

6. Havura, V. V. Evolutsiya epidemichnogo protsessu leptospirozu v Pivnichnomu regioni Ukrainy [The evolution of the leptospirosis epidemic process in the Northern region of Ukraine] [Text] / V. V. Havura, O. V. Oleksenko // Medication in Ukraine. – 2003. – Issue 7-8. – P. 51–52.
7. Tarasova, V. V. Ekologichna statystyka [Environmental statistics] [Text] / V. V. Tarasova. – Kyiv: Center of educational literature, 2008. – 392 p.
8. Yerina, A. M. Statystychnе modeluvannya ta prognozuvannya [Statistical modelling and forecasting] [Text] / A. M. Yeryna. – Kyiv: KNEU, 2001. – 170 p.
9. Nakonechny, I. V. Vozbuditeli prirodnyh infektsiy v ekosistemah yuga Ukrainy [Natural infectious agents in southern ecosystems of Ukraine] [Text] / I. V. Nakonechny, V. V. Serebryakov. – Kyiv: Tofi Kime, 2012. – 225 p.
10. Description – Introduction [Electronic resource]. – Global Historical Climatology Network-Daily. – 2009. – Available at: <https://www.ncdc.noaa.gov/oa/climate/ghcn-daily>

*Рекомендовано до публікації д-р біол. наук Наконечний І. В.
Дата надходження рукопису 24.01.2017*

Sushko Svitlana, Postgraduate student, Department of biology and ecology, V. O. Sukhomlynsky Mykolaiv national University, Nikolska str., 24, Nikolaev, Ukraine, 54030
E-mail: suhko_sv@mail.ru

УДК 504.622:663.1 + 581.6

DOI: 10.15587/2519-8025.2017.94052

АНАЛІЗ БІОЛОГІЧНИХ СПОСОБІВ ВІДНОВЛЕННЯ НАФТОЗАБРУДНЕНИХ ГРУНТІВ

© Л. З. Шевчик, О. І. Романюк

У статті проаналізовано та обґрунтовано перспективи сучасних біологічних методів відновлення нафтозабруднених ґрунтів. Наведено основні підходи до здійснення біоремедіації. Показано, що найбільш екологічно безпечним, економічно вигідним методом відновлення нафтозабруднених ґрунтів є фіторе-медіація. Розглянуто методи фіторе-медіації нафтозабруднених ґрунтів, вказано найбільш ефективні рослини-ремедіанти. Обґрунтовано доцільність фіторе-медіації техногенних нафтозабруднених ґрунтів з використанням деревних актиноризних рослин

Ключові слова: нафтозабруднені ґрунти, біоремедіація, фіторе-медіація, мікроорганізми-нафтоде-структори, рослини-ремедіанти, деградація земель, відновлення ґрунтів

1. Вступ

Нафтове забруднення є одним з найбільш небезпечних видів забруднення навколишнього середовища. Його негативна дія на ґрунтово-рослинний покрив, атмосферне повітря, поверхневі та підземні води, здоров'я людей відзначається на всіх етапах промислового освоєння нафтових родовищ: буріння, переробки, зберігання, транспортування і ліквідації обладнання. Найбільшого впливу зазнають водні та наземні екосистеми. Серед компонентів наземних екосистем нафтою, насамперед, забруднюється ґрунт. Завдяки високій адсорбуючій здатності, нафта та нафтопродукти тривалий час зберігаються у ньому, спричиняючи як деградацію земель, так і створюють небезпеку проникнення поллютантів у живильні ланцюги, однією з ланок яких є людина. Природне самоочищення ґрунту – довготривалий і складний процес, який не завжди завершується повним відновленням ґрунтової екосистеми. Тому вивчення і розробка екологічно нешкідливих прийомів прискореної деградації нафти у ґрунтах є важливим завданням для вирішенні проблем техногенно порушених земель.

Ліквідацію нафтових забруднень ґрунту здійснюють різними методами: механічними – виїмка ґрунтів, збір нафтопродуктів; фізико-хімічними – спа-

лювання, екстракція паром, промивання забрудненого нафтою ґрунту, сорбція, відновлення територій за допомогою ініційованого гумінового сорбенту, використання активованого торфу, очищення твердих поверхонь за допомогою гідрофобного органіномінерального нафтового сорбенту та ін.; біологічними – біоремедіація, фіторе-медіація.

Аналіз літературних даних дає підстави стверджувати, що відомі механічні, хімічні та фізичні методи трудомісткі, довготривалі, потребують великих витрат, не забезпечують повноти очищення і часто приводять до вторинного забруднення навколишнього середовища іншими хімічними агентами. Крім цього вони ефективні лише при використанні на невеликих локальних територіях і при рівнях забруднення, як правило, більших 1 % нафти у ґрунті [1–3]. Вищеперелічені способи дають одноразовий ефект, в той час як біологічні характеризуються тривалішим впливом і стабільним покращенням екологічної ситуації.

3. Мета та задачі дослідження

Мета дослідження – аналіз сучасних біологічних методів відновлення нафтозабруднених ґрунтів та можливостей їх використання на ранніх етапах ліквідації нафтового забруднення.

Для досягнення поставленої мети були вирішені наступні задачі:

– Аналіз літературних джерел по біоремедіації нафтозабруднених ґрунтів;

– Аналіз літературних джерел по фіторемедіації нафтозабруднених ґрунтів.

4. Методи біоремедіації нафтозабруднених ґрунтів

Одним із сучасних методів біологічної очистки нафтозабруднених ґрунтів є біоремедіація, що основана на використанні мікроорганізмів-деструкторів нафти і нафтопродуктів та їх рекомбінантних штамів, а також асоціацій мікроорганізмів-деструкторів, біосурфактантів (поверхнево-активних речовин мікробного походження, здатних емульгувати вуглеводні нафти).

Виділяють два основних підходи до здійснення біоремедіації: біостимуляцію та біоаугментацію [4, 5]. *Біостимуляція*, що основана на активізації існуючої мікрофлори в середовищі, використовується скрізь, де природний мікробіоценоз зберіг життєздатність і характеризується достатнім видовим різноманіттям. Активізацію мікрофлори здійснюють шляхом створення оптимального середовища для розвитку певних груп мікроорганізмів-нафто-деструкторів. В цьому випадку в ході лабораторних випробувань з використанням зразків ґрунту, забрудненого нафтою і нафтопродуктами, встановлюють які саме добрива і в яких кількостях слід внести, щоб стимулювати зростання мікроорганізмів, здатних утилізувати забруднювач [6–8]. Відомо, що нафтозабруднений ґрунт характеризується дефіцитом азоту, фосфору, мікроелементів, містить мало води і кисню [9, 10]. У мікроорганізмів, які відчують нестачу тих чи інших елементів, спостерігається різке зниження вуглеводоокислюючої активності, що призводить до зупинки процесу біоремедіації [11]. Поліпшення повітряного, водного і поживного режиму ґрунтів досягається оранкою, розпушуванням, внесенням поживних речовин, сорбентів. Відомо, що механічна обробка ґрунту стимулює мікробіологічну та ферментативну активність, сприяє перерозподілу вуглецю, азоту та води, як результат знижується концентрація вуглеводнів у ґрунті за рахунок випаровування летких фракцій [12, 13]. В якості поживних речовин рекомендують досить широке коло субстратів: мінеральні та органічні добрива [14, 15], соломі і тирсу, пептонну воду, відходи дріжджових виробництв, біогумус, сидерати, білково-вітамінний концентрат, гній [16], пташиний послід з додаванням торфу [17] і ін., внесення яких призводить до значного зниження загальної кількості вуглеводнів за рахунок прискорення зростання мікробної популяції.

За даними Р. Вооратхі [4] вологість і температура ґрунту визначальні при проведенні біоремедіації. Оптимізація водного режиму ґрунтів забезпечується відкачуванням ґрунтових вод для зняття затоплення ґрунту або, навпаки, застосуванням зрошувальних систем для запобігання висихання, а також використанням поліетиленової плівки, для збереження необхідного рівня вологості [18]. На територіях з холодними кліматич-

ними умовами пропонується покриття забруднених територій темною поліетиленовою плівкою [18] або використання пристосувань для закачування пари [19].

Численні публікації [20, 21] вказують на перспективність *біоаугментації*, що полягає в додаванні в забруднений ґрунт відносно великої кількості спеціальних мікроорганізмів, які заздалегідь виділяють з різних забруднювачів або генетично модифіковані [22]. Вибирають саме той мікроорганізм, який найбільш ефективно утилізує даний забруднювач [23]. При відборі мікроорганізмів-нафтодеструкторів для впровадження у середовище враховують загальну здатність мікроорганізмів до зростання на вуглеводневому субстраті і їх стійкість до токсичної дії вуглеводнів [24, 25].

Один мікроорганізм не здатний володіти всім спектром ферментів, необхідних для біодеградації нафти, що по суті є багатокомпонентною сумішшю. Тому, в більшості, пропонується використання декількох штамів, що відрізняються за спектром поживаних субстратів і можуть призводити до повної деструкції нафти [26]. В умовах природного мікробіоценозу спостерігається одночасна асиміляція різних фракцій нафти різними групами мікроорганізмів [27]. У ґрунтах поширені вуглеводоокислюючі бактерії, що відносяться до родів *Pseudomonas*, *Rhodococcus*, *Mycobacterium*, *Arthrobacter*, *Achromobacter*, *Acinetobacter*, *Alcaligenes*, *Bacillus*, *Brevibacterium*, *Citrobacter*, *Clostridium*, *Corynebacterium*, *Desulfovibrio*, *Enterobacteriaceae*, *Sarcina*, *Serratia*, *Spirillum*, *Streptomyces*, *Thiobacillus* [14, 28]. При спільному використанні декількох штамів-деструкторів в консорціумі їх нафтоутворююча дія посилюється [29]. Так, вдало підібрана культура або суміш штамів мікроорганізмів при сприятливих умовах середовища: оптимальна температура, солоність, рН, достатня аерація, забезпеченість елементами мінерального живлення – здатні утилізувати нафтові вуглеводні.

5. Методи фіторемедіації нафтозабруднених ґрунтів

Найбільш перспективним методом для очищення забруднень у промислово розвинених країнах вважається фіторемедіація – використання рослин для очищення ґрунтів та ґрунтових вод від поллютантів: важких металів, радіонуклідів, вуглеводнів та інших шкідливих сполук [30–32]. Перевагами фіторемедіації в порівнянні з традиційними ремедіаційними технологіями є відсутність або невелика кількість, виникаючих вторинних відходів, мінімальні порушення природних екосистем; можливість застосування, як на малих так і на великих територіях; естетичність, відносна простота реалізації, економічність [33–36]. Крім того, вирощування рослин призводить до поліпшення властивостей ґрунту і запобігає ерозії. Економічна ефективність фіторемедіації є вагомим аргументом на користь цієї технології. Причина порівняно низької вартості у тому, що рослини є природними установками з очищення ґрунту, які працюють на сонячній енергії. За оцінками американських фахівців фіторемедіація однієї тонни забрудненого ґрунту обходиться в 10–

35 доларів, біоремедіація *in situ* в 50–150 доларів, відмивання ґрунту в 80–200 доларів, екстракція розчинниками в 360–440 доларів, а спалювання в 200–1500 доларів [31].

Спочатку фіторемедіація, як метод очищення, була розроблена для усунення забруднення важкими металами. Виявлено, що деякі види рослин здатні не тільки витримувати наявність, але і поглинати й нагромаджувати значні кількості іонів свинцю, ртуті, цинку або інших токсичних металів [37]. Іншим напрямком, перспективністю якого вже доведена, і який має великий потенціал розвитку, є очищення вуглеводневих забруднень (нафта і нафтопродукти) за допомогою рослин [34, 35, 38–41].

Сучасні фіторемедіаційні технології можуть ґрунтуватися на різних методологічних підходах – це фітостабілізація, фітодеградація, фітовипар, ризодеградація і інші [42, 43]

Вважається, що ефективним є очищення, коли рослина поєднує здатність до фітовипару й фітодеградації. Тоді в повітря виводяться лише безпечні продукти розкладу нафтопродуктів. Особливе місце займає здатність рослин до ризодеградації, коли забруднюючі вуглеводні розкладає не безпосередньо сама рослина, а мікроорганізми, що живуть поблизу кореня, тобто в ризосфері [44, 45]. Повідомляється, що коріння слугують мікроорганізмам поверхню прикріплення і збільшують концентрацію органічних речовин в ризосфері [46, 47]. Так, завдяки кореневим виділенням рослин в ґрунт потрапляє складна суміш органічних аніонів, цукрів, вітамінів, амінокислот, пуринів, нуклеозидів, ферментів і ін. [48].

На сьогоднішній проблемі фіторемедіації нафтозабруднених територій торкаються чимало дослідників. Багато з них пропонують використовувати трав'янисті рослини зі злакових [49–52]. Повідомляється, що головною перевагою трав є їх велика волокниста коренева система, яка має велику площу поверхні кореня, порівняно з іншими видами, а також може проникати у ґрунт на глибину до 3 м [40, 49]. Позитивний вплив багаторічних трав, пояснюється тим, що своєю розвинутою кореневою системою вони сприяють поліпшенню газоповітряного режиму забрудненого ґрунту, збагачують його біологічно активними сполуками, які виділяються кореневою системою в процесі їх життєдіяльності. Все це стимулює ріст мікроорганізмів і відповідно інтенсифікує розкладання нафти і нафтопродуктів.

Довгокореневищні види відзначаються високою стійкістю до несприятливих умов нафтозабруднених екоотопів [53]. Експериментально показано, що рослини осоки шорстковолосистої *Carex hirta* L., приживаючись у нафтозабрудненому ґрунті, сприяють покращенню його властивостей, а зокрема – позитивно впливають на сорбційні властивості ґрунту, оптимізують його рН, сприяють доступності елементів мінерального живлення, а також сприяють функціонуванню нафтоокислюючих мікроорганізмів, унаслідок чого зменшується кількість нафти у забрудненому ґрунті. Так, впродовж 2-ох місяців росту рослин *Carex hirta* на ґрунтах забруднених нафтою у кількості 48 г/кг, вміст нафтопродуктів знижувався на 6,1 % [39, 54, 55].

Численні дослідження [56–58] вказують на стійкість бобових (*Fabaceae*) до нафтового забруднення, внаслідок здатності фіксувати атмосферний азот і таким чином забезпечувати себе джерелом мінерального живлення у нафтозабрудненому ґрунті [59]. Серед інших чинників стійкості називають властивості симбіотичних мікроорганізмів бобових *Rhizobium* поряд із азотфіксувальною здатністю розкладати вуглеводні нафти [40, 60]. Зокрема встановлено, що *Vicia faba* L. підвищує ступінь очищення ґрунтів на середньо і сильно забруднених нафтою ділянках, знижує їх фітотоксичність, забезпечує ріст і розвиток трав'яної рослинності за один вегетаційний період після посадки, без додаткового внесення мікробіологічних препаратів, органічних чи мінеральних добрив. Спосіб дозволяє очищати сильнозабруднені нафтою ґрунти (105 г/кг) до 65,7 % [61].

Люцерна посівна (*Medicago sativa* L.) також широко використовується для фіторемедіації нафтозабруднених територій, оскільки вона стійка до нафти, володіє добре розвинутою кореневою системою, збагачує ґрунт азотом, в її ризосфері створюються сприятливі умови для розвитку мікроорганізмів-деструкторів нафти і нафтопродуктів [62–66].

Позитивні результати по використанню бобових та злаків підтверджено багатьма іноземними дослідниками [49, 51, 58, 67]. Показано, що у кореневих виділеннях злаків переважають органічні кислоти, тоді як кореневі виділення бобових більш багаті амінокислотами та іншими органічними сполуками, до складу яких входить симбіотично фіксований азот. Також показано [68], що коріння деяких рослин родин бобових, злакових і пасльонових виділяють достатню кількість оксидоредуктаз, щоб брати активну участь в деградації ґрунтової органіки. Рослини, які використовувалися для ремедіації забрудненого нафтовими вуглеводнями ґрунту, стимулювали активність ґрунтових ферментів дегідрогеназ і пероксидаз, що беруть участь в детоксикації і деградації забруднювача. Так, у ґрунті, забрудненому дизельним паливом, люцерна виражено стимулювала активність дегідрогеназ і пероксидаз. У ґрунті, забрудненому нафтошламами, активність пероксидаз була максимальною під житом [20].

Соя (*Glycine hispida* Maxim) також внесена у список рослин-ремедіантів, здатних рости на нафтозабруднених ґрунтах і відновлювати їх [69, 70].

Показана можливість використання чорнобривців (*Tagetes erecta*), дягеля лікарського (*Archangelica officinalis*) і стоколоса безостого (*Bromopsis intermis*) як фітомеліорантів нафтозабруднених ґрунтів [71].

Іноземні вчені [42] досліджуючи здатність різних однорічних і багаторічних рослин рости на торф'яному, штучно забрудненому нафтопродуктами (1–5 %) субстраті, встановили, що протестовані однорічні рослини відповідно до їх толерантності по відношенню до нафтового забруднення розміщуються наступним чином: кукурудза>овес>люпин>боби>гірчиця. Багаторічні – тимофіївка>райґрас>червона конюшина>люцерна.

Часто деякі дослідники пропонують посилювати та пришвидшувати ефект фітореMediaції внесенням у нафтозабруднений ґрунт мінеральних добрив [72] чи інокуляцією рослин бактеріями [69], або ж пропонують посадку дорослих рослин, які, на їх думку, володіють більш високою стійкістю до нафти ніж проростки [73]. Так, Г. М. Салахова пропонує рекультивувати нафтозабруднений ґрунт (3–6 %) насінням культурних рослин (пшениця, жито, чорнобривці, звиробій, базилік) спільно з біопрепаратом “Баціспецин” [74]. Повідомляється і про фітореMediaційну систему озимого жита з додатковим посівом люцерни, збагаченням ґрунту азотними добривами та інокуляцією рослин мікроорганізмом *Azospirillum brasilense* SR80. Даний комплекс дозволяє знизити фітотоксичний ефект нафтозабрудненого ґрунту, стимулює розвиток ґрунтових мікроорганізмів, включаючи деструктори і, в кінцевому результаті, підвищує ефективність очищення. Такий підхід дозволив досягти 70 % деградації забруднювача [75].

Вважається, що рослини для фітореMediaції повинні бути придатними для кліматичних і ґрунтових умов забруднених ділянок [76] та переносити умови стресу [79]. Загалом, фітореMediaція повинна здійснюватися за допомогою місцевих рослин, особливо тих, які ростуть на забруднених ділянках, а не іноземних або генетично модифікованих видах [78].

Способи фітореMediaції з використанням вищеперелічених рослин є зручними, якщо йдеться про очищення рівнинних, відносно невеликих територій, або ж малозабруднених та добре зволжених ґрунтів. Однак, вони мало придатні для очищення деградованих земель нафтовидобутку, що містять збіднену породу різного гранулометричного складу, засолені пластовими водами і є насипними, відвальними, горбистого рельєфу.

Найпоширенішим способом фітореMediaції та фіторекультивативації кар’єрів є *лісопосадки*. Деревні види, завдяки потужній і розгалуженій кореневій системі, здатні витягувати елементи мінерального живлення, що знаходяться у розсіяному стані у товщі літосфери, акумулюючи їх на поверхні. На відміну від трав’янистої рослинності, багаторічні дерева і кущі концентрують і зберігають елементи живлення у деревині тривалий час, створюють велику масу «живої речовини». Продуктивність деревостанів, на відміну від сільськогосподарських культур і трав, менше залежить від родючості ґрунтів, адже ліси часто займають території, що мало придатні для зростання, а також ростуть на скелястих ґрунтах та за різних несприятливих екологічних умов [79].

В ідеальних умовах для фіторекультивативації відвалів необхідно провести виположування схилів та нанесення на всю поверхню екрануючого шару пухких гірських порід та шару родючого ґрунту. Але це також не завжди економічно доцільно, тому на практиці, останнім часом, впроваджуються технології «прямої фіторекультивативації», під час якої безпосередньо в субстрат відвалів проводять посадку стійких і невибагливих культур, зростання яких в обмежені терміни сприяє формуванню чистого шару ґрунту [80].

Дослідження з вивчення стану і росту рослин підтверджують перспективність окремих порід для

біологічної ремедіації та рекультивативації відвалів. Основна увага звертається на низьку вимогливість до родючості ґрунту, посухостійкість рослин, їх меліоративні функції і відносно високу продуктивність. Хороші результати росту і розвитку мають: тополя, осика, в’яз присадкуватий, обліпіха крушинова, шипшина, верба, свидина, терен, клен, акація, лох, береза [81, 82].

Лісові насадження, вирощені на техногенно порушених землях, виконують протиерозійну, водоохоронну, пожезахисну, санітарно-гігієнічну, рекреаційну та ґрунтопокращуючу роль. В роботі И. В. Трещевского [82] оцінено ґрунтопокращуючу роль деревних порід і чагарників як:

- високу (швидкозростаючі та азотонакопичувальні види: акація і обліпіха);
- середню (види, які добре розмножуються насіннєвим способом і з багатим листовим опадом: клен);
- низьку (види, що мають нерозгалужену кореневу систему і повільно ростуть: береза і верба).

Тому, перевагу слід віддавати швидкозростаючим видам, що розмножуються кореневими нащадками, та таким, які разом із симбіотичними мікроорганізмами, здатні трансформувати токсичну частину забруднень, переводячи їх у менш рухому та активну форму.

Відомі способи використання деревних та чагарникових насаджень, розроблені для техногенних ландшафтів та шахтних відвалів. Зокрема проведені рекультивативні роботи з відновлення териконів Донбасу [83, 84], техногенних ландшафтів Криворіжжя [85], родовищ сірки та інших техногенно-змінених ґрунтів [86].

Деревні та чагарникові види рослин також можна використовувати і при нафтовому забрудненні. Відомо, що стійкість рослин до нафтового забруднення сильно залежить від стадії їх розвитку та біомаси. Найбільш стійкі до токсичного впливу нафтопродуктів багаторічні дорослі рослини, так як у них відбувається відростання нових органів зі сплячих бруньок після загибелі частини рослин внаслідок забруднення. Тому ділянки, забруднені нафтою і нафтопродуктами, заселяють, перш за все, види рослин здатні до вегетативного розмноження, при якому утворюються вже цілком розвинені рослини малочутливі до нафти у ґрунті [87].

Проте, дослідження з використання дерев та чагарників для фітореMediaції нафтозабруднених ґрунтів, практично не проведені. Зустрічаються лише поодинокі повідомлення про ріст тополі та верби в умовах нафтового забруднення [88–90]. Зовсім новим і ще не достатньо вивченим є використання актиноризованих рослин – тих, що здатні до симбіозу з азотфіксуєчими актинобактеріями. Зокрема, широко вивчається асоціація *Frankia-Alnus* для фіторекультивативації забруднених ґрунтів, в тому числі і нафтопродуктами [91]. Тому використання деревних порід для фітореMediaції нафтозабруднених ґрунтів представляє особливий інтерес.

Доведено ефективність обліпіхи крушиновидної (*Hippophae rhamnoides* L.) для відновлення нафтозабруднених ґрунтів [92–94], яка є багаторічною, швидко росте, розростається в куртину, невибаглива

до ґрунтових умов та забезпечує себе джерелом мінерального живлення, завдяки симбіозу кореневої системи з азотфіксаторами. Встановлено, що рослина є стійкою до несприятливих умов техногенних нафтозабруднених ґрунтів [92, 95–97], стовідсотково на них приживається [93, 94] і суттєво прискорює процес біодеградації нафти у ґрунті (табл. 1). Завдяки поверхневій кореневій системі обліпихи, добре розвиненим шнуроподібним кореням, що дають кореневі паростки рослина успішно поширюється на сусідні території, тим самим розпушує забруднений ґрунт, покращує його водно-повітряні властивості, сприяє швидкому утворенню щільного ґрунтового покриву,

накопиченню біомаси, гумусоутворенню та забезпечує пролонгацію фітомеліоративної дії. ФітореMediaційна ділянка за чотири роки розростається в куртину, площа якої у 3 рази перевищує вихідну ділянку [92, 96]. *H. rhamnoides* покращує фізико-хімічні, мікробіологічні показники ґрунту: кількість мікроорганізмів-гетеротрофів зростає у 10^4 раз, деструкторів нафти у 6×10^2 , азотфіксаторів у 10 раз, усувається токсичність ґрунту. Рослина добре приживається на відвальних нафтозабруднених ґрунтах горбистого рельєфу [98], придатна для висадки живцями [93], що робить її використання бажаним також з точки зору запобігання ерозії.

Таблиця 1

Вплив рослин *H. rhamnoides* на біодеградацію нафти у ґрунті упродовж 1-4 років зростання, вихідне забруднення ґрунту 123 г/кг [92]

Очищення ґрунту від нафтового забруднення	Часовий період ремедіації			
	0-й рік	1-й рік	2-й рік	4-й рік
Вміст нафти у ґрунті, г/кг	123	26,5	13,9	9,0
Сумарне очищення ґрунту, %	0	77,5	88,7	92,7

Таким чином, вище наведені дані свідчать про перспективність використання обліпихи крушиновидної для очистки нафтозабруднених ґрунтів.

6. Обговорення

Методи біоремедіації нафтозабруднених ґрунтів передбачають активізацію існуючої мікрофлори шляхом створення оптимальних умов за рахунок оранки, розпушування, внесення мінеральних добрив, сорбентів та ін., або використання мікроорганізмів-нафтодеструкторів, які вносять у забруднений ґрунт в значних кількостях. Біоремедіацією утилізуються нафтові вуглеводні досить успішно. Однак, цей метод має ряд недоліків, зокрема – багатостадійність, висока собівартість, обумовлена додатковими витратами на підготовчі роботи, та на створення оптимальних умов біоремедіації. Крім того, штучне внесення мікроорганізмів у нафтозабруднені ґрунти пов'язане з певним біологічним ризиком – пригнічується місцевий біоценоз, а це, в свою чергу, змінює середовище. Серед активних мікроорганізмів-нафтодеструкторів, які розвиваються на нафтових розливах, нерідко зустрічаються патогенні види або умовно патогенні для людини і тварин [99, 100], тому створення сприятливих умов для біоремедіації простимулює також і ріст цих патогенних мікроорганізмів. Велику небезпеку представляє також утворення мутагенів і генотоксичних сполук. Крім того, в процесі мікробного розкладання нафти можуть утворюватися хімічні сполуки, не лише більш токсичні, ніж вихідні компоненти нафти, але і водорозчинні, що створить ризик поширення поллютантів як по профілю ґрунту, так і в підземні води.

Вищеперелічені недоліки не характерні для методів фітореMediaцій, які приваблюють своєю природністю, екологічністю, простотою і економічністю, характеризуються тривалим впливом і стабільним покращенням екологічної ситуації. Однак, успіше проведення фітореMediaцій нафтозабруднених ґрунтів

є непростим завданням через гідрофобність та високу токсичність нафти, значне порушення водоповітряного балансу та співвідношення основних мікроелементів ґрунту Вуглецю та Азоту, що робить неможливим зростання більшості рослин. Аналіз літературних даних показує, що перспективним є використання рослин здатних засвоювати азот атмосфери: біб кормовий, люцерна посівна, соя [56, 58, 62, 67, 69, 70]. Перевагу використання мають багаторічні рослини, які не потребують щорічного повторення процесу висаджування насіння, приживаються живцями і забезпечують пролонгацію дії [39, 51, 53–55, 58, 67].

Для успішного проведення фітореMediaцій бажаним є створення умов для поєднання процесів фітореMediaцій та мікробного розкладання вуглеводнів нафти, використання багаторічних рослин з розвинутою кореневою системою, здатною до вегетативного розмноження, чим забезпечується пролонгація фітомеліоративної дії. Ці умови створює обліпиха крушиновидна, яка успішно адаптується до екстремальних умов нафтозабрудненого ґрунту, покращує його фізико-хімічні властивості, збагачує азотовмісними сполуками, зменшує кількість нафти у ґрунті, розростається у куртини, що дозволяє підвищити ступінь очищення нафтозабруднених ґрунтів. Завдяки азотофіксуючій здатності мікоризи кореневої системи обліпиха забезпечує себе джерелом мінерального живлення у нафтозабрудненому ґрунті, де більшість необхідних для рослини елементів знаходять у недоступній формі через змінені фізико-хімічні властивості ґрунту. Мінералізація рослинних решток обліпихи, багатих органічним азотом оптимізує азотний режим нафтозабрудненого ґрунту. Окрім того, кореневі симбіоти обліпихи в умовах нафтового забруднення здатні не лише фіксувати атмосферний азот, але й розкласти вуглеводні нафти і використовувати їх як альтернативне джерело живлення [92, 93]. Рослину можна безпосередньо висаджувати у нафтозабруднений ґрунт при вмісті нафти до 12 %, приживаемість рослин сягає 100 %, ступінь очистки ґрунту, на четвертий рік росту *H. rhamnoides* 92,7 %

(табл. 1) [93]. Стійкість обліпихи до нафтового забруднення робить її використання можливим навіть без попереднього очищення ґрунту традиційними фізико-хімічними методами. Це зменшує стадійність відновлювальних робіт і робить спосіб фітореMediaції нафтозабруднених ґрунтів з допомогою обліпихи економічно вигідним. Витрати на фітореMediaцію нафтозабрудненої території 1 га складають 20 тис. грн. [101].

7. Висновки

Отже, проведений аналіз літературних джерел біологічних способів відновлення нафтозабруднених ґрунтів вказує на перспективність методів фітореMediaції з використанням стійких багаторічних актиноризних рослин, зокрема обліпихи крушиновидної, яка може самостійно використовуватися для відновлення нафтозабруднених ґрунтів.

Література

1. Другов, Ю. С. Экологические анализы при разливах нефти и нефтепродуктов [Текст]: практ. рук. / Ю. С. Другов, А. А. Родин. – 2-е изд. – М.: БИНОМ, Лаборатория знаний, 2011. – 270 с.
2. Логинов, О. Н. Биотехнологические методы очистки окружающей среды от техногенных загрязнений [Текст] / О. Н. Логинов, Н. Н. Силищев, Т. Ф. Бойко, Н. Ф. Галимзянова. – Уфа: Государственное издательство научнотехнической литературы "Реактив", 2000. – 100 с.
3. Advances in Applied Bioremediation (Soil Biology) [Text] / A. Singh, R. C. Kuhad, O. P. Ward (Eds.). – Verlag Berlin Heidelberg, 2009. – 361 p. doi: 10.1007/978-3-540-89621-0
4. Woopathy, R. Factors limiting bioremediation technologies [Text] / R. Woopathy // Bioresource Technology. – 2000. – Vol. 74, Issue 1. – P. 63–67. doi: 10.1016/S0960-8524(99)00144-3
5. Lee, E. H. Bioremediation of diesel contaminated soils by natural attenuation, Biostimulation and Bioaugmentation employing *Rhodococcus* sp. EH831 [Text] / E. H. Lee, Y. S. Kang, K. S. Cho // Korean J. Microbiol. Biotechnol. – 2011. – Vol. 39, Issue 1. – P. 86–92.
6. Вельков, В. В. Биоремедиация: принципы, проблемы, подходы [Текст] / В. В. Вельков // Биотехнология. – 1995. – № 3-4. – С. 70–76.
7. Киреева, Н. А. Микробиологические процессы в нефтезагрязненных почвах [Текст] / Н. А. Киреева. – Уфа: Изд-во БашГУ, 1994. – 171 с.
8. Vasudevan, N. Bioremediation of oil sludge-contaminated soil [Text] / N. Vasudevan, P. Rajaram // Environment International. – 2001. – Vol. 26, Issue 5-6. – P. 409–411. doi: 10.1016/S0160-4120(01)00020-4
9. Габбасова, И. М. Деградация и рекультивация почв Башкортостана [Текст] / И. М. Габбасова; под ред. Ф. Х. Хазиева. – Уфа: Гилем, 2004. – 284 с.
10. Киреева, Н. А. Активность карбогидраз в нефтезагрязненных почвах [Текст] / Н. А. Киреева, Н. И. Новоселова, Ф. Х. Хазиев // Почвоведение. – 1998. – № 12. – С. 1444–1448.
11. Margesin, R. Monitoring of bioremediation by soil biological activities [Text] / R. Margesin, A. Zimmerbauer, F. Schinner // Chemosphere. – 2000. – Vol. 40, Issue 4. – P. 339–346. doi: 10.1016/S0045-6535(99)00218-0
12. Колесниченко, А. В. Процессы биодеградации в нефтезагрязнённых почвах [Текст] / А. В. Колесниченко, А. И. Марченко, Т. П. Побежимова, В. В. Зыкова. – Москва: Промэкобезопасность, 2004. – 194 с.
13. Rhykerd, R. L. Impact of bulking agents, forced aeration and tillage on remediation of oil-contaminated soil [Text] / R. L. Rhykerd, B. Crews, K. J. McInnes, R. W. Weaver // Bioresource Technology. – 1999. – Vol. 67, Issue 3. – P. 279–285. doi: 10.1016/S0960-8524(98)00114-x
14. Киреева, Н. А. Биологическая активность нефтезагрязненных почв [Текст] / Н. А. Киреева, В. В. Водопьянов, А. М. Мифтахова. – Уфа: Гилем, 2001. – 376 с.
15. Салангинас, Л. А. Изменение свойств почв под воздействием нефти и разработка системы мер по их реабилитации [Текст] / Л. А. Салангинас. – Екатеринбург: Элита-Комплекс, 2003. – 412 с.
16. Сухонослова, А. Н. Очистка почв от нефтяного загрязнения и оценка ее эффективности [Текст] / А. Н. Сухонослова, В. А. Бурлака, Д. Е. Быков, И. В. Бурлака, Н. В. Бурлака // Экология и промышленность России. – 2009. – С. 18–20.
17. Бухгалтер, Э. Б. Рекультивация почвы, загрязненной газовым конденсатом [Текст] / Э. Б. Бухгалтер, Р. В. Галиулин, В. Н. Башкин, И. Е. Сидорова, А. В. Грунвальд, А. Ю. Семенцов, Р. А. Галиулина // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2008. – № 2. – С. 16–18.
18. Gudin, C. Biological aspects of land rehabilitation following hydrocarbon contamination [Text] / C. Gudin, W. J. Syrratt // Environmental Pollution (1970). – 1975. – Vol. 8, Issue 2. – P. 107–112. doi: 10.1016/0013-9327(75)90020-8
19. Hoeppe, R. E. Bioventig soils contaminated with petroleum hydrocarbons [Text] / R. E. Hoeppe, R. E. Hinchee, M. F. Arthur // Journal of Industrial Microbiology. – 1991. – Vol. 8, Issue 3. – P. 141–146. doi: 10.1007/bf01575846
20. Нечаева, И. А. Стимуляция микробной деструкции нефти в почве путем внесения бактериальной ассоциации и минерального удобрения в лабораторных и полевых условиях [Текст] / И. А. Нечаева, А. Е. Филонов, Л. И. Ахметов // Биотехнология. – 2009. – № 1. – С. 64–70.
21. Ouyang, W. Comparison of bio-augmentation and composting for remediation of oily sludge: A field-scale study in China [Text] / W. Ouyang, H. Liu, V. Murygina, Y. Yu, Z. Xiu, S. Kalyuzhnyi // Process Biochemistry. – 2005. – Vol. 40, Issue 12. – P. 3763–3768. doi: 10.1016/j.procbio.2005.06.004
22. Плешакова, Е. В. Изменение биологической активности загрязненной углеводородами почвы [Текст] / Е. В. Плешакова, А. Ю. Муратова, О. В. Турковская // Поволжский экологический журнал. – 2011. – № 4. – С. 482–488.
23. Bartos, P. Toxic effect of methyl tert-butyl ether on growth of soil isolate *Pseudomonas veronii* T1/1 [Text] / P. Bartos, M. Balazs, I. Kiss, Z. Bihari, O. Kelemen, I. Mecs // World Journal of Microbiology and Biotechnology. – 2007. – Vol. 24, Issue 6. – P. 875–878. doi: 10.1007/s11274-007-9540-2
24. Мельников, Д. А. Распределение признаков биодеградации углеводородов и оценка технологически важных свойств нефтеокисляющих бактерий [Текст]: автореф. дис. ... канд. биол. наук / Д. А. Мельников. – Краснодар, 2005. – 25 с.
25. Prince, R. C. The Primary Aerobic Biodegradation of Gasoline Hydrocarbons [Text] / R. C. Prince, T. F. Parkerton, C. Lee // Environmental Science & Technology. – 2007. – Vol. 41, Issue 9. – P. 3316–3321. doi: 10.1021/es062884d

26. Кобзев, Е. Н. Исследование устойчивости ассоциации микроорганизмов – нефтеструктуров в открытой системе [Текст] / Е. Н. Кобзев, С. Б. Петрикевич, А. Н. Шкидченко // Прикладная биохимия и микробиология. – 2001. – Т. 37, № 4. – С. 413–417.
27. Шкидченко, А. Н. Изучение нефтеструктуривной активности микрофлоры прибрежной зоны Каспийского моря [Текст] / А. Н. Шкидченко, М. У. Аринбасаров // Прикл. биохимия и микробиология. – 2002. – Т. 38, № 5. – С. 509–512.
28. Гоголева, О. А. Углерододокисляющие микроорганизмы природных экосистем [Текст] / О. А. Гоголева, Н. В. Немцева // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. – 2012. – № 2.
29. Мокеева, А. В. Ассоциация штаммов бактерий-нефтеструктуров для ремедиации нефтезагрязненных территорий [Текст] / А. В. Мокеева, А. Ю. Алексеев, Е. К. Емельянова, В. А. Забелин, А. В. Заушинцева, А. С. Тараканова, А. М. Шестопалов, Т. Н. Ильичева // Вестник НГУ. Серия: Биология, клиническая медицина. – 2011. – Т. 9, № 3. – С. 27–34.
30. Flathman, P. E. Phytoremediation: Current views on an emerging green technology [Text] / P. E. Flathman, G. R. Lanza // Soil and Sediment Contamination. – 1998. – Vol. 7, Issue 4. – P. 415–432. doi: /10.1080/10588339891334438
31. Schnoor, J. L. Phytoremediation of soil and groundwater [Text] / J. L. Schnoor // Technology Evaluation Report TE-02-01. – Groundwater Remediation Technologies Analysis Centre (GWRTAC): Pittsburgh, PA, USA, 2002. – 45 p.
32. Schroder, P. Prospects for the phytoremediation of organic pollutants in Europe [Text] / P. Schroder, P. J. Harvey, J.-P. Schwitzguebel // Environmental Science and Pollution Research. – 2002. – Vol. 9, Issue 1. – P. 1–3. doi: 10.1007/bf02987312
33. Banks, M. K. Degradation of crude oil in the rhizosphere of *Sorghum bicolor* [Text] / M. K. Banks, P. Kulakow, A. P. Schwab, Z. Chen, K. Rathbone // International Journal of Phytoremediation. – 2003. – Vol. 5, Issue 3. – P. 225–234. doi: 10.1080/713779222
34. Cunningham, S. D. Phytoremediation of Soils Contaminated with Organic Pollutants [Text] / S. D. Cunningham, T. A. Anderson, A. P. Schwab, F. C. Hsu // Advances in Agronomy. – 1996. – Vol. 56. – P. 55–114. doi: 10.1016/s0065-2113(08)60179-0
35. Gerhardt, K. E. Phytoremediation and rhizoremediation of organic soil contaminants: Potential and challenges [Text] / K. E. Gerhardt, X.-D. Huang, B. R. Glick, B. M. Greenberg // Plant Science. – 2009. – Vol. 176, Issue 1. – P. 20–30. doi: 10.1016/j.plantsci.2008.09.014
36. Wang, J. Phytoremediation of petroleum polluted soil [Text] / J. Wang, Z. Zhang, Y. Su, W. He, F. He, H. Song // Petroleum Science. – 2008. – Vol. 5, Issue 2. – P. 167–171. doi: 10.1007/s12182-008-0026-0
37. Dushenkov, S. Phytoremediation: a novel approach to an old problem [Text] / S. Dushenkov, Y. Kapulnik, M. Blaylock, B. Sorochisky, I. Raskin, B. Ensley // Studies in Environmental Science. – 1997. – Vol. 66. – P. 563–572. doi: 10.1016/s0166-1116(97)80071-4
38. Dominguez-Rosado, E. Phytoremediation of Soil Contaminated with Used Motor Oil: I. Enhanced Microbial Activities from Laboratory and Growth Chamber Studies [Text] / E. Dominguez-Rosado, J. Pichtel, M. Coughlin // Environmental Engineering Science. – 2004. – Vol. 21, Issue 2. – P. 157–168. doi: 10.1089/109287504773087336
39. Dzhura, N. Using plants for recultivation of oil-polluted soils [Text] / N. Dzhura, O. Romanyuk, I. Oshchapovsky et. al. // J. Environmental protection and ecology. – 2008. – Vol. 9, Issue 1. – P. 55–59.
40. Frick, C. M. Assessment of phytoremediation as an in situ technique for cleaning oil-contaminated sites [Text] / C. M. Frick, R. E. Farrell, J. J. Germida. – PTAC Petroleum Technology Alliance, Canada, Calgary, 1999. – 88 p.
41. Telysheva, G. Use of plants to remediate soil polluted with oil [Text] / G. Telysheva, L. Jashina, G. Lebedeva, T. Dizhbite, V. Solodovnik, O. Mutere et. al. // Environment. Technology. Resources. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. – 2011. – Vol. 1. – P. 38–45. doi: 10.17770/etr2011vol1.925
42. Abdel Ghany, T. M. Rhizosphere microorganisms as inducers for phytoremediation a review [Text] / T. M. Abdel Ghany, A. Al Abboud Mohamed, E. Negm Moustafa, M. Shater Abdel-Rahman // International Journal of Bioinformatics and Biomedical Engineering. – 2015. – Vol. 1, Issue 1. – P. 7–15.
43. Meagher, R. B. Phytoremediation of toxic elements and organic pollutants [Text] / R. B. Meagher // Current Opinion in Plant Biology. – 2000. – Vol. 3, Issue 2. – P. 153–162. doi: 10.1016/s1369-5266(99)00054-0
44. Chaillan, F. Identification and biodegradation potential of tropical aerobic hydrocarbon-degrading microorganisms [Text] / F. Chaillan, A. Le Fleche, E. Bury, Y. Phantavong, P. Grimont, A. Saliot, J. Oudot // Research in Microbiology. – 2004. – Vol. 155, Issue 7. – P. 587–595. doi: 10.1016/j.resmic.2004.04.006
45. Phillips, L. A. Field-scale assessment of weathered hydrocarbon degradation by mixed and single plant treatments [Text] / L. A. Phillips, C. W. Greer, R. E. Farrell, J. J. Germida // Applied Soil Ecology. – 2009. – Vol. 42, Issue 1. – P. 9–17. doi: 10.1016/j.apsoil.2009.01.002
46. Kuiper, I. Rhizoremediation: a beneficial plant-microbe interaction [Text] / I. Kuiper, E. L. Lagendijk, G. V. Bloemberg, B. J. J. Lugtenberg // Molecular Plant-Microbe Interactions. – 2004. – Vol. 17, Issue 1. – P. 6–15. doi: 10.1094/mpmi.2004.17.1.6
47. Susarla, S. Phytoremediation: An ecological solution to organic chemical contamination [Text] / S. Susarla, V. F. Medina, S. C. McCutcheon // Ecological Engineering. – 2002. – Vol. 18, Issue 5. – P. 647–658. doi: 10.1016/s0925-8574(02)00026-5
48. Dakora, F. D. Root exudates as mediators of mineral acquisition in lownutrient environments [Text] / F. D. Dakora, D. A. Phillips // Plant and Soil. – 2002. – Vol. 245, Issue 1. – P. 35–47. doi: 10.1023/a:1020809400075
49. Aprill, W. Evaluation of the use of prairie grasses for stimulating polycyclic aromatic hydrocarbon treatment in soil [Text] / W. Aprill, R. C. Sims // Chemosphere. – 1990. – Vol. 20, Issue 1-2. – P. 253–265. doi: 10.1016/0045-6535(90)90100-8
50. Brandt, R. Potential of vetiver (*Vetiveria zizanioides* (L.) Nash) for phytoremediation of petroleum hydrocarbon-contaminated soils in Venezuela [Text] / R. Brandt, N. Merkl, R. Schultze-Kraft, C. Infante, G. Broll // International Journal of Phytoremediation. – 2006. – Vol. 8, Issue 4. – P. 273–284. doi: 10.1080/15226510600992808
51. Kaimi, E. Screening of Twelve Plant Species for Phytoremediation of Petroleum Hydrocarbon-Contaminated Soil [Text] / E. Kaimi, T. Mukaidani, M. Tamaki // Plant Production Science. – 2007. – Vol. 10, Issue 2. – P. 211–218. doi: 10.1626/pp.s.10.211
52. Korade, D. L. Effect of organic contaminants on seed germination of *Lolium multiflorum* in soil [Text] / D. L. Korade, M. H. Fulekar // Biology and Medicine. – 2009. – Vol. 1, Issue 1. – P. 28–34.
53. Джура, Н. Використання рослин для рекультивациі ґрунтів забруднених нафтою і нафтопродуктами [Текст] / Н. Джура, О. Романюк, Я. Гонсьор, О. Цвілінюк, О. Терек // Екологія та ноосферологія. – 2006. – Т. 17, № 1-2. – С. 55–60.
54. Джура, Н. М. Вплив нафтового забруднення на вміст макро- та мікроелементів у рослинах *Carex hirta* L. [Текст] / Н. М. Джура, О. М. Цвілінюк, О. І. Терек // Укр. ботан. журн. – 2007. – Т. 64, № 1. – С. 122–131.

55. Пат. № 16345 UA. Спосіб очищення ґрунтів, забруднених нафтою. МПК А01В 79/00 А01В 79/02 А01С 21/00 [Текст] / Джура Н. М., Терек О. І., Цвілинюк О. М.; заявник і власник Львівський національний університет імені Івана Франка. – № u4200511816; заявл. 12.12.2005; опубл. 15.08.2006, Бюл. № 8. – 7 с.
56. Джура, Н. М. Перспективи фітореMediaції нафтозабруднених ґрунтів рослинами *Faba bona Medic.* (*Vicia faba L.*) [Текст] / Н. М. Джура // Вісник Львівського університету. Сер. біол. – 2011. – Вип. 57. – С. 117–124.
57. Цайтлер, М. Й. Відновлення рослинного покриву і зміни структури ценопопуляцій трав'яних рослин на нафтозабруднених територіях Бориславського нафтового родовища [Текст]: автореф. дис. ... канд. біол. наук / М. Й. Цайтлер. – Дніпропетровськ, 2001. – 16 с.
58. Yateem, A. Plants-associated microflora and the remediation of oil-contaminated soil [Text] / A. Yateem, M. T. Balba, A. S. El-Nawawy, N. Al-Awadhi // International Journal of Phytoremediation. – 2000. – Vol. 2, Issue 3. – P. 183–191. doi: 10.1080/15226510009359031
59. Adam, G. The effect of diesel fuel on common vetch (*Vicia sativa L.*) plants [Text] / G. Adam, H. Duncan // Environ Geochem Health. – 2003. – Vol. 25, Issue 1. – P. 123–130.
60. Frassinetti, S. Biodegradation of dibenzothiophene by a nodulating isolate of *Rhizobium meliloti* [Text] / S. Frassinetti, L. Setti, A. Corti, P. Farrinelli, P. Montevicchi, G. Vallini // Canadian Journal of Microbiology. – 1998. – Vol. 44, Issue 3. – P. 289–297. doi: 10.1139/cjm-44-3-289
61. Пат. № 60481 UA. Спосіб фітоочищення нафтозабруднених ґрунтів. МПК (2011.01) А01В 79/02 (2006.01) В09С 1/00 [Текст] / Джура Н. М., Романюк О. І., Цвілинюк О. М., Терек О. І. – № u201012943; заявл. 01.11.2010; опубл. 25.06.2011; Бюл. № 12. – 4 с.
62. Киреева, Н. А. Детоксикация нефтезагрязненных почв под посевами люцерны (*Medicago sativa L.*) [Текст] / Н. А. Киреева, Е. М. Тарасенко, М. Д. Бакаева // Агрехимия. – 2004. – № 10. – С. 68–72.
63. Муратова, А. Ю. Использование люцерны и тростника для фиторемедиации загрязненного углеводородами грунта [Текст] / А. Ю. Муратова, О. В. Турковская, Т. Хюбнер, П. Кушк // Прикладная биохимия и микробиология. – 2003. – Т. 39, № 6. – С. 681–688.
64. Степанова, А. Ю. Получение трансгенных растений люцерны посевной (*Medicago sativa L.*) для повышения эффективности фиторемедиации нефтезагрязненных почв [Текст] / А. Ю. Степанова, Е. В. Орлова, Д. В. Терешонок, Ю. И. Долгих // Экологическая генетика. – 2015. – Т. XIII, № 2. – С. 127–135.
65. Терек, О. І. Фізіологічні аспекти адаптації рослин до нафтозабрудненого ґрунту [Текст] / О. І. Терек, О. І. Величко, Н. М. Джура // Фізіологія рослин: проблеми та перспективи розвитку. – 2009. – Т. 1. – С. 217–225.
66. Shaw, L. J. Biodegradation of organic pollutants in the rhizosphere [Text] / L. J. Shaw, R. G. Burns // Advances in Applied Microbiology. – 2003. – Vol. 53. – P. 1–60. doi: 10.1016/s0065-2164(03)53001-5
67. Merkl, N. Assessment Of Tropical Grasses And Legumes For Phytoremediation Of Petroleum-Contaminated Soils [Text] / N. Merkl, R. Schultze-Kroft, C. Infant // Water, Air, and Soil Pollution. – 2005. – Vol. 165, Issue 1-4. – P. 195–209. doi: 10.1007/s11270-005-4979-y
68. Gramms, G. Oxidoreductase enzymes liberated by plant roots and their effects on soil humic material [Text] / G. Gramms, K.-D. Voigt, B. Kirsche // Chemosphere. – 1999. – Vol. 38, Issue 7. – P. 1481–1494. doi: 10.1016/s0045-6535(98)00369-5
69. Величко, О. Ефективність функціонування симбіотичної системи *Bradyrhizobium japonicum* – рослини сої у нафтозабрудненому ґрунті [Текст] / О. Величко // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. біол. – 2012. – Вип. 58. – С. 150–157.
70. Njoku, K. L. Growth and performance of *Glycine max L.* (Merrill) in crude oil contaminated soil augmented with cow dung [Text] / K. L. Njoku, M. O. Akinola, B. O. Oboh // Nat. Sci. – 2008. – Vol. 6, Issue 1. – P. 48–58.
71. Киреева, Н. А. Подбор растений для фиторемедиации почв, загрязненных нефтяными углеводородами [Текст] / Н. А. Киреева, А. С. Григориади, В. В. Водопьянов, А. Р. Амирова // Известия Самарского научного центра РАН. – 2011. – Т. 13, № 5 (2). – С. 184–187.
72. Архипченко, И. А. Очистка нефтезагрязненных почв с помощью биопрепаратов на основе микробных удобрений [Текст] / И. А. Архипченко, В. К. Загвоздкин, Г. Н. Ерцев // ЭКП: Экология и промышленность России. – 2004. – № 9. – С. 16–18.
73. Назаров, А. В. Использование микробно-растительных ассоциаций для очистки почвы от нефтяного загрязнения [Текст] / А. В. Назаров // Известия Самарского научного центра РАН. – 2013. – Т. 15, № 3 (5). – С. 1673–1676.
74. Салахова, Г. М. Изменения эколого-физиологических параметров растений и ризосферной микробиоты в условиях нефтяного загрязнения и рекультивации почвы [Текст]: автореф. дис. ... канд. биол. наук / Г. М. Салахова. – Уфа, 2007. – 23 с.
75. Муратова, А. Ю. Использование комплексной фиторемедиации для очистки почвы, загрязненной нефтешламом [Текст] / А. Ю. Муратова, А. Д. Бондаренкова, Л. В. Панченко, О. В. Турковская // Биотехнология. – 2010. – № 1. – С. 77–84.
76. Pivetz, B. E. Phytoremediation of Contaminated Soil and Ground Water at Hazardous Waste Sites [Text] / B. E. Pivetz. – EPA Ground Water Issue, EPA/540/S-01/500. – Ada, Ok, 2001. – 36 p.
77. Siciliano, S. D. Biolog analysis and fatty acid methyl ester profiles indicate that *Pseudomonas* inoculants that promote phytoremediation alter the root associated microbial community of *Bromus biebersteinii* [Text] / S. D. Siciliano, J. J. Germida // Soil Biology and Biochemistry. – 1998. – Vol. 30, Issue 13. – P. 1717–1723. doi: 10.1016/s0038-0717(98)00021-2
78. Lopez-Martinez, S. Contaminated Soil Phytoremediation by *Cyperus Laxus Lam.* Cytochrome P450 Erod-Activity Induced by Hydrocarbons in Roots [Text] / S. Lopez-Martinez, M. E. Gallegos-Martinez, L. J. Perez-Flores, M. Gutierrez-Rojas // International Journal of Phytoremediation. – 2008. – Vol. 10, Issue 4. – P. 289–301. doi: 10.1080/15226510802096069
79. Міронова, Н. Г. Фітомеліорація техногенних водойм Малеого Полісся [Текст]: автореф. дис. ... д-ра с.-г. наук / Н. Г. Міронова; Держ. ВНЗ Нац. лісотехн. ун-т України. – Львів, 2015. – 40 с.
80. Лебедева, Н. А. Возможность рекультивации отвалов Кумертауского угольного разреза без нанесения почвенного слоя [Текст] / Н. А. Лебедева // Растения и промышленная среда. – 1984. – С. 78–84.
81. Алиев, И. Н. Естественное облесение и биологическая рекультивация нарушенных земель северного Кавказа (на примере Кабардино-Балкарии) [Текст]: автореф. дисс. ... д-ра с.-х. наук / И. Н. Алиев. – Волгоград, 2012. – 42 с.
82. Трещевский, И. В. Почвоулучшающая роль защитных насаждений на рекультивированных землях Лебединского ГОКа Курской магнитной аномалии [Текст]: автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук / И. В. Трещевский. – Курск, 2010. – 22 с.

83. Зверковський, В. М. Фітомеліорація шахтних відвалів в Західному Донбасі [Текст] / В. М. Зверковський // Український ботанічний журнал. – 1997. – Вип. 54, № 5. – С. 474–481.
84. Кондратюк, Е. Н. Исследования и практика рекультивации нарушенных земель в Донбассе [Текст] / Е. Н. Кондратюк // Интродукция и акклиматизация растений. – 1985. – Вып. 3. – С. 3–6.
85. Мазур, Е. Структура и рекультивация ландшафтов Криворожья [Текст] / А. Е. Мазур, Н. Г. Сметана // Биологическая рекультивация нарушенных земель. – Екатеринбург: УрО РАН, 1996. – С. 14–16.
86. Блинова, З. П. Биотестирование почвенного покрова городских территорий с использованием проростков *Raphanus sativus* [Текст] / З. П. Блинова // Вестник МГОУ. Серия «Естественные науки». – 2014. – № 1. – С. 18–23.
87. Максименко, О. Е. Динамика восстановления растительности антропогенно нарушенного сфагнового болота на территории нефтепромысла в Среднем Приобье [Текст] / О. Е. Максименко, Н. А. Червяков, Т. И. Каркишко, Н. В. Глотов // Экология. – 1997. – № 4. – С. 243–247.
88. Cook, R. L. Field Note: Successful Establishment of a Phytoremediation System at a Petroleum Hydrocarbon Contaminated Shallow Aquifer: Trends, Trials, and Tribulations [Text] / R. L. Cook, J. E. Landmeyer, B. Atkinson, J.-P. Messier, E. G. Nichols // International Journal of Phytoremediation. – 2010. – Vol. 12, Issue 7. – P. 716–732. doi: 10.1080/15226510903390395
89. Kamath, R. Phytoremediation of hydrocarbon-contaminated soils: principles and applications [Text] / R. Kamath, J. A. Rentz, J. L. Schnoor, P. J. J. Alvarez // Studies in Surface Science and Catalysis. – 2004. – Vol. 151. – P. 447–478. doi: 10.1016/s0167-2991(04)80157-5
90. Wyszowska, J. Correlation between number of microbes and degree of soil contamination by petrol [Text] / J. Wyszowska, J. Kucharski // Polish Journal of Environmental Studies. – 2001. – Vol. 10, Issue 3. – P. 175–181.
91. Rehan, M. Frankia as a Biodegrading Agent. Chap. 11 [Text] / M. Rehan, E. Swanson, L. S. Tisa // Actinobacteria – Basics and Biotechnological Applications. – 2016. – P. 271–290. doi: 10.5772/61825
92. Shevchik, L. The optimal way of biological cleaning of oil-contaminated soils [Text] / L. Shevchik, O. Romaniuk // Mediterranean Journal of Biosciences. – 2016. – Vol. 1, Issue 3. – P. 109–113.
93. Пат. № 86572 UA. Спосіб очищення техногенних ґрунтів, забруднених нафтою. МПК А01В 79/00-79/02 В09С 1/00 [Текст] / Романюк О. І., Шевчик Л. З., Терек О. І. – № u201305665; заявл. 30.04.2013; опубл. 10.01.2014, Бюл. № 1.
94. Романюк, О. Проведення екологічного моніторингу підземних вод, загазованості та забруднення ґрунтів на території м. Борислава [Текст]: звіт Д1-09 / О. Романюк та ін. – Львів: Відділення ФХГК ІнФОХВ імені Л. М. Литвиненка НАН України, 2009. – 33 с.
95. Shevchyk, L. Developing technology of remediation of oil-contaminated soils [Text] / L. Shevchyk, O. Romaniuk // Chemistry and Chemical Technology: Proceedings of the 3rd International Conference of Young Scientists CCT-2013. – Lviv: Lviv Polytechnic Publishing House, 2013. – P. 74–75.
96. Шевчик, Л. З. Оцінка стану пилку та пігментів у листках рослин обліпихи крушиновидної, вирощеної в умовах нафтового забруднення [Текст]: мат. наук. конф. / Л. З. Шевчик, О. І. Романюк // Стан і біорізноманіття екосистем Шацького національного природного парку. – Львів: СПОЛОМ, 2015. – С. 114–115.
97. Романюк, О. І. Перспективи використання обліпихи крушиновидної для фітореMediaції нафтозабруднених ґрунтів [Текст]: мат. наук. конф. / О. І. Романюк, Л. З. Шевчик // Стан і біорізноманіття екосистем Шацького національного природного парку. – Львів: СПОЛОМ, 2013. – С. 67–68.
98. Романюк, О. Моніторинг довкілля в зоні озокеритового рудника [Текст]: звіт Д2-08 / О. Романюк та ін. – Львів: Відділення ФХГК ІнФОХВ імені Л. М. Литвиненка НАН України, 2008. – 32 с.
99. Шувалов, Ю. В. Очистка ґрунтов от загрязнения нефтью и нефтепродуктами [Текст] / Ю. В. Шувалов, Е. А. Синькова, Д. Н. Кузьмин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2004. – № 12. – С. 107–117.
100. Загвоздкин, В. К. Информационная поддержка управления ликвидацией последствий аварийных разливов нефти и нефтепродуктов [Текст]: автореф. дисс. ... канд. техн. наук / В. К. Загвоздкин. – Москва, 2007. – 20 с.
101. Романюк, О. Розробка наукових основ комплексного екологічного моніторингу та методології відновлення техногенно зміненого довкілля [Текст]: звіт по держбюджетній темі / О. Романюк та ін. – Львів: Відділення ФХГК ІнФОХВ імені Л. М. Литвиненка НАН України, 2016. – 202 с.

*Рекомендовано до публікації д-р біол. наук, професор, академік АН ВШ України Терек О. І.
Дата надходження рукопису 20.01.2017*

Шевчик Леся Зеновіївна, молодший науковий співробітник, Відділення фізико-хімії горючих копалин Інституту фізико-органічної хімії і вуглехімії ім. Л. М. Литвиненка НАН України, вул. Наукова, 3а, м. Львів, Україна, 79053
E-mail: lesyashevchik@gmail.com

Романюк Ольга Іванівна, кандидат хімічних наук, старший науковий співробітник, Відділення фізико-хімії горючих копалин Інституту фізико-органічної хімії і вуглехімії ім. Л. М. Литвиненка НАН України, вул. Наукова, 3а, м. Львів, Україна, 79053
E-mail: romaniuk@ua.fm