expensive. Bioremediation is the promising technology for the treatment of these contaminated sites since it is cost-effective and will lead to complete mineralization. Bioremediation functions basically on biodegradation, which may refer to complete mineralization of organic contaminants into carbon dioxide, water, inorganic compounds, and cell protein or transformation of complex organic contaminants to other simpler organic compounds by biological agents like microorganisms. Many indigenous microorganisms in water and soil are capable of degrading hydrocarbon contaminants.

The process of bioremediation, defined as the use of microorganisms to detoxify or remove pollutants owing to their diverse metabolic capabilities is an evolving method for the removal and degradation of many environmental pollutants including the products of petroleum industry. In addition, bioremediation technology is believed to be noninvasive and relatively cost-effective. Biodegradation by natural populations of microorganisms represents one of the primary mechanisms by which petroleum and other hydrocarbon pollutants can be removed from the environment and is cheaper than other remediation technologies.

The success of oil spill bioremediation depends on one's ability to establish and maintain conditions that favor enhanced oil biodegradation rates in the contaminated environment. Numerous scientific review articles have covered various factors that influence the rate of oil biodegradation. One important requirement is the presence of microorganisms with the appropriate metabolic capabilities. If these microorganisms are present, then optimal rates of growth and hydrocarbon biodegradation can be sustained by ensuring that adequate concentrations of nutrients and oxygen are present and that the pH is between 6 and 9. The physical and chemical characteristics of the oil and oil surface area are also important determinants of bioremediation success. There are the two main approaches to oil spill bioremediation: (a) bioaugmentation, in which known oil-degrading bacteria are added to supplement the existing microbial population, and (b) biostimulation, in which the growth of indigenous oil degraders is stimulated by the addition of nutrients or other growth-limiting cosubstrates.

Biodegradation of petroleum hydrocarbons is a complex process that depends on the nature and on the amount of the hydrocarbons present. Petroleum hydrocarbons can be divided into four classes: the saturates, the aromatics, the asphaltenes (phenols, fatty acids, ketones, esters, and porphyrins), and the resins (pyridines, quinolines, carbazoles, sulfoxides, and amides). Different factors influencing hydrocarbon degradation have been reported by scientists. One of the important factors that limit biodegradation of oil pollutants in the environment is their limited availability to microorganisms. Petroleum hydrocarbon compounds bind to soil components, and they are difficult to be removed or degraded. Hydrocarbons differ in their susceptibility to microbial attack. The susceptibility of hydrocarbons to microbial degradation can be generally ranked as follows: linear alkanes branched alkanes small aromatics cyclic alkanes. Some compounds, such as the high molecular weight polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), may not be degraded at all.

Microbial degradation is the major and ultimate natural mechanism by which one can cleanup the petroleum hydrocarbon pollutants from the environment. The recognition of biodegraded petroleum-derived aromatic hydrocarbons in marine sediments was reported by Kun Tonga, Yihe Zhanga, Guohua Liub, Zhengfang Yeb et al. They studied the extensive biodegradation of alkyl aromatics in marine sediments which occurred prior to detectable biodegradation of n-alkane profile of the crude oil and the microorganisms, namely, *Arthrobacter*, *Burkholderia*, *Mycobacterium*, *Pseudomonas*, *Sphingomonas*, and *Rhodococcus* were found to be involved for alkylaromatic degradation. Nine bacterial strains, namely, *Pseudomonas fluorescens*, *P. aeruginosa*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus sp.*, *Alcaligenes sp.*, *Acinetobacter*

lwoffi, *Flavobacterium sp.*, *Micrococcus roseus*, and *Corynebacterium sp.* were isolated from the polluted stream which could degrade crude oil.

This paper presents an updated historical overview of petroleum hydrocarbon degradation by microorganisms under different ecosystems.

Key words: hydrocarbons, microorganisms, degradation of oil, immobilization.

ВСТУП

Однією з основних екологічних проблем сучасності є забруднення вуглеводнями навколишнього середовища в результаті антропогенної діяльності. Вуглеводневі компоненти, як відомо, належать до сімейства канцерогенів і нейротоксических органічних забруднювачів. Механічні та хімічні методи, які найчастіше використовуються для видалення вуглеводнів із забруднених ділянок водного середовища та ґрунтового покриву, мають обмежену ефективність і високу вартість. Біоремедіація є перспективною технологією для відновлення забруднених ділянок, оскільки вона економічно ефективна і призводить до повної мінералізації органічних забруднень на вуглекислий газ, воду, неорганічні сполуки, і клітинний білок або трансформацію складних органічних забруднювачів в інші простіші органічні сполуки за допомогою біологічних агентів, таких як мікроорганізми. Становлення зазначеної проблематики триває десятки років.

Очищення навколишнього середовища від нафтопродуктів проводиться хімічними, фізичними та електрохімічними способами, технологія яких трудомістка, потребує великих матеріальних витрат та не завжди забезпечує високий ступінь очищення. Слід зазначити, що при традиційних методах знешкодження та озолення відходів витрати в 3 рази перевищують вартість біологічного розкладання. Причому витрати на будівництво та експлуатацію станцій біологічної очистки нижчі, ніж для більшості підприємств з традиційною системою обробки [1].

Сьогодні відомо безліч праць щодо очищення навколишнього середовища від нафтопродуктів. Усі вони засновані на підборі способу іммобілізації певної культури. Численні дослідження свідчать про те, що найбільш високі результати очищення стічних вод від нафтопродуктів можуть бути досягнуті за рахунок застосування іммобілізованих, тобто прикріплених до твердого носія, мікроорганізмів, що в основному пояснюється можливістю досягнення надзвичайно високої концентрації клітин на одиниці поверхні носія; посиленням процесу масообміну між газовою і рідкою фазами в реакторі; легкістю поділу клітин і рідини, що очищується. Ефективність таких методів очистки коливається в широкому діапазоні, що залежить від оптимального вибору іммобілізатора та штаму мікроорганізмів [1-3].

Незважаючи на те, що мікробіологічна трансформація нафтопродуктів та нафтових вуглеводнів вивчена достатньо повно, біологічне очищення від них промислових стічних вод знаходиться на стадії розвитку і становлення.

Метою нашої наукової роботи було дослідження питання становлення біологічного очищення навколишнього середовища із використанням мікроорганізмів, аналіз найпоширеніших видів-деструкторів нафтопродуктів та їх застосування при створенні специфічних біопрепаратів на носіях різного походження.

ІСТОРИЧНИЙ АСПЕКТ СТАНОВЛЕННЯ ПИТАННЯ БІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ВІД НАФТОПРОДУКТІВ

Перші припущення щодо біологічного руйнування вуглеводнів містяться в працях Міюши [4]. Прямі вказівки на споживання вуглеводнів мікроорганізмами вперше з'явилися у 1906 році, коли Ран виділив із ґрунту пліснявий гриб, здатний до активного росту на парафіні. Починаючи з 1924 року, Таусон опублікував ряд праць, у яких надано

детальну характеристику мікроорганізмів, виділених із ґрунтів нафтових промислів Баку та Закавказзя, та доведено їх здатність до окиснення вуглеводнів [5-7].

У 1925 році Ортон оприлюднив заяву щодо важливої ролі бактерій у видаленні нафти з моря. Зобелл, співпрацюючи з Грантом та Хаасом, у 1943 році опублікував працю, у якій показав, що в морській воді широко розповсюджені бактерії, здатні окислювати сиру нафту, продукти її переробки та численні чисті вуглеводні [7].

Забруднення водойм нафтопродуктами призводить до виснаження запасів водного кисню, витрати на окислення органічних речовин. Наявність на поверхні води нафтової плівки різко знижує здатність водойм до самоочищення, оскільки ця плівка перешкоджає надходженню у воду атмосферного кисню. У цьому випадку у водоймі створюються анаеробні умови, що призводить до підвищення вмісту у воді шкідливих речовин [8].

Швидкість накопичення нафтопродуктів у водних і ґрунтових екосистемах у результаті техногенного забруднення випереджає їхню природну біодеградацію. Для прискорення процесів очищення необхідно використовувати біологічні резерви мікробних спільнот і біоценозів, що включають організми з різними біохімічними можливостями [9].

Культури мікроорганізмів, які традиційно використовуються в біотехнологіях очищення від ксенобіотиків, є ізолятами клонів гетеротрофних бактерій і грибів з відносно вузьким спектром біогеохімічних функцій, що обмежує їх застосування [10, 11]. Природні асоціації мають значно багатший набір цих функцій, оскільки завжди включають в себе фотосинтезики: вищі рослини, мікроводорості і ціанобактерії.

Досвід роботи з мікроорганізмами отримано у зв'язку зі створенням впродовж 60-70-х років минулого століття великотоннажної промисловості по отриманню біовітамінних концентратів з вуглеводнів нафти в якості сировини [12].

Основними біологічними агентами, що здійснюють біологічне розкладання, є мікроорганізми, які мають широку різноманітність ферментних систем та характеризуються великою лабільністю метаболізму. Вони здатні розкласти широкий спектр хімічно стійких сполук, у тому числі нафтопродукти та їхні похідні [12-14].

Для прискорення процесів очищення та відновлення водних екосистем необхідно використовувати біологічні резерви не лише мікробних клітин, але й мікробних співтовариств та біоценозів [15].

ПРИРОДООХОРОННІ БІОТЕХНОЛОГІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ІММОБІЛІЗОВАНИХ МІКРООРГАНІЗМІВ

В останні роки все частіше на практиці застосовуються природоохоронні біотехнології з використанням закріпленої іммобілізованої мікрофлори на носіях різної природи (активоване вугілля, керамзит, поролон, різного роду синтетичні та полімерні волокна) [16-19].

Для біологічного очищення води від токсичних речовин на базі відділу мікробіології води Інституту колоїдної хімії та хімії води ім. А. В. Думанського НАН України було створено носій з ультратонкого хімічного гладкого й текстурованого волокна, що забезпечує бездоганний масообмін і відмінну перманентну регенерацію носія, на якому розвивається біоплівка мікроорганізмів-деструкторів. Розроблені волокнисті носії типу «ВІЯ» не мають собі рівних у світі за питомою площею поверхні ($5000-10000 \text{ м}^2$ на 1 м^3 об'єму очисної споруди) та найважливішими технологічними параметрами [20-21].

Для вирішення проблеми очищення стічних вод, на прикладі Української антарктичної станції академіка Вернадського, науковими співробітниками Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» було запропоновано задіяти

сучасні методи і технології, зокрема, біологічне очищення з використанням іммобілізованих мікроорганізмів та створенням у спорудах можливостей для організації послідовних анаеробних, аноксидних, анаеробних і аеробних процесів, завдяки чому можна видаляти із стічних вод токсичні речовини, створювати умови для здійснення нітри- денітрифікації, анамокс-процесу та дефосфорації, відтак показники забруднення стічних вод буде доведено до діючих санітарних вимог [22].

Відбір найбільш сталого, активного і технологічно придатного консорціуму мікроорганізмів, що придатні для очищення стічних вод, проводили в проточному двосекційному лабораторному культиваторі при інтенсивній аерації стиснутим повітрям у присутності волокнистого носія [23, 24], виготовленого із капронового текстурованого джгутового волокна, для іммобілізації на ньому мікроорганізмів-деструкторів [25].

Заміна вільно культивованих клітин на іммобілізовані позбавляє виробництво необхідності регулярного нарощування біомаси [26].

У світовій практиці широко використовується мікробіологічний спосіб очищення ґрунтового покриву від нафтопродуктів або біоремедіація. Методи із використанням біологічного очищення є найбільш щадними до природного середовища та найвигіднішими, якщо брати до уваги екологічний та економічний аспекти. При аерації ґрунтового покриву забезпечується стимуляція життєдіяльності мікроорганізмів, здатних до розкладання вуглеводнів до простих сполук, таких як CO_2 , H_2O , N_2 , однак внесення у ґрунт біогенів є необхідною умовою [17, 27, 28].

У 1993-1996 рр., базуючися на позитивному та негативному світовому досвіді боротьби із забрудненням нафтопродуктами, за основу створеної нової комплексної технології взяли використання сучасної групи препаратів – біосорбентів [28, 29], що мають як абсорбційну і фізико-хімічну активність у відношенні нафтопродуктів, так і біологічну. Нові біосорбенти побудовані на основі абсорбційного матеріалу, отриманого з природних алюмосилікатів (перліт, вермикуліт, цеоліт), іммобілізованих природними бактеріями, здатними зруйнувати нафтопродукти, зібрані препаратом, у широкому діапазоні температур. Нафтопродукти розкладаються до кінцевих стадій, коли в навколишньому середовищі залишаються лише продукти її розкладу: вуглекислий газ, вода, а також 10-15% екологічно інертних асфальтенів та інших компонентів. Асфальтени також піддаються біодеструкції за кілька місяців залежно від температури. У природних умовах без застосування біосорбентів цей процес реалізується впродовж кількох років [28, 30].

Біопрепарати на основі штамів нафтоокислюючих мікроорганізмів поділяються на дві основні групи [31]:

- біопрепарати на основі монокультури;
- біопрепарати, до складу яких входять кілька штамів мікроорганізмів.

Монобактеріальні препарати характеризуються більш вузькою специфічністю по відношенню до індивідуальним вуглеводням; вузьким інтервалом рН, оптимальним для активності мікроорганізмів, а також інтервалом солоності, температури води та концентрації вуглеводнів.

Полібактеріальні препарати мають ширші адаптаційні та екологічні можливості для використання [31].

Держинська І.С., після опрацювання матеріалів із питання очищення навколишнього середовища від нафтопродуктів, зробила висновок, що більшість технологій механічного та фізико-хімічного очищення води та ґрунту від нафтопродуктів, що використовуються на практиці, трудомісткі та пов'язані з вагомими матеріальними витратами. У зв'язку

з цим, в останні роки у багатьох країнах до ряду пріоритетних відносять біотехнологічні методи ліквідації забруднення навколишнього середовища. Серед усього різноманіття відомих технологій очищення особливого значення набули мікробіологічні способи [18].

АНАЛІЗ ОСНОВНИХ МІКРООРГАНІЗМІВ-ДЕСТРУКТОРІВ НАФТОПРОДУКТІВ, ЩО ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ В БІОТЕХНОЛОГІЇ

У багатьох мікроорганізмів-деструкторів виявлені плазмиди деградації нафтопродуктів, тобто здатність до деструкції нафтових вуглеводнів свідчить про плазмідну локалізацію генів деструкції. Наявність катаболітичних плазмід у штамів-деструкторів впливає на ростові характеристики штамів та збільшує ступінь деградації нафтопродуктів [11].

Групою науковців з Санкт-Петербурзького державного технологічного інституту зроблено узагальнення мікроорганізмів, що використовуються в біопрепаратах, які використовуються для очищення оточуючого середовища від нафтопродуктів: *Pseudomonas putida*, *Rhodococcus spp.*, *Alcaligenes sp.*, *Jarrowia lipolytica*, *Acinetobacter Valentis*, *Azotobacter vinelandii*, *Acinetobacter oleovorum*, *p. Candida*, *Pseudomonas fluorescens*, *Mycobacterium flavescens* [32-36].

Кузнецова А. Е. охарактеризувала найвідоміші препарати нафтодеструкторів, аналізуючи діючі мікробіологічні компоненти, представлені *Azotobacter vinelandii*, *Acinetobacter oleovorum*, *p. Candida*, *Pseudomonas sp.*, *Acinetobacter sp.*, *Mycobacterium*, *Rhodococcus sp.*, *Bacillus*, *Arthrobacter*, *Pseudomonas putida*, *Rhodococcus spp.*, *Alcaligenes sp.*, *Jarrowia lipolytica*, *Acinetobacter valentis* [37].

Відповідно до опублікованих матеріалів Куракова А. В. та інших серед виділених із водного середовища, забрудненого нафтопродуктами, культур були представники видів *Gordona terrae* ІКВС 19, *Rhodococcus rubropertinctus* ІКВС 17, *Pseudomonas sp.* ІКВС 2161, *Pseudomonas putida* ІКВС 2162, *Pseudomonas putida* ІКВС 2163, які за даними літератури [38-40] беруть участь у розкладанні нафти і нафтопродуктів [41].

Колективом науковців [42] із шельфових вод Північного Каспія у 2003 році виділено бактеріальний штам, ідентифікований на основі філогенетичного аналізу в Інституті мікробіології РАН як *Phyllobacterium myrcinacearum*. Лабораторні експериментальні дослідження показали, що при застосуванні біомаси штаму *Phyllobacterium myrcinacearum* як деструктора нафтових вуглеводнів *in vitro*, ефективність очищення водного середовища від нафтопродуктів відповідала 54,5-96,0 % [43, 44]. Виділено штам із солоних вод, який має високу деструктивну активність по відношенню до нафтових вуглеводнів [45].

Подольським В. П., Биковою А. А., Шевченко М. Ю. та Гридневою Є. В. була встановлена здатність штамів роду *Acinetobacter*: *A. calcoaceticus* 134 (В-3780), *ACKS* (В-2838) та *Acinetobacter sp.* (В-5064), до деструкції сирої нафти, нафтопродуктів і окремих вуглеводнів. Обрані штами ефективно окислювали ароматичні та нециклічні вуглеводні, що входять до складу нафти. Доведено, що ступінь деградації сирої нафти впродовж 40 діб у лабораторному дослідженні становить 40-73%. При постановці експерименту у вегетаційному досліді деструкція нафтопродуктів становить від 40 до 60%. Згідно із отриманими даними, можливе використання використаних штамів *Acinetobacter sp.* для реконструкції ґрунтів, забруднених нафтопродуктів [46].

Коршуновою Т. Ю. та Логіновим О. Н. було проведено роботу щодо виділення із сірого лісового ґрунту, забрудненого дизельним паливом, консорціуму, що складається з мікроорганізмів *Acinetobacter sp.* ІБ ДТ-5.1/1 та *Ochrobactrum sp.* ІБ ДТ-5.3/2. За 90 діб вміст нафтопродуктів у досліджуваному субстраті зменшився на 4,99-8,64%, а в контрольній пробі цей показник становить 0,39%. На ділянках, оброблених консорціумом, чисельність гетеротрофів збільшилась у 2-4 рази, а вуглеводноокисних бактерій – у 1-2 рази. У контрольній пробі за час експерименту концентрація біомаси

гетеротрофних та вуглеводноокисних мікроорганізмів практично не змінилася. Консорціум мікроорганізмів, що було отримано під час дослідження, у подальшому може бути використаний як основа біопрепарату для очищення навколишнього середовища від нафтопродуктів [47].

Вуглеводнеокиснюючу активність проявляють представники актиноміцетів, мікроміцетів та дріжджів. Серед актиноміцетів особливу увагу привертає чисельний рід *Streptomyces*. Виділені гриби – деструктори вуглеводнів належать до 27 родів (р. *Trichoderma*, *Mortierella*, *Aspergillus*, *Penicillium* та ін.). Серед деструкторів ґрунтового походження, що належать до 31 роду, є представники роду *Candida* (*C. lipolitica*, *C. guillirmondii*), здатні трансформувати вуглеводні як в аеробних, так і анаеробних умовах [48].

ВИСОКОАКТИВНІ БІОПРЕПАРАТИ, ОСНОВОЮ ЯКИХ Є МІКРООРГАНІЗМИ-НАФТОДЕСТРУКТОРИ

В Інституті біології УНЦ РАН виведено новий консорціум нафтоокиснюючих бактерій *Bacillus brevis* та *Artrobacter species*, що становить основу біопрепарату-нафтодеструктора «Ленойл». Вказаний біопрепарат успішно застосовується для очищення забруднених ґрунтів [42].

Успенський та інші у своїй праці акцентували увагу на тому, що першим етапом розкладання нафтопродуктів у природному середовищі є фізико-хімічне розкладання, дегазація, винесення нафти, ультрафіолетова деструкція. На другому етапі деградація нафти в процесі біодеструкції включає вже десятки мікроорганізмів. Провідну роль відіграють псевдомонади (р. *Pseudomonas*), мікобактерії (р. *Bacillus*), а також роди *Candida*, *Aspergillus* та ін. Третій етап відповідає стадії деградації поліаренів за участі різних груп мікроорганізмів. Кінцеві продукти, що утворюються при розкладанні нафти, – оксикерити та гумінокерити [49].

Кобизева Н.В. та інші у своїй роботі використовували біопрепарат «Ленойл» на адсорбентах, що не призводило до зміни видового складу консорціума бактерій *Bacillus brevis*, *Artrobacter species* ІБДТ5, характерного для біопрепарату відповідно до ТУ 9291-016-22657427-2002. Проаналізувавши результати дослідження очищення стічних вод у ферментері з мікроорганізмами біопрепарату «Ленойл», іммобілізованими на керамзиті, встановили, що ступінь біодеструкції забруднюючих речовин, а саме: вуглеводні та їхніх похідні, за час експерименту впродовж 3-4 діб становив 95,4 мас.%. Показник ХСК стічних вод у результаті очищення зменшився від 4523,8 мг/дм³ до 2497,4 мг/дм³, що становить 44,8 % від вихідного показника [50, 51].

Ступінь біодеструкції вуглеводнів та їхніх похідних мікроорганізмами біопрепарату «Ленойл», іммобілізованими на синтепоні впродовж 3 діб, становив 99,3 мас.%. Показник ХСК стічних вод у цьому дослідженні зменшився на 61,7 %, порівняно із вихідними даними [50].

Ступінь біодеструкції вуглеводнів та їхніх похідних мікроорганізмами біопрепарату «Ленойл», іммобілізованими на активованому вугіллі впродовж 3 діб, становив 99,8 мас.%. Показник ХСК стічних вод у цьому дослідженні зменшився на 79,0 %, порівняно із вихідними даними [50].

Чисельність консорціуму мікроорганізмів *Bacillus brevis*, *Artrobacter species* у стічних водах на завершальному етапі експерименту відповідає показнику 10⁷ КОЕ/мл.

Використовуючи в дослідженні локального очищення стічних вод бактерії *Serratia species* ІБЗ-1, іммобілізовані на носіях різного походження, доведено можливість упродовж короткого періоду досягти високого ступеня біодеструкції (96,1-99,3 мас.%) забруднюючих речовин – вуглеводнів та їхніх похідних. Чисельність мікроорганізмів у

стічних водах на завершальному етапі експерименту відповідає показнику 10^5 - 10^7 КОЕ/мл [52].

На думку Андреевої І. С., для відновлення забруднених нафтопродуктами морських акваторій найефективнішими є біопрепарати на основі природних вуглеводноокисних мікроорганізмів, що були виділені в конкретній кліматичній зоні, оскільки алохтонна мікробіота, що вноситься у вигляді біопрепаратів, може пригнічувати аборигенні мікробні популяції [53].

Куликова І. Ю. вважає, що переваги застосування природних мікроорганізмів та їхніх угруповань пов'язані із їхньою стійкістю до впливу біотичних факторів, адаптованістю до умов середовища, де безпосередньо використовуються. У своєму дослідженні очищення морської води від нафтових вуглеводнів, у тому числі поліциклічних ароматичних, вона використовувала біопрепарат «Phyloil» на основі штаму *Phyllobacterium myrsinacearum* DKS-1, виділеного в результаті проведення мікробіологічних моніторингових досліджень шельфових вод Північного Каспію в районі видобутку вуглеводневої сировини [54]. Під час польового дослідження було встановлено, що при використанні біопрепарату ліквідовано сумарних нафтових вуглеводнів приблизно 84%, що на 50% перевищує аналогічних показник порівняно з контролем, де спостерігався процес природнього самоочищення водного середовища без внесення будь-яких речовин.

Інститутом мікробіології і вірусології НАН України спільно з УДЦ екології нафти і газу розроблено і впроваджено у виробництво бактеріальний препарат «ДЕСНА» – сорбент-деструктор вуглеводнів, який може використовуватися для очищення ґрунту і води, забруднених нафтою і нафтопродуктами. Препарат «ДЕСНА» відрізняється від аналогів тим, що як біологічний агент застосовано спорову бактерію *Bacillus megaterium* ІМВ В-7003. Це дозволяє проводити обробку забруднених зон у будь-який сезон року. Препарат «ДЕСНА» ефективно деструктує вуглеводні нафти в діапазоні температур від +4 до +40 °С. Препарат пройшов промислові випробування і успішно застосовується на підприємствах, а також для очищення поверхневих зливових вод на станціях очищення в м. Києві [55].

Спеціалістами компанії «Ростехинформ» розроблено та впроваджено в технологічний процес біопрепарат нафтодеструкції «Рустеко», активною складовою якого є продуктивні непатогенні штами *Bacillus subtilis* 115-10 та *Pseudomonas sp.* 210-7. Біопрепарат володіє широким спектром окислювальної активності, деструктує n-парафіни різноманітних фракцій, дизельне паливо, нафту, мазут, мастила, органічну частину нафтошламів, здатен до росту в широкому діапазоні температур і рН середовища [56].

При застосуванні біопрепарату «Рустеко» ступінь біологічної деструкції нафтошламу через 72 години становить до 95% для парафінів, 97% – для дизельного палива, 95% – для нафтопродуктів. Ступінь деструкції нафтових вуглеводнів за один вегетаційний період становить 85% [57].

Перспективи подальшого дослідження полягають у розробці методів біологічного очищення навколишнього середовища від нафтопродуктів із використанням мікроорганізмів зокрема, обрати біотехнологію, засновану на іммобілізації специфічних видів мікроорганізмів на штучному волокні, з метою її використання для вирішення питання забруднення водного середовища стічними водами промислового сектору господарювання.

УЗАГАЛЬНЕННЯ

Однією з основних екологічних проблем сучасності є забруднення вуглеводнями та їхніми похідними навколишнього середовища в результаті антропогенної діяльності. Очищення водного середовища від нафтопродуктів проводиться хімічними, фізичними та електрохімічними способами, технологія яких трудомістка, потребує великих

матеріальних витрат та не завжди забезпечує високий ступінь очищення. Усі біологічні способи очищення від вуглеводнів засновані на підборі способу іммобілізації певної культури мікроорганізмів, спеціалізованої на деструкції вуглеводнів.

Проаналізувавши літературні дані щодо очищення водного середовища від нафтопродуктів, обрали найбільш перспективний, на наш погляд, спосіб біологічного очищення стічних вод. Використання носія з ультратонкого хімічного гладкого й текстурованого волокна, що забезпечує бездоганний масообмін і відмінну перманентну регенерацію носія, на якому розвивається біоплівка мікроорганізмів-деструкторів, дозволить досягти найбільшої ефективності від застосування біологічного способу очищення стічних вод.

Обрану методику іммобілізації мікроорганізмів запроваджено в наші дослідження очищення стічних вод від важких металів та нафтопродуктів на промисловій водоймі великого промислового підприємства м. Запоріжжя.

ЛІТЕРАТУРА

1. Очистка стічних вод заводу АТ «МОТОР СІЧ» мікроорганізмами, що іммобілізовані на штучних носіях / [К. С. Крупей, А. О. Скокова, О. Ф. Рильський та ін.] // Питання біоіндикації та екології. – 2014. – Вип. 19, № 2. – С. 224–236.
2. Пат. 97747 Україна, МПК С 02 F 3/02 (2006.01). Спосіб аеробного біологічного очищення стічних вод / П. І. Гвоздяк, Л. І. Глоба, Л. А. Саблій; заявник та патентовласник Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». – № а201014394; заява 01.12.10; опубл. 12.03.12, Бюл. № 5.
3. Пат. 33353 Україна, МПК С 02 F 3/30 (2006.01). Спосіб біологічного очищення стічних вод / П. І. Гвоздяк, Є. В. Кузьмінський, Л. А. Саблій; заявник та патентовласник Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». – № а201006126; заява 20.05.10; опубл. 10.06.11, Бюл. № 11.
4. Miyoshi myopathy [Electronic resource] // Genetics Home Reference – Access to resources: <https://ghr.nlm.nih.gov/condition/miyoshi-myopathy>.
5. Treatment of heavy oil wastewater by a conventional activated sludge process coupled with an immobilized biological filter [Electronic resource] / [Kun Tonga, Yihe Zhanga, Guohua Liub, Zhengfang Yeb] // International Biodeterioration & Biodegradation. – 2013. – Vol. 84. – P. 65–71. – Access to resources: <http://eprints.soton.ac.uk/189055/>.
6. Сребняк Е.А. Биопрепарат «Морской снег» для восстановления акваторий, загрязненных нефтью и нефтепродуктами, и его экологическая оценка / Е. А. Сребняк // Ежемесячный научно-технический журнал: Экология и промышленность России. – 2014. – (сентябрь). – С. 42–44.
7. Дзержинская И.С. Микроорганизмы в процессах деструкции и биоремедиации (проблемные лекции) / И.С. Дзержинская, А.А. Курапов. – Астрахань : Сорокин Р.В., 2009. – 240 с.
8. Гвоздяк П.І. Біоконвеєр: «українська модифікація» технології активного мулу / П.І. Гвоздяк // Водопостачання та водовідведення. – 2014. – № 1. – С. 29–32.
9. Синев О.П. Интенсификация биологической очистки сточных вод [Текст] / О.П. Синев. – К. : Техніка, 1983. – 110 с.

10. Экологическая биотехнология / К.Ф. Форстер, Д.В.М. Джонстон, Д. Барнес, под ред. К.Ф. Форстера, Д.А.Дж. Вейза, пер. с англ. В.А. Дымшица, под ред. А.И. Гинака. – Л. : Химия, 1990. – 382 с.
11. Плешакова Е.В. Биодegradация нефтяных углеводов штаммом *Dietzia maris*, ее генетические особенности / Е.В. Плешакова // Известия Саратовского университета. – 2007. – № 1. – С. 54–57.
12. Бутаев А. М. О роли углеводородокисляющих микроорганизмов в процессах самоочищения прибрежных вод Дагестанского побережья Каспийского моря от нефтяного загрязнения / А.М. Бутаев, Н.Ф. Кабыш // Вестник Дагестанского научного центра РАН. – 2002. – № 11. – С. 28–42.
13. Держинская И. С. Биодegradация нефтяных углеводов микроорганизмами морской воды / И.С. Держинская, И.Ю. Куликова. – М. : Изд-во ФИАН, 2003. – С. 86–90.
14. Латкин А. Ю. Геоэкологическое состояние компонентов природной среды Европейского Севера в результате загрязнений нефтепродуктами : дис. канд. геол.-мин. наук : 25.00.36 «Геоэкология» / Латкин Алексей Юрьевич. – Архангельск, 2010. – 182 с.
15. Янкевич М. И. Формирование ремедиационных биоценозов для снижения антропогенной нагрузки на водные и почвенные экосистемы : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. биол. наук : спец. 03.00.23 «Биотехнология» / Янкевич Марина Ивановна. – М., 2002. – 50 с.
16. Сунцева Н.В. Использование иммобилизованной микрофлоры в очистке сточных вод [Электронный ресурс] / Н.В. Сунцева // Labionica. – 2011. – Режим доступа к ресурсу: <http://www.labionica.ru/files/>.
17. Ильина Е.А. О возможности применения биологического способа очистки грунтов от нефтяного загрязнения в районах промышленных предприятий / Е. А. Ильина, Ю.В. Шувалов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2004. – С. 155–159.
18. Держинская И.С. Микробиологические способы очистки водных поверхностей и прибрежной зоны от нефтяного загрязнения / И.С. Держинская, И.Ю. Куликова // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2008. – № 4. – С. 22–25.
19. Патент Российская Федерация, МПК С 12 N 1/20. Способ очистки водных поверхностей от нефтяного загрязнения / О. Н. Логинов, Н. Н. Силищев и др. – № 2241032; заявл. 03.12.2002; опубл. 27.11.04, Бюл. 33.
20. Глоба Л. І. Біологічна денонсація хімічних патогенів у водному середовищі / Л. І. Глоба, П. І. Гвоздяк // Медичні перспективи. – 2012. – Т. XVII. – № 4. – С. 21–25.
21. Гвоздяк П. И. Актуальні питання біологічного очищення води / П. І. Гвоздяк // Ойкумена. – 1992. – № 5–6. – С. 58–70.
22. Технологія біологічного очищення стічних вод Української антарктичної станції академіка Вернадського / Л. А. Саблій, Є. В. Кузьмінський, В. С. Жукова, М. В. Бляшина // Український антарктичний журнал. – 2014. – № 13. – С. 281–287.
23. Пат. 1566675 СССР. Способ очистки воды, МПК А15 С 02 Ф/30 / П. И. Гвоздяк, Н. Ф. Могилевич, А. Д. Денис – № 3360574/24; заявл. 15.11.1989; опубл. 22.01.1990, Бюл. № 19.

24. Водозаборно-очистные сооружения и устройства. Учебное пособие для студентов вузов / Журба М.Г., Вдовин Ю.И., Говорова Ж.М., Лукшин И.А. – М. : Астрель, АСТ, 2003. – 569 с.
25. Гвоздяк П.І. Біотехнологічне знешкодження гексаметилендіамінвмісних промислових токсичних відходів у ставку-накопичувачі / П.І. Гвоздяк, О.В. Сапура, Т. П. Чехівська // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Серія «Технічні науки». – 2015. – Вип. 1(69). – С. 102–110.
26. Разработка технологии очистки сточной воды с использованием иммобилизированной микрофлоры / Н. В. Кобызева, А. Г. Гатауллин, Н. Н. Силищев, О. Н. Логинов // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2009. – С. 104–107.
27. Куликова И. Ю. Микробиологические способы ликвидации последствий аварийных разливов нефти в море / И. Ю. Куликова, И. С. Дзержинская // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2008. – № 5. – С. 24–27.
28. Перспективы применения биосорбентов для очистки водоемов при ликвидации аварийных разливов нефти. Экология и системы жизнеобеспечения / Е.А. Артюх, А.С. Мазур, Т.В. Украинцева, Л. В. Костюк // Известия СПбГТИ(ТУ). – 2014. – № 26. – С. 58–66.
29. Румянцев В.А. Изучение возможности применения магнитных жидкостей для синтеза магнитных сорбентов [Электронный ресурс] / В.А. Румянцев, А.Б. Леченко – Режим доступа до ресурсу: [http://www.limno.org.ru/win/eo.htm\(17.03.04\)/](http://www.limno.org.ru/win/eo.htm(17.03.04)/).
30. Биопрепараты – деструкторы нефти и нефтепродуктов. Курс лекций НП «Учебно-курсовой комбинат» [Электронный ресурс] // НП «Учебно-курсовой комбинат». – 2014. – Режим доступа до ресурсу : <http://www.npukk.ru/?q=node/252/>.
31. Калыгин В. Г. Промышленная экология: учеб. пособие для вузов / В. Г. Калыгин. – М. : Академия, 2010. – 432 с.
32. Candida albicans Inhibits Pseudomonas aeruginosa Virulence through Suppression of Pyochelin and Pyoverdine Biosynthesis [Electronic resource] / Lopez-Medina E, Fan D, Coughlin L. A et al.] // PLoS Pathog. – 2015. – Access to resources: <http://journals.plos.org/plospathogens/article?id=10.1371/journal.ppat.1005129>.
33. Structural and Molecular Mechanism of CdpR Involved in Quorum-Sensing and Bacterial Virulence in Pseudomonas aeruginosa [Electronic resource] / Zhao J, Yu X, Zhu M, Kang H, Ma J, Wu M, et al // PLoS Biol. – 2016. – Access to resources: <http://journals.plos.org/plosbiology/article?id=10.1371/journal.pbio.1002449>.
34. Alternative Mating Type Configurations (a/a versus a/a or a/a) of Candida albicans Result in Alternative Biofilms Regulated by Different Pathways [Electronic resource] / Song Yi, Nidhi Sahni, Karla J. Daniels, et al.] // PLoS Biol. – 2011. – Access to resources: <http://journals.plos.org/plosbiology/article?id=10.1371/journal.pbio.1001117>.
35. Bistability in a Metabolic Network Underpins the De Novo Evolution of Colony Switching in Pseudomonas fluorescens [Electronic resource] / Jenna Gallie, Eric Libby, Frederic Bertels, et al.] // PLoS Biol. – 2015. – Access to resources: <http://journals.plos.org/plosbiology/article?id=10.1371/journal.pbio.1002109>.
36. Biofilm Formation As a Response to Ecological Competition [Electronic resource] / Nuno M. Oliveira, Esteban Martinez-Garcia, Joao Xavier, et al.] // PLoS Biol. – 2015. – Access to resources: <http://journals.plos.org/plosbiology/article?id=10.1371/journal.pbio.1002191>.

37. Чачина С. Б. Деструкция углеводов нефти с использованием микробиологических препаратов «Байкал-ЭМ», «Тамир», «Восток» / С. Б. Чачина, С. В. Болтунова, Н. В. Черкашин // Омский научный вестник. – 2015. – № 1(138). – С. 221–225.
38. Нафтоокиснювальна активність деяких штамів бактерій роду *Pseudomonas* / [Т. В. Гудзенко, О. В. Волювач, Т. О. Беляева та ін.] // Мікробіологія і біотехнологія. – 2013. – С. 72–80.
39. Костина Е. Г. Изучение возможности использования рода *Rhodococcus* для деградации дизельного топлива / Е. Г. Костина, Н. А. Атыкян, В. В. Ревин // Современные наукоемкие технологии. – 2008. – № 2. – С. 91–93.
40. Гоголева О. А. Каталазная активность углеводородокисляющих бактерий : дис. ... канд. биол. наук : 03.02.03 «Микробиология» / Гоголева Ольга Александровна. – Оренбург, 2012. – 147 с.
41. Биоиндикация и реабилитация экосистем при загрязнении нефтью / [А. В. Кураков, В. В. Ильинский, С. В. Котелевцев и др.]. – М. : Графика, 2006. – 336 с.
42. Пат. 2268934 Российская Федерация, МПК С 12 N 1/20 (2006.01), С 02 F 3/34 (2006.01), С 12 R 1/01 (2006.01). Штамм *Phyllobacterium myrsinacearum* DKS-1 для деструкции нефтяных углеводов солоноватоводных экосистем / Держинская И. С., Куликова И. Ю., О. Б. Сопрунова. – № 2268934 ; заявл. 28.10.03 ; опубл. 27.01.06, Бюл. № 3.
43. Куликова И. Ю. Микроорганизмы в процессе самоочищения шельфовых вод Северного Каспия от нефтяного загрязнения : автореф. дис. на соискание наук. ступеня канд. биол. наук : спец. 03.00.18 «Гидробиология» / Куликова И. Ю. – М., 2004. – 24 с.
44. Куликова И. Ю. Углеводородокисляющая активность штамма *Phyllobacterium myrsinacearum* [Электронный ресурс] / И. Ю. Куликова // Электронный журнал «Исследовано в России». – 2006. – Режим доступа к ресурсу: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2006/179.pdf>.
45. Психротолерантные штаммы-нефтедеструкторы для биоремедиации почв и водной среды / [И. С. Андреева, Е. К. Емельянова, С. Н. Загребельный и др.] // Биотехнология. – 2006. – № 1. – С. 43–52.
46. Применение штаммов бактерий рода *Acinrtobacter*: *A. Calcoeticus* 134 (В-3780), АСКС-1 (В-2838) и *Acinrtobacter* SP.(В-5064) для биодеструкции нефти и нефтепродуктов в почве / В. П. Подольский, А. А. Быкова, М. Ю. Шевченко, Е. В. Гриднева // Научный Вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. – 2014. – С. 173–177.
47. Коршунова Т. Ю. Перспективы использования консорциума углеводородокисляющих микроорганизмов для очистки нефтезагрязненной почвы Крайнего Севера / Т. Ю. Коршунова, С. П. Четвериков, О. Н. Логинов // Теоретическая и прикладная экология. – 2016. – № 1. – С. 88–94.
48. Козлов Г. В. Разнообразие деструкторов полициклических, ароматических углеводов / Г. В. Козлов, А. В. Гарабаджиу, А. А. Анкудинова // Российский химический журнал. – 2011. – № 1. – С. 108–119.
49. Бискэ Н. С. Является ли шунгит А. А. Иностранцева антрацитом / Н. С. Бискэ; под ред. В. В. Аркадьева // Науч. конф., посвящ. памяти члена-корреспондента Петербургской Академии Наук, основателя кафедры геологии, геологического музея

- и геологического кабинета, профессора Санкт-Петербургского университета А. А. Иностранцева: материалы конф., (С.-Петербург 19-21 ноября 2009 г.) / – СПб. : С.-Петербургский университет, 2009. – С. 28–30.
50. Пат. 2232806 Российская Федерация, МПК С 12 N 1/20, С 02 F 3/34, В 09 С 1/10, С 12 N 1/20, С 12 R 1:08, С 12 N 1/20, С 12 R 1:06. Консорциум штаммов микроорганизмов *Vacillus brevis* и *Arthrobacter species*, используемых для очистки воды и почвы от нефти и нефтепродуктов / заявитель и патентообладатель Институт биологии Уфимского научного центра РАН (RU). – № 2002121985 ; заявл. 12.08.2002 ; опубл. 20.06.04, Бюл. 13.
 51. Биорекультивация промышленных отвалов отбеливающей земли, содержащей нефтепродукты / [А. Г. Биккинина, О. Н. Логинов, Н. Н. Силищев и др.] // Экология и промышленность России. – 2007. – Февраль. – С. 8–9.
 52. Разработка технологии очистки сточной воды с использованием иммобилизированной микрофлоры / Н. В. Кобызева, А. Г. Гатауллин, Н. Н. Силищев, О. Н. Логинов // Вестник ОГУ. – 2009. – Январь. – С. 104–107.
 53. Психротолерантные штаммы–нефтедеструкторы для биоремедиации почв и водной среды / [И. С. Андреева, Е. К. Емельянова, С. Н. Загребельный и др.] // Биотехнология. – 2006. – № 1. – С. 43–52.
 54. Куликова И.Ю. Биопрепарат на основе углеводородокисляющего штамма *Phyllobacterium myrsinacearum* DKS-1 для восстановления нефтезагрязненных морских акваторий / И. Ю. Куликова // Вода: химия и экология. – 2011. – № 7 (июль). – С. 59–64
 55. Дульгеров О.М. Біотехнологічний підхід до очищення ґрунтів, забруднених вуглеводнями нафти і нафтопродуктів, з використанням препарату «Десна» / О.М. Дульгеров, Т.Л. Качур, А.Ю. Нудьга // Вісник ОНУ. – Т. 6, Випуск 4. – 2001. – С. 90–93.
 56. Черных М.С. Нефтедеструкция и биоремедиация / М.С. Черных, А.В. Садчиков // ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет». – 2014. – 294 с.
 57. Утилизация нефти в почве и воде микробными клетками / [Л.Ф. Сужко, Б.П. Финкельштейн, Б.П. Баскунов та ін.] // Микробиология. – 1995. – Т. 64, № 3. – С. 393–398.

REFERENCES

1. Ochistka stichnih vod zavodu AT «MOTOR SICH» mikroorganizmami, shho immobilizovani na shtuchnih nosijah / [K.S. Krupyej, A.O. Skokova, O.F. Ril's'kij ta in.] // Pitannja bioindikaciyi ta ekologiyi. – 2014. – Vip. 19, № 2. – S. 224–236.
2. Pat. 97747 Ukrayina, МПК С 02 F 3/02 (2006.01). Sposib aerobnogo biologichnogo ochishhennja stichnih vod / P.I. Gvozdjak, L.I. Globa, L.A. Sablij; zajavnik ta patentovlasnik Nacional'nij tehnicnij universitet Ukrayini «Kiyivs'kij politehnicnij institut». – № a201014394; zajava 01.12.10; opubl. 12.03.12, Bjul. № 5.
3. Pat. 33353 Ukrayina, МПК С 02 F 3/30 (2006.01). Sposib biologichnogo ochishhennja stichnih vod / P. I. Gvozdjak, Ye. V. Kuz'mins'kij, L. A. Sablij; zajavnik ta patentovlasnik Nacional'nij tehnicnij universitet Ukrayini «Kiyivs'kij politehnicnij institut». – № a201006126; zajava 20.05.10; opubl. 10.06.11, Bjul. № 11.
4. Miyoshi myopathy [Electronic resource] // Genetics Home Reference – Access to resources: <https://ghr.nlm.nih.gov/condition/miyoshi-myopathy>.
5. Treatment of heavy oil wastewater by a conventional activated sludge process coupled with an immobilized biological filter [Electronic resource] / [Kun Tonga, Yihe Zhanga, Guohua Liub, Zhengfang Yeb] // International Biodeterioration & Biodegradation. – 2013. – Vol. 84. – P. 65–71. – Access to resources: <http://eprints.soton.ac.uk/189055/>.

6. Srebnjak E.A. Biopreparat «Morskoj sneg» dlja vosstanovlenija akvatorij, zagrijaznennyh neft'ju i nefteproduktami, i ego jekologicheskaja ocenka / E.A. Srebnjak // *Ezhemesjachnyj nauchno-tehnicheskij zhurnal: Jekologija i promyshlennost' Rossii*. – 2014. – (sentjabr'). – S. 42–44.
7. Dzerzhinskaja I.S. Mikroorganizmy v processah destrukcii i bioremediacii (problemnye lekci) / I.S. Dzerzhinskaja, A.A. Kurapov. – Astrahan' : Sorokin R.V., 2009. – 240 s.
8. Gvozdjak P.I. Biokonveyer: «ukrayins'ka modifikacija» tehnologii aktivnogo mulu / P. I. Gvozdjak // *Vodopostachannja ta vodovidvedennja*. – 2014. – № 1. – S. 29–32.
9. Sinev O.P. Intensifikacija biologicheskoy ochistki stochnyh vod [Tekst] / O.P. Sinev. – K. : Tehnika, 1983. – 110 s.
10. Jekologicheskaja biotehnologija / K.F. Forster, D.V.M. Dzhonston, D. Barnes, pod red. K. F. Forstera, D.A.Dzh. Vejza, per. s angl. V.A. Dymshica, pod red. A.I. Ginaka. – L. : Himija, 1990. – 382 s.
11. Pleshakova E.V. Biodegradacija neftjanyh uglevodorodov shtammom *Dietzia maris*, ee geneticheskie osobennosti / E.V. Pleshakova // *Izvestija Saratovskogo universiteta*. – 2007 – № 1. – S. 54–57.
12. Butaev A. M. O roli uglevodorodokisljajushhij mikroorganizmov v processah samoochishhenija pribrezhnyh vod Dagestanskogo poberezh'ja Kaspijskogo morja ot neftjanogo zagrijaznenija / A. M. Butaev, N. F. Kabysch // *Vestnik Dagestanskogo nauchnogo centra RAN*. – 2002. – № 11. – S. 28–42.
13. Dzerzhinskaja I. S. Biodegradacija neftjanyh uglevodorodov mikroorganizmami morskoy vody / I.S. Dzerzhinskaja, I.Ju. Kulikova. – Izdatel'stvo FIAN, 2003. – S. 86–90.
14. Latkin A. Ju. Geojekologicheskoe sostojanie komponentov prirodnoj sredy Evropejskogo Severa v rezul'tate zagrijaznenij nefteproduktami : dis. kand. geol.-min. nauk : 25.00.36 «Geojekologija» / Latkin Aleksej Jur'evich. – Arhangel'sk, 2010. – 182 s.
15. Jankevich M. I. Formirovanie remediacionnyh biocenozov dlja snizhenija antropogennoj nagruzki na vodnye i pochvennye jekosistemy : avtoref. dis. na zdobtija nauk. stupenja dokt. biol. nauk : spec. 03.00.23 «Biotehnologija» / Jankevich Marina Ivanovna. – M., 2002. – 50 s.
16. Sunceva N.V. Ispol'zovanie immobilizovannoj mikroflory v ochistke stochnyh vod [Elektronnyj resurs] / N.V. Sunceva // *Labionica*. – 2011. – Rezhim dostupa k resursu: /<http://www.labionica.ru/files/>.
17. Il'ina E.A. O vozmozhnosti primenenija biologicheskogo sposoba ochistki gruntov ot neftjanogo zagrijaznenija v rajonah promyshlennyh predpriyatij / E.A. Il'ina, Ju.V. Shuvalov // *Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten' (nauchno-tehnicheskij zhurnal)*. – 2004. – S. 155–159.
18. Dzerzhinskaja I.S. Mikrobiologicheskije sposoby ochistki vodnyh poverhnostej i pribrezhnoj zony ot neftjanogo zagrijaznenija / I.S. Dzerzhinskaja, I.Ju. Kulikova // *Zashhita okruzhajushhej sredy v neftegazovom komplekse*. – 2008. – № 4. – S. 22–25.
19. Patent Rossijskaja Federacija, MPK S 12 N 1/20. Sposob ochistki vodnyh poverhnostej ot neftjanogo zagrijaznenija / O. N. Loginov, N. N. Silishhev i dr. – № 2241032; zajavl. 03.12.2002; opubl. 27.11.04, Bjul. 33.
20. Globa L. I. Biologichna denonsacija himichnih patogeniv u vodnomu seredovishhi / L. I. Globa, P. I. Gvozdjak // *Medichni perspektivi*. – 2012. – T. XVII. – № 4. – S. 21–25.
21. Gvozdjak P.I. Aktual'ni pitannja biologichnogo ochishhenija vodi / P.I. Gvozdjak // *Ojkumena*. – 1992. – № 5–6. – S. 58–70.
22. Tehnologija biologichnogo ochishhenija stichnih vod Ukrajins'koyi antarktichnoyi stanciji akademika Vernads'kogo / L.A. Sablij, Ye.V. Kuz'mins'kij, V.S. Zhukova, M.V. Bljashina // *Ukrajins'kij antarktichnij zhurnal*. – 2014. – № 13. – S. 281–287.
23. Pat. 1566675 SSSR. Sposob ochistki vody, MPK A15 S 02 F/30 / P.I. Gvozdjak, N. F. Mogilevich, A. D. Denis – № 3360574/24; zajavl. 15.11.1989; opubl. 22.01.1990, Bjul. № 19.
24. Vodozaborno-ochistnie sooruzhenija i ustrojstva. Uchebnoe posobie dlja studentov vuzov / Zhurba M. G., Vdovin Ju.I., Govorova Zh.M., Lukshin I.A. – M. : Astrel', AST, 2003. – 569 s.
25. Gvozdjak P.I. Biotehnologichne zneshkodzhennja geksametilendiaminvmisnih promislovih toksichnih vidhodiv u stavku-nakopichuvachi / P.I. Gvozdjak, O.V. Sapura, T.P. Chehivs'ka // *Visnik Nacional'nogo universitetu vodnogo gospodarstva ta prirodokoristuvannja*. – Serija «Tehnichni nauki». – 2015. – Vip. 1(69). – S. 102–110.

26. Razrabotka tehnologii ochistki stochnoj vody s ispol'zovaniem immobilizirovannoj mikroflory / N. V. Kobzyeva, A.G. Gataullin, N.N. Silishhev, O.N. Loginov // Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta. – 2009. – S. 104–107.
27. Kulikova I. Ju. Mikrobiologicheskie sposoby likvidacii posledstvij avarijnyh razlivov nefiti v more / I. Ju. Kulikova, I.S. Dzerzhinskaja // Zashhita okruzhajushhej sredy v neftegazovom komplekse – 2008. – № 5. – S. 24–27.
28. Perspektivy primeneniya biosorbentov dlja ochistki vodoemov pri likvidacii avarijnyh razlivov nefiti. Jekologija i sistemy zhizneobespechenija / E.A. Artjuh, A.S. Mazur, T.V. Ukraineva, L.V. Kostjuk // Izvestija SPbGTI(TU). – 2014. – № 26. – S. 58–66.
29. Rumjancev V. A. Izuchenie vozmozhnosti primeneniya magnitnyh zhidkostej dlja sinteza magnitnyh sorbentov [Elektronnij resurs] / V. A. Rumjancev, A. B. Lechenko – Rezhim dostupu do resursu : [http://www.limno.org.ru/win/eco.htm\(17.03.04\)](http://www.limno.org.ru/win/eco.htm(17.03.04)).
30. Biopreparaty – destruktory nefiti i nefteproduktov. Kurs lekcij NP «Uchebno-kursovoj kombinat» [Elektronnij resurs] // NP «Uchebno-kursovoj kombinat». – 2014. – Rezhim dostupu do resursu: <http://www.npukk.ru/?q=node/252/>.
31. Kalygin V. G. Promyshlennaja jekologija: ucheb. posobie dlja vuzov / V. G. Kalygin. – M. : Akademija. – 2010. – 432 s.
32. Candida albicans Inhibits Pseudomonas aeruginosa Virulence through Suppression of Pyochelin and Pyoverdine Biosynthesis [Electronic resource] / Lopez-Medina E, Fan D, Coughlin L. A et al.] // PLoS Pathog. – 2015. – Access to resources: <http://journals.plos.org/plospathogens/article?id=10.1371/journal.ppat.1005129>.
33. Structural and Molecular Mechanism of CdpR Involved in Quorum-Sensing and Bacterial Virulence in Pseudomonas aeruginosa [Electronic resource] / Zhao J, Yu X, Zhu M, Kang H, Ma J, Wu M, et al // PLoS Biol. – 2016. – Access to resources: <http://journals.plos.org/plosbiology/article?id=10.1371/journal.pbio.1002449>.
34. Alternative Mating Type Configurations (a/a versus a/a or α/α) of Candida albicans Result in Alternative Biofilms Regulated by Different Pathways [Electronic resource] / Song Yi, Nidhi Sahni, Karla J. Daniels, et al.] // PLoS Biol. – 2011. – Access to resources: <http://journals.plos.org/plosbiology/article?id=10.1371/journal.pbio.1001117>.
35. Bistability in a Metabolic Network Underpins the De Novo Evolution of Colony Switching in Pseudomonas fluorescens [Electronic resource] / Jenna Gallie, Eric Libby, Frederic Bertels, et al.] // PLoS Biol. – 2015. – Access to resources: <http://journals.plos.org/plosbiology/article?id=10.1371/journal.pbio.1002109>.
36. Biofilm Formation As a Response to Ecological Competition [Electronic resource] / Nuno M. Oliveira, Esteban Martinez-Garcia, Joao Xavier, et al.] // PLoS Biol. – 2015. – Access to resources: <http://journals.plos.org/plosbiology/article?id=10.1371/journal.pbio.1002191>.
37. Chachina S. B. Destrukciya uglevodorodov nefiti s ispol'zovaniem mikrobiologicheskikh preparatov «Bajkal-JeM», «Tamir», «Vostok» / S.B. Chachina, S.V. Boltunova, N.V. Cherkashin // Omskij nauchnyj vestnik. – 2015. – № 1(138). – S. 221–225.
38. Naftookisnjuval'na aktivnist' dejakih shtamiv bakterij rodu Pseudomonas / [T.V. Gudzenko, O.V. Voljuvach, T.O. Beljaeva ta in.] // Mikrobiologija i biotehnologija. – 2013. – S. 72–80.
39. Kostina E. G. Izuchenie vozmozhnosti ispol'zovaniya roda Rhodococcus dlja degradacii dizel'nogo topliva / E.G. Kostina, N. A. Atykjan, V. V. Revin // Sovremennye naukoemkie tehnologii. – 2008. – № 2. – S. 91–93.
40. Gogoleva O. A. Katalaznaja aktivnost' uglevodorodokisljajushhih bakterij : dis. ... kand. biol. Nauk : 03.02.03 «Mikrobiologija» / Gogoleva Ol'ga Aleksandrovna. – Orenburg, 2012. – 147 s.
41. Bioindikacija i rehabilitacija jekosistem pri zabrjaznenijah nef'tju / [A. V. Kurakov, V. V. Il'inskij, S. V. Kotelevcev i dr.]. – M. : Grafikoj, 2006. – 336 s.
42. Pat. 2268934 Rossijskaja Federacija, MPK C 12 N 1/20 (2006.01), C 02 F 3/34 (2006.01), C 12 R 1/01 (2006.01). Shtamm Phyllobacterium myrsinacearum DKS-1 dlja destrukcii nef'tjanyh uglevodorodov solonovatovodnyh jekosistem. / Dzerzhinskaja I. S., Kulikova I. Ju., O. B. Soprunova. – № 2268934 ; zajavl. 28.10.03; opubl. 27.01.06, Bjul. № 3.

43. Kulikova I. Ju. Mikroorganizmy v processe samoochishhenija shel'fovyh vod Severnogo Kaspija ot neftjanogo zagryznenija : avtoref. dis. na soiskanie nauk. stupenja kand. biol. nauk : spec. 03.00.18 «Gidrobiologija» / Kulikova I. Ju. – M., 2004. – 24 s.
44. Kulikova I. Ju. Uglevodorodokisljajushhaja aktivnost' shtamma *Phyllobacterium myrsinacearum* [Elektronnyj resurs] / I. Ju. Kulikova // Elektronnyj zhurnal «Issledovano v Rossii». – 2006. – Rezhim dostupa k resursu: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2006/179.pdf>.
45. Psihrotolerantnye shtammy-neftedestruktory dlja bioremediacii pochv i vodnoj sredy / [I. S. Andreeva, E.K. Emel'janova, S. N. Zagrebel'nyj i dr.] // Biotehnologija. – 2006. – № 1. – S. 43–52.
46. Primenenie shtammov bakterij roda *Acinrtobacter*: *A.Calcoaceticus* 134 (B-3780), ACKS-1 (B-2838) i *Acinrtobacter* SP.(B-5064) dlja biodestrukcii nefti i nefteproduktov v pochve / V. P. Podol'skij, A. A. Bykova, M. Ju. Shevchenko, E. V. Gridneva // Nauchnyj Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. – 2014. – S. 173–177.
47. Korshunova T.Ju. Perspektivy ispol'zovanija konsorciuma uglevodorodokisljajushhih mikroorganizmov dlja ochistki neftezagryznennoj pochvy Krajnego Severa / T.Ju. Korshunova, S.P. Chetverikov, O. N. Loginov // Teoreticheskaja i prikladnaja jekologija. – 2016. – № 1. – S. 88–94.
48. Kozlov G.V. Raznoobrazie destruktoryv policiklicheskih, aromaticeskikh uglevodorodov / G. V. Kozlov, A.V. Garabadzhiu, A.A. Ankudinova // Rossijskij himicheskij zhurnal. – 2011. – № 1. – S. 108–119.
49. Biskje N.S. Javljaetsja li shungit A.A Inostranceva antracitom / N. S. Biskje // Nauch. konf., posvjashh. pamjati chlena-korrespondenta Peterburgskoj Akademii Nauk, osnovatelja kafedry geologii, geologicheskogo muzeja i geologicheskogo kabineta, professora Sankt-Peterburgskogo universiteta A.A. Inostranceva: materialy konf., (S.-Peterburg 19-21 nojabrja 2009 g.) / Pod red. V.V. Arkad'eva. – SPb. : S.-Peterburgskij Universitet, 2009. – S. 28–30.
50. Pat. 2232806 Rossijskaja Federacija, MPK C 12 N 1/20, C 02 F 3/34, B 09 C 1/10, C 12 N 1/20, C 12 R 1:08, C 12 N 1/20, C 12 R 1:06. Konsorcium shtammov mikroorganizmov *Bacillus brevis* i *Arthrobacter species*, ispol'zuemyh dlja ochistki vody i pochvy ot nefti i nefteproduktov / zajavitel' i patentoobladatel' Institut biologii Ufimskogo nauchnogo centra RAN (RU). – № 2002121985 ; zajavl. 12.08.2002 ; opubl. 20.06.04, Bjul. 13.
51. Biorekul'tivacija promyshlennyh otvalov otbelivajushhej zemli, sodержashhej nefteprodukty / [A. G. Bikkinina, O. N. Loginov, N. N. Silishhev, i dr.] // Jekologija i promyshlennost' Rossii. – 2007. – fevral'. – S. 8–9.
52. Razrabotka tehnologii ochistki stochnoj vody s ispol'zovaniem immobilizirovannoj mikroflory / N. V. Kobzyeva, A. G. Gataullin, N. N. Silishhev, O. N. Loginov // Vestnik OGU. – 2009. – S. 104–107.
53. Psihrotolerantnye shtammy–neftedestruktory dlja bioremediacii pochv i vodnoj sredy / [I. S. Andreeva, E. K. Emel'janova, S.N. Zagrebel'nyj idr.] // Biotehnologija. – 2006. – № 1. – S. 43–52.
54. Kulikova I. Ju. Biopreparat na osnove uglevodorodokisljajushhego shtamma *Phyllobacterium myrsinacearum* DKS-1 dlja vosstanovlenija neftezagryzennyh morskikh akvatorij / I. Ju. Kulikova // Voda: himija i jekologija. – 2011. – № 7 (ijul'). – S. 59–64
55. Dul'gerov O.M. Biotehnologichnij pidhid do ochishhennja gruntiv, zabrudnenih vuglevodnjami nafti i naftoproduktiv, z vikoristannjam preparatu «Desna» / O.M. Dul'gerov, T.L. Kachur, A.Ju. Nud'ga // Visnik ONU – T. 6, vipusk 4. – 2001. – S. 90–93.
56. Chernyh M.S. Neftedestrukcija i bioremediacija / M. S. Chernyh, A. V. Sadchikov // FGBOU VO «Orenburgskij gosudarstvennyj universitet». – 2014. – 294 s.
57. Utilizacija nefti v pochve i vode mikrobnymi kletkami / [L.F. Suzhko, B.P. Finkel'shtejn, B.P. Baskunov ta in.] // Mikrobiologija. – 1995. – T. 64, № 3. – S. 393–398.