

УДК 631.46:665.61

ВЕМБЕР В. В.^{1*}, ЛАВРИНЕНКО О. М.², БОНДАРЕНКО М. А.¹

¹Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

²Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України

ОСОБЛИВОСТІ РЕАКЦІЇ РІЗНИХ ЛАНОК ҐРУНТОВОЇ МІКРОБІОТИ НА НАФТОВЕ ЗАБРУДНЕННЯ

Нафта та її похідні є одними з найбільш небезпечних забруднювачів навколишнього середовища, що можуть впливати на всі етапи техногенного впливу на екосистеми. Особливу загрозу вони становлять для ґрунтів, які відіграють ключову роль у біогеохімічних кругообігах і підтримці екологічної рівноваги. Усвідомлення характеру змін, які відбуваються у ґрунтовому середовищі під впливом різних концентрацій нафти, а також реакцій ґрунтових мікроорганізмів на ці зміни, є надзвичайно важливим для адекватного оцінювання стану ґрунтових екосистем та обґрунтування вибору ефективних технологій ремедіації.

Метою даної роботи було дослідити реакцію представників ґрунтової мікробіоти, зокрема різних фізіологічних груп бактерій і мікроскопічних грибів, на нафтове забруднення у широкому концентраційному діапазоні. Експериментальні дослідження проводилися на зразках ґрунтів, до яких додавали нафту в концентраціях 1; 5; 10; 50; 100; 200; 300 та 500 см³/кг.

Аналіз результатів показав, що при підвищенні концентрації нафти до 100 см³/кг спостерігалася достовірне лінійне зростання чисельності мікроорганізмів різних екологічних та фізіологічних груп. Однак при подальшому зростанні нафтового навантаження спостерігалася пригнічення мікробної активності — чисельність бактерій значно знижувалася, за винятком вуглеводнеокиснювальних форм, які демонстрували відносну стійкість. При концентрації нафти 500 см³/кг ґрунтова мікрофлора була майже повністю пригнічена, і домінуючими залишалися лише спороутворюючі та вуглеводнеокиснювальні бактерії, здатні до виживання в умовах токсичного навантаження.

Мікроскопічні гриби відрізнялися від бактерій своєю чутливістю на ранніх етапах забруднення: при концентраціях 10–100 см³/кг їх чисельність, за показником КУО, значно зменшувалася. Водночас, у діапазоні високих концентрацій кількість грибів залишалася на стабільному рівні, і при максимальному нафтовому навантаженні (500 см³/кг) вдвічі перевищувала чисельність бактеріальних клітин. Це може свідчити про наявність у частини мікроміцетів адаптаційних механізмів до екстремальних умов нафтового забруднення.

Ключові слова: нафта, забруднення, ґрунти, мікробіота, токсичність, екологічне нормування

DOI: 10.20535/2617-9741.2.2025.333977

* Corresponding author: vvember@gmail.com

Received 26 March 2025; Accepted 24 April 2025

Постановка проблеми

У сучасному світі загострюється проблема забруднення довкілля відходами техногенного походження. Однією з найсерйозніших екологічних загроз є забруднення водних ресурсів і ґрунтів нафтою та нафтопродуктами [1–4]. Вони характеризуються високою стійкістю до природного розкладання через складну хімічну будову та низьку чутливість до впливу зовнішніх чинників, таких як температура, вологість, сонячне випромінювання тощо. Ґрунт, як важливий компонент наземних екосистем, першим зазнає деструктивного впливу нафтових забруднень. Завдяки значній здатності до адсорбції, нафта тривалий час затримується в ґрунтовому середовищі, унаслідок чого порушені території втрачають природну цінність і перетворюються на джерело вторинного забруднення атмосфери, водних об'єктів і харчових ланцюгів [1].

Нормування та оцінка екологічного стану забрудненого нафтопродуктами ґрунту

Для забезпечення ефективного екологічного контролю необхідна об'єктивна інформація про стан ґрунтів, що зазнали нафтового забруднення. Загрозливим вважається рівень забруднення, який перевищує природну здатність ґрунту до самоочищення.

У європейських країнах межа безпечного вмісту нафтопродуктів у ґрунті становить 1–3 г/кг, а рівень від 20 г/кг і вище класифікується як критичний. У багатьох державах пострадянського простору нормативи щодо граничнодопустимих концентрацій (ГДК) нафтопродуктів не встановлені. В Україні для нафти та нафтопродуктів використовують показник орієнтовно допустимої концентрації (ОДК), яка становить 0,2 г/кг, згідно з "Методикою визначення збитків, завданих порушенням природоохоронного законодавства". У документі РД 41-5804046-200-91 встановлено ОДК у розмірі 4 г/кг, що часто використовується на практиці для екологічної оцінки ступеня нафтового забруднення ґрунтів.

Зміни фізичних властивостей ґрунту

У районах, забруднених нафтою, формується специфічне середовище з порушенням мікроклімату, який залежить від мікрорельєфу, складу субстрату, водного та температурного режимів. Підвищується гідрофобність ґрунту та змінюється його колір: у верхньому шарі переважають чорні та сірі відтінки, у нижньому – бурі та охристі. Це спричиняє надмірне поглинання сонячного світла і перегрів ґрунту [5-7]. Якщо у складі забруднювачів присутні солі, паралельно може розвиватися процес засолення (рис. 1).



Рис. 1 – Наслідки забруднення ґрунтів нафтопродуктами

Біологічна реакція ґрунту на нафтове забруднення

Забруднення нафтою може суттєво вплинути на біологічні характеристики ґрунту, зокрема на активність ґрунтових ферментів, які, як правило, знижують свою активність під впливом негативних факторів середовища. За чутливістю до забруднення ферменти можна розташувати у такій послідовності: дегідрогеназа > каталаза > уреаза > інвертаза [3].

Вуглеводні, що входять до складу нафти, змінюють фізико-хімічні параметри ґрунту – погіршують водно-газовий режим, зменшують доступність поживних елементів, змінюють кислотність і структуру, а також чинять безпосередній токсичний вплив. Особливо небезпечними є леткі ароматичні сполуки: бензол, толуол, ксилол; нафталін та деякі водорозчинні компоненти [8]. Ці зміни по-різному впливають на мікроорганізми: деякі пригнічуються, інші – навпаки, активізуються, залежно від складу та концентрації нафтопродуктів, а також біологічних властивостей самих мікроорганізмів.

Найбільш вразливими до забруднення виявилися актиноміцети, нітрифікуючі та целюлозоруйнівні мікроорганізми. Натомість, після забруднення нафтою збільшується чисельність нафтоокислювальних форм і мікроскопічних грибів, здатних використовувати вуглеводні як джерело живлення. Нерідко зростає кількість фітотоксичних та алергенних грибів, які становлять потенційну небезпеку для людини [9–10].

Альгофлора реагує на присутність нафтопродуктів у ґрунті подібно до бактеріальної мікрофлори. За умов низької концентрації (0,01 %) сирої нафти спостерігається стимулюючий ефект на ріст зелених водоростей *Chlorella homosphaera* і *Chlorella vulgaris* (збільшення чисельності на 16 % і 15 % відповідно), тоді як при вищій концентрації (0,3 %) їх популяція помітно скорочується (на 15–20 %) [3]. Найстійкішими до дії нафтопродуктів виявилися ціанобактерії (синьо-зелені водорості), які домінують у забруднених ґрунтах. Існує припущення про їхню здатність до засвоєння нафтових вуглеводнів.

Розуміння трансформацій, які відбуваються в ґрунті під впливом різних кількостей нафти, а також аналіз реакції біоти на ці зміни дають змогу точно оцінити стан ґрунтової екосистеми. Це, своєю чергою, дозволяє розробляти ефективні стратегії ремедіації, адаптовані до конкретних умов нафтового забруднення.

Тому **метою даної роботи** стало дослідження реакції різних ланок ґрунтової мікробіоти на нафтове забруднення.

Порядок виконання та методика досліджень

В роботі досліджували мікробіоту чорнозему типового суглинистого потужного. Зразки ґрунту відбирали з глибини 5–20 см.

Досліджувані зразки ґрунту у повітряно-сухому стані розтирали у ступці, після чого просівали через сито з діаметром отворів 1 мм. Зразки зволожували до 60 % від повної вологоємності, вносячи при цьому сиру нафту. Зволожений ґрунт ретельно перемішували та зволожену пастоподібну масу вносили в чашку Петрі, злегка ущільнюючи її шпателем до формування рівної поверхні.

У роботі використовували нафту Дніпровсько-Донецької нафтогазоносною області. Нафта характеризується темно-бурим забарвленням та вмістом сірки 0,2 %. Густина 0,85 г/см³.

Для визначення реакції ґрунтових мікроорганізмів на нафтове забруднення досліджували динаміку чисельності основних фізіологічних груп бактерій та мікроскопічних грибів у ґрунтах із визначеним вмістом нафти. У даному дослідженні використовували наступні концентрації нафти: 1; 5; 10; 50; 100; 200; 300 та 500 см³/кг.

Чисельність сапрофітних бактерій у ґрунті визначали методом граничних розведень з використанням традиційного поживного середовища – м'ясо-пептонного агару (МПА). Споріві бактерії культивували на середовищі Громико. Вуглеводнеокиснювальні бактерії (ВОБ) визначали на рідкому мінеральному середовищу Таусона з нафтою в якості єдиного джерела вуглецю. Мікроміцети – на крахмало-аміачному агарі (рН 6,5÷7,8).

Дослідження впливу нафтового забруднення на сапрофітну ґрунтову мікрофлору

Дослідження динаміки мікрофлори у забруднених нафтою ґрунтах показало достовірне лінійне зростання чисельності мікроорганізмів-сапрофітів при підвищенні концентрації нафти у діапазоні 10÷100 см³/кг (рис. 2). Подальше підвищення концентрації нафти призводило до експоненційного зниження чисельності сапрофітних бактерій. Концентрація нафти на рівні 500 см³/кг майже повністю придушувала розвиток ґрунтової мікрофлори.

При забрудненні ґрунтів нафтою особливе значення має екологічна група вуглеводнеокиснювальних бактерій (ВОБ), які здатні використовувати нафту та нафтопродукти в якості єдиного джерела вуглецю та енергії. Вуглеводнеокиснювальні мікроорганізми є частиною гетеротрофного співтовариства та присутні як у забруднених нафтою, так і в незабруднених екосистемах. Від інших мікроорганізмів вони відрізняються наявністю комплексу ферментів, які окислюють вуглеводні та здатністю до поглинання гідрофобного субстрату. Забруднення ґрунтів нафтою та нафтопродуктами вносить додаткове джерело вуглецю в екосистему, що стимулює розвиток даної групи бактерій (рис. 3). Зниження чисельності мікроорганізмів даної фізіологічної групи спостерігалось лише при найвищій з досліджених концентрацій.

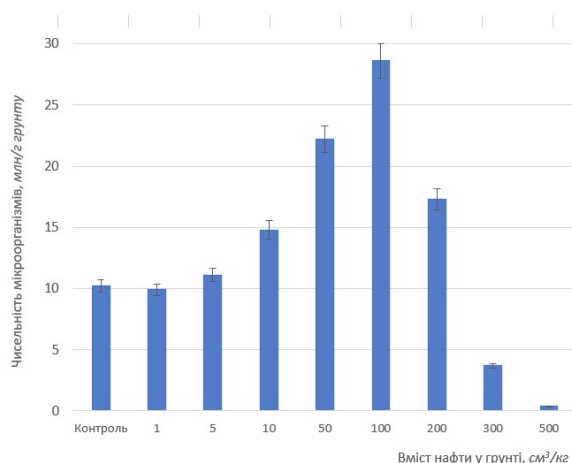


Рис. 2 – Вплив нафтового забруднення на сапрофітну мікрофлору

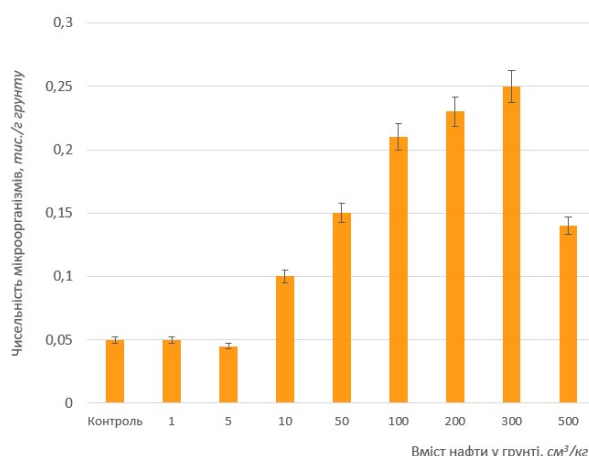


Рис. 3 – Вплив нафтового забруднення на вуглеводнеокиснювальні бактерії

Щодо спороутворюючих бактерій, то вони продемонстрували високу стійкість до нафтового забруднення ґрунтів, чому сприяє висока стійкість спор до багатьох несприятливих факторів середовища (рис. 4). Звертає на себе увагу концентраційний діапазон від 10 до 100 cm^3/kg , при якому чисельність бактерій даної групи сягає максимуму та майже не змінюється. Трохи нижчою є чисельність спороутворюючих бактерій при концентрації нафти на рівні 200 cm^3/kg . При концентрації 500 cm^3/kg чисельність представників спороутворюючих бактерій майже дорівнює чисельності при даній концентрації сапротрофних бактерій, що вказує на те, що основу мікроценозу дослідженого ґрунту при високих концентраціях нафти складають саме спороутворюючі бактерії.

На відміну від бактерій, які при концентрації нафти у ґрунті на рівні 10÷100 cm^3/kg показали зростання чисельності усіх фізіологічних груп в порівнянні з контролем, мікроскопічні гриби продемонстрували різке зниження чисельності колонієутворюючих одиниць (КУО) в даному концентраційному діапазоні (рис. 5). Отриманий результат дещо протирічить усталеному уявленню щодо високої стійкості мікроскопічних грибів до забруднення нафтопродуктами. Проте в діапазоні високих концентрацій нафти їхня кількість зберігалася на майже постійному рівні і при нафтовому навантаженні на рівні 500 cm^3/kg була майже вдвічі вищою за кількість бактерій.

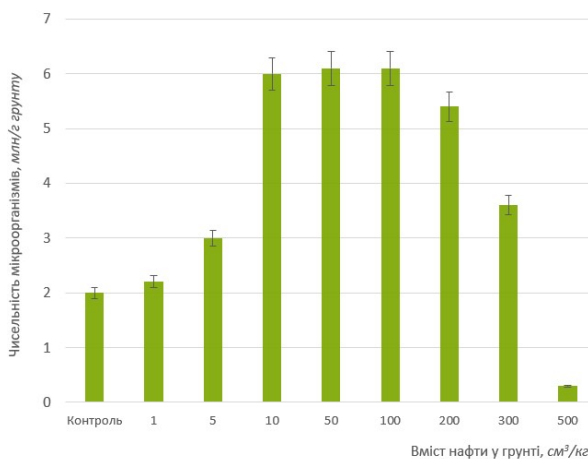


Рис. 4 – Вплив нафтового забруднення на спороутворюючі бактерії

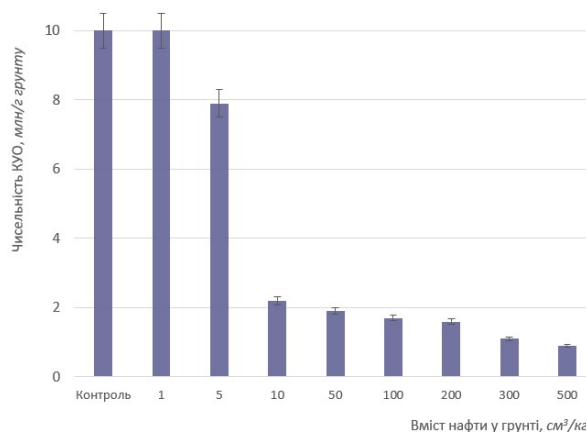


Рис. 5 – Вплив нафтового забруднення на мікроскопічні гриби

Висновки

Нафтова галузь, відіграючи важливу роль у світовій економіці, є одним з найбільш інтенсивних джерел забруднення навколишнього середовища. Видобуток, транспортування, зберігання та збут нафти і нафтопродуктів значно впливають на стан довкілля, приводячи до глибокої зміни всіх його компонентів. В цілому в забруднених нафтою ґрунтах відбувається порушення екологічної рівноваги в ґрунтовій системі; зміна морфологічних, фізичних, фізико-хімічних і хімічних характеристик ґрунтових горизонтів і будови ґрунтового профілю; порушення природного співвідношення між окремими групами і фракціями органічної речовини ґрунтів; проникнення нафти і нафтопродуктів в ґрунтові води; зниження ґрунтової родючості і виникнення токсикологічно небезпечних ситуацій. Відсутність для більшості з нафтопродуктів встановлених нормативів ГДК, унеможливорює врахування екологічної небезпеки сумісної дії вуглеводнів. Інтегральна екологічна оцінка, яка пов'язує рівень нафтового забруднення ґрунтів з впливом на рослинні тест-організми дає кількісне визначення токсичності, вмісту політанта в ґрунті та рівня забруднення і є першою спробою комплексної оцінки такого складного забруднення, як нафтове [11-12].

Мікроорганізми завдяки фізіологічним і генетичним особливостям швидко реагують на зміну якості середовища під дією стресових факторів. У зв'язку з цим їх можна використовувати для оцінювання ступеня і характеру забруднення середовища. До індикаторів біологічного забруднення належать мікроорганізми, що виділяють в середовище гідролітичні ферменти, здатні розщеплювати органічні сполуки. Мікроорганізми дуже важливі для відновлення і очищення нашого навколишнього середовища. Шляхом деструкції мікроорганізми здатні деградувати і трансформувати величезну кількість синтетичних і органічних сполук та інших хімічних речовин, що мають токсичні властивості.

Перспективи подальших досліджень. Виходячи з комплексного впливу нафти на якість та структуру ґрунтів, важливо виділити провідні фактори, які впливають на біологічні властивості ґрунту при різних рівнях його забруднення. Одним з таких факторів є рівень гідрофобності середовища. В подальшому планується вивчення та оцінка гідрофобних властивостей ґрунтів під впливом нафтового забруднення.

Список використаної літератури

1. Білецький В. С. Нафтою й нафтопродуктами забруднення. Енциклопедія Сучасної України: енциклопедія [електронна версія] ред.: І. М. Дзюба, А. І. Жуковський, М. Г. Железняк та ін., НАН України, НТШ. Київ: Інститут енциклопедичних досліджень НАН України. 2020, Т. 22
2. Романюк, О. І.; Ощиповський, І. В.; Шевчик, Л. З. Моніторинг загазованості території м. Борислава. Екологічні науки. 2022, 5(44), 36 – 42. doi: 10.32846/2306-9716/2022.eco.5-44.5
3. Шевчик-Костюк, Л. З.; Романюк, О. І.; Ощиповський, І. В. Особливості забруднення ґрунтів нафтою та нафтопродуктами: огляд. Acta Biologica Ukrainica. 2022, (1), 32-40. <https://doi.org/10.26661/2410-0943-2022-1-04>
4. Шевчик, Л. З., Романюк, О. І. Використання обліпихи крушиновидної для фіторе mediaції нафтозабруднених ґрунтів. Біологічний вісник МДПУ імені Богдана Хмельницького. 2016, 6 (3), 472–480. doi: 10.15421/2016120.
5. Шевчик-Костюк, Л. З.; Романюк, О. І.; Жак Т. В.; Жак О. В.; Рикмас, Я.В. Екологічний моніторинг ґрунтового покриву Бориславського озокеритового родовища. Екологічні науки. 2020, 1(28), 122-129. doi: 10.32846/2306-9716/2020.eco.1-28.18
6. Мірошніченко, М. М. Стійкість ґрунту як основа педоекологічного нормування забруднення. Автореф. дис... д-ра біол. наук: Харків, Нац. наук. центр „Ін-т ґрунтознавства та агрохімії ім.О.Н.Соколовського”, 2005. 37 с.

7. Бабаджанова, О. Ф.; Гринчишин, Ю. Г.; Сукач, Н. М. Міграція нафти і нафтопродуктів у поверхневі шари ґрунту при аварійних розливах. Безпека життя і діяльності людини – освіта, наука, практика: зб. наук. праць X міжнар. наук.-метод. конф. К.: Національний авіаційний університет. 2011, 22-26.
 8. Griffin, L. F.; Calder, G. A. Toxic effect in water-soluble fractions of crude, refined and weathered oils on the growth of a marine bacterium. *Appl. Environ. Microbiol.* 1997, 33(5), 1092-1101. doi: 10.1128/aem.33.5.1092-1096.1977.
 9. Evdokimova, G. A.; Korneykova, M. V.; Lebedeva, E. V. Complexes of potentially pathogenic microscopic fungi in anthropogenic polluted soils. *Environmental science and health. Part A.* 2013, 48 (7), 746- 752. doi: 10.1080/10934529.2013.744615.
 10. El-Sheekh, M. M.; El-Naggar, A. H.; Osman, M. E. H.; Haieder, A. Comparative Studies on the Green Algae *Chlorella Homosphaera* and *Chlorella Vulgaris* with Respect to Oil Pollution in the River Nile. *Water, Air, & Soil Pollution.* 2000, 124 (1-2), 187-204. doi: 10.1023/A:1005268615405.
 11. Романюк, О. І.; Шевчик, Л. З.; Ощеповський, І. В.; Жак, Т. В. Методика екологічного оцінювання нафтозабруднених ґрунтів. *Вісник Дніпропетровського університету. Біологія, екологія.* 2016, 24(2), 264–269. doi:10.15421/011633
 12. Носачова, Ю.; Вембер, В.; Гаврильченко, Б. Оцінка фітотоксичного ефекту при очищенні ґрунтів вуглецевими сорбентами // *Матеріали XXIV Міжнародної науково-практичної конференції «Екологія. Людина. Суспільство» (5 червня 2024 р., м. Київ, Україна) / Укладач Д. Е. Бенатов. – К.: КПІ імені Ігоря Сікорського, 2024: <https://ecoconference.kpi.ua/article/view/304029>*
-

Valeriia Vember, Olena Lavrynenko, Mykhailo Bondarenko

SPECIFIC FEATURES OF THE RESPONSE OF SOIL MICROBIOTA COMPONENTS TO PETROLEUM CONTAMINATION

Oil and petroleum products are among the most hazardous pollutants affecting all stages of technogenesis. They pose a particular threat to soil ecosystems, which play a crucial role in biogeochemical cycles and the maintenance of ecological balance. Understanding the transformations that occur in soil under the influence of varying oil concentrations, as well as the responses of soil microorganisms to such contamination, is essential for the accurate assessment of soil ecosystem conditions and for selecting effective remediation strategies under specific circumstances.

The aim of this study was to investigate the response of different components of soil microbiota—namely, various physiological groups of bacteria and microscopic fungi—to oil pollution across a wide concentration range. Experimental research was conducted on soil samples artificially contaminated with oil at the following concentrations: 1, 5, 10, 50, 100, 200, 300, and 500 cm³/kg.

The results revealed a significant linear increase in the number of microorganisms from various ecological and physiological groups within the 10–100 cm³/kg concentration range. However, a further rise in oil concentration led to a marked decrease in bacterial abundance, except for hydrocarbon-oxidizing bacteria, which remained relatively stable. At the highest contamination level (500 cm³/kg), the soil microbiota was nearly completely suppressed, with only spore-forming and hydrocarbon-oxidizing bacteria persisting, indicating their ability to withstand toxic stress.

Unlike bacteria, microscopic fungi exhibited a sharp decline in colony-forming units (CFU) at moderate oil concentrations (10–100 cm³/kg). Nonetheless, their abundance remained relatively stable at higher oil concentrations, and at 500 cm³/kg, the number of fungal CFUs was nearly twice that of bacteria. This suggests the presence of adaptive mechanisms in certain fungal taxa that enable survival under severe oil contamination.

Keywords: *oil, pollution, soil, microbiota, toxicity, environmental standardization*

References

1. Biletskyi V. S. (2020). Naftoiu y naftoproduktamy zabrudnennia [Pollution by oil and oil products]. Entsyklopediia Suchasnoi Ukrainy: entsyklopediia [elektronna versii] red.: I. M. Dziuba, A. I. Zhukovskiy, M. H. Zhelezniak ta in., NAN Ukrainy, NTSh. Kyiv: Instytut entsyklopedychnykh doslidzhen NAN Ukrainy, V. 22 (Ukr)
2. Romaniuk, O. I.; Oshchapovskiy, I. V.; Shevchyk, L. Z. (2022). Monitorynh zahazovanosti terytorii m. Boryslava [Monitoring of gas pollution in the territory of Boryslav]. Ekolohichni nauky, 5(44), 36 – 42. doi: 10.32846/2306-9716/2022.eco.5-44 (Ukr)
3. Shevchyk-Kostiuk, L. Z.; Romaniuk, O. I.; Oshchapovskiy, I. V. (2022). Osoblyvosti zabrudnennia gruntiv naftoiu ta naftoproduktamy: ohliad [Peculiarities of soil pollution by oil and petroleum products: review]. Acta Biologica Ukrainica, (1), 32-40. doi:10.26661/2410-0943-2022-1-04 (Ukr)
4. Shevchyk, L. Z., Romaniuk, O. I. (2016). Vykorystannia oblipykhy krushynovydnoi dlia fitoremediatsii naftozabrudnennykh hruntiv [Using sea buckthorn for phytoremediation of oil-contaminated soils]. Biolohichniy visnyk MDPU imeni Bohdana Khmelnytskoho, 6 (3), 472–480. doi: 10.15421/2016120 (Ukr)
5. Shevchyk-Kostiuk, L. Z.; Romaniuk, O. I.; Zhak T. V.; Zhak O. V.; Rykmas, Ya.V. (2020). Ekolohichniy monitorynh gruntovoho pokryvu Boryslavskoho ozokerytovoho rodovyscha [Ecological monitoring of the soil cover of the Boryslav ozokerite deposit]. Ekolohichni nauky, 1(28), 122-129. doi: 10.32846/2306-9716/2020.eco.1-28.18 (Ukr)
6. Miroshnychenko, M. M. (2005). Stiikist hruntu yak osnova pedoekolohichnoho normuvannia zabrudnennia [Soil stability as the basis for soil-ecological pollution regulation]. Avtoref. dys... d-ra biol. nauk: Kharkiv, Nats. nauk. tsentr „In-t hruntoznastva ta ahrokhimii im.O.N.Sokolovskoho”, 37 s. (Ukr)
7. Babadzhanova, O. F.; Hrynchyshyn, Yu. H.; Sukach, N. M. (2011). Migrantsiia nafty i naftoproduktiv u poverkhnevi shary gruntu pry avariinykh rozlyvakh [Migration of oil and oil products into surface soil layers during accidental spills]. Bezpeka zhyttia i diialnosti liudyny – osvita, nauka, praktyka: zb. nauk. prats Kh mizhnar. nauk.-metod. konf. K.: Natsionalnyi aviatsiinyi universytet, 22-26
8. Griffin, L. F.; Calder, G. A. (1997). Toxic effect in water-soluble fractions of crude, refined and weathered oils on the growth of a marine bacterium. Appl. Environ. Microbiol., 33(5), 1092-1101. doi: 10.1128/aem.33.5.1092-1096.1977
9. Evdokimova, G. A.; Korneykova, M. V.; Lebedeva, E. V. (2013). Complexes of potentially pathogenic microscopic fungi in anthropogenic polluted soils. Environmental science and health. Part A, 48 (7), 746-752. doi: 10.1080/10934529.2013.744615
10. El-Sheekh, M. M.; El-Naggar, A. H.; Osman, M. E. H.; Haieder, A. (2000). Comparative Studies on the Green Algae Chlorella Homosphaera and Chlorella Vulgaris with Respect to Oil Pollution in the River Nile. Water, Air, & Soil Pollution, 124 (1-2), 187-204. doi: 10.1023/A:1005268615405
11. Romaniuk, O. I.; Shevchyk, L. Z.; Oshchapovskiy, I. V.; Zhak, T. V. (2016). Metodyka ekolohichnoho otsiniuvannia naftozabrudnennykh gruntiv [Methodology for ecological assessment of oil-contaminated soils]. Visnyk Dnipropetrovskoho universytetu. Biolohiia, ekolohiia, 24(2), 264–269. doi:10.15421/011633
12. Nosachova, Yu.; Vember, V.; Havrylchenko, B. (2024). Otsinka fitotoksychnoho efektu pry ochyshchenni gruntiv vuhletsevyimi sorbentamy [Evaluation of the phytotoxic effect during cleaning of soils with carbon sorbents]. Materialy XXIV Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Ekolohiia. Liudyna. Suspilstvo» (5 chervnia 2024 r., m. Kyiv, Ukraina) / Ukladach D. E. Benatov. K.: KPI imeni Ihoria Sikorskoho, 2024: <https://ecoconference.kpi.ua/article/view/304029>