

УДК 502.5:(665.7:556.388)(477)

 <https://doi.org/10.31996/mru.2019.3.49-51>

О. М. ШПАК, канд. геол. наук, науковий співробітник (Інститут геологічних наук НАН України), Київ, shpak_lena@yahoo.com, <https://orcid.org/0000-0002-7021-0842>,

О. І. ЛОГВИНЕНКО, молодший науковий співробітник (Інститут геологічних наук НАН України), Київ, <https://orcid.org/0000-0001-8193-4144>

O. SHPAK, PhD, scientific researcher (Institute of Geological Sciences of the NASU), Kyiv, shpak_lena@yahoo.com, <https://orcid.org/0000-0002-7021-0842>,

O. LOHUVYENKO, junior scientific researcher (Institute of Geological Sciences of the NASU), Kyiv, <https://orcid.org/0000-0001-8193-4144>

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИРОДНОГО САМООЧИЩЕННЯ ПІДЗЕМНОГО СЕРЕДОВИЩА, ЗАБРУДНЕНОГО НАФТОПРОДУКТАМИ

ИССЛЕДОВАНИЕ ЕСТЕСТВЕННОГО САМООЧИЩЕНИЯ ПОДЗЕМНОЙ СРЕДЫ, ЗАГРЯЗНЕННОЙ НЕФТЕПРОДУКТАМИ

RESEARCH OF NATURAL REMEDIATION OF THE SUBSURFACE CONTAMINATED WITH PETROLEUM PRODUCTS

(Матеріал друкується мовою оригіналу)

Ремедіація підземного середовища, забрудненого нафтопродуктами, є світовою екологічною проблемою й одним з пріоритетних напрямів геоecологічних досліджень в Україні. Відновлення забруднених ґрунтів зони аерації може відбуватися внаслідок діяльності мікроорганізмів, переважно мікроміцетної флори, особливості розміщення й життєдіяльності яких залежать від глибини та ступеня забрудненості, умов аеробності тощо. На практиці складно використовувати штучні мікробіологічні підходи, і варто розраховувати на самоочищення ґрунтів завдяки впливу мікроорганізмів, що існують у підземному середовищі. Особливий інтерес становлять вуглеводень-окиснювальні мікроорганізми (ВОМ), які використовують вуглеводні як джерело вуглецю й енергії.

Польові дослідження проведено на території складу пально-мастильних матеріалів (ПММ) аеропорту “Бориспіль”, де 1998 року було виявлено забруднення геологічного середовища нафтопродуктами. Відібрано зразки ґрунту на забруднених і незабруднених ділянках, виконано кількісний аналіз умісту нафтопродуктів у ґрунтах і визначено видовий склад мікроміцетів. Зразки ґрунту відбирали у трьох свердловинах на різній глибині – у центральній частині джерела забруднення нафтопродуктами на глибині 0,1 й 2,0 м (зона аерації) та 4,0 м (насичена зона), у північній частині складу ПММ у зоні аерації на глибині 0,1 та 1,0 м і за межами джерела забруднення в зоні аерації на глибині 3,7 м. Дані визначення розміщення грибних культур в отриманих зразках ґрунту свідчать про різноманітність їхніх форм, залежно від ступеня забруднення, глибини відбирання, літології й водонасичення. Потрібно проводити регулярний моніторинг з відбиранням зразків ґрунту й визначенням умісту нафтопродуктів для уточнення висновків щодо природного самоочищення забруднених ґрунтів унаслідок життєдіяльності ВОМ.

Ключові слова: забруднення, нафтопродукти, ремедіація, мікроорганізми, біодеградація.

Remediation of the subsurface contaminated with petroleum products is the ecological problem on a world scale and a foreground direction of geoecological research in Ukraine. Remediation of contaminated vadose zone can be provided with the activity of microorganisms, mainly micromycetes, whose features of location and vital activity depend on a depth, the level of contamination, aerobic conditions, etc. Practically, it is complicated to use artificial microbiological methods and natural remediation of contaminated subsurface due to microorganisms should be taken into consideration. Microorganisms oxidizing hydrocarbons are of particular interest.

Field investigations were carried out within the fuel storage of the Boryspil airport where subsurface contamination with petroleum products was revealed in 1998. The research included sampling at contaminated and uncontaminated sites, quality analysis of petroleum product contains in soils and determination of the species composition of micromycetes. Soil samples were taken in three wells at different depths – in the center of the contamination source at the depths of 0,1 m and 2,0 m (unsaturated zone) and 4,0 m (saturated zone), in the northern part of the fuel storage in the unsaturated zone at the depths of 0,1 m and 1,0 m, and out of the contamination source in the unsaturated zone at the depth of 3,7 m. Fungus culture determination data in soil samples indicate that variety of their forms depends on a contamination degree, a depth of sampling, lithology and water saturation. Regular monitoring should be carried out including soil sampling and determination of petroleum product contains to specify conclusions about natural remediation of contaminated soils due to life activity of microorganisms oxidizing hydrocarbons.

Keywords: contamination, petroleum products, remediation, microorganisms, biodegradation.

Введение. В связи с увеличением случаев загрязнения ґрунтов и подземных вод нефтепродуктами (НП), за последние десятилетия специалистами были разработаны различные методы для локализации загрязнений и восстановления загрязненных ґрунтов и подземных вод. Ремедіація загрязненных НП территорий является одним из приоритетных направлений геоecологической деятельности в Украине.

Применение методов ремедіації зависит от гидрогеологических условий участка, свойств загрязнителя и его распространения в подземной среде и цели ремедіації. Традиционные методы, такие как откачка и обработка загрязненных подземных вод, как правило, не позволяют восстановить загрязненную подземную среду до существующих стандартов качества [6]. Необходимо применять методы извлечения остаточных НП, в частности, заземленных в ненасыщенной зоне, которые являются источ-

ником долговременного загрязнения подземных вод [5]. Существенную роль в трансформации НП играет биодеградация. В природе широко распространены микроорганизмы, способные разлагать углеводородные соединения. Естественное самоочищение загрязненных НП территорий следует рассматривать как элемент комплексных восстановительных мероприятий.

Теоретическое обоснование. Даже незначительное загрязнение ґрунта НП приводит к снижению количества микроорганизмов. Уменьшается аерація ґрунта и микробное самоочищение, изменяется соотношение между отдельными группами природных микроорганизмов, угнетаются процессы азотфиксации и нитрификации, накапливаются сложно окисляемые продукты. Загрязнение ґрунтов НП с концентрацией выше 13 г/кг представляет существенную угрозу, поскольку при этом начинается миграция НП в ґрунтовые воды и существенно нарушается экологическое равновесие в ґрунтовым биоценозе [1]. При загрязнении ґрунта 4–5 % (40–50 тыс. мг/кг) почти пре-

кращаються процеси самоочищення, і підвищення активності мікроорганізмів, здатних розлагати НП, не спостерігається навіть після року. Данний рівень забруднення вважається критичним, і слід використовувати спеціальні агротехнічні та агрохімічні способи стимулювання біологічної активності ґрунту. При менших концентраціях НП зниження біологічної продуктивності ґрунту триває від трьох до шести місяців. Далі спостерігається посилене розмноження бактерій, які використовують нафту і НП як джерело вуглецю та енергії, що призводить до поступового їх окислення [3].

Мікроорганізми, здатні до руйнування НП, широко розповсюджені в підземній середі, і їх численність залежить від кліматичних умов, характеристик ґрунту, глибини залягання ґрунтових вод і др. К ним належать гриби – *Aspergillus*, *Penicillium*, *Streptomyces*, *Actinomyces*, *Fusarium*, *Trichoderma*, *Rhizopus*. Мікроскопічні гриби (мікроміцети) є одним із найважливіших за функціями компонентів ґрунтової біоти. В забруднених ґрунтах виділяють гриби родів *Penicillium* і *Aspergillus*. В сильно забруднених ґрунтах домінують види *Penicillium funiculosum*, *Aspergillus terreus*, *Penicillium janthinellum* [4]. Особливий інтерес представляють вуглеводород-окислюючі мікроорганізми (УОМ), які використовують вуглеводороди (УВ) як джерело вуглецю та енергії. Серед міцеллярних грибів – це роди *Cunninghamella*, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Cladosporium*. Показано, що численність УОМ зростає при забрудненні ґрунту нафтою на 1–3 порядки порівняно з незабрудненим ґрунтом.

На практиці складно застосовувати штучні мікробіологічні методи, і слід враховувати самоочищення ґрунтів завдяки життєдіяльності мікроорганізмів, які існують в підземній середі на різних глибинах у різних за складом і властивостями ґрунтах.

Полеві дослідження. Дослідження проводилися на території складу горюче-смазочних матеріалів (ГСМ) аеропорту Борисполь, де забруднення геологічної середі НП існує з 1998 р.

Вибрані зразки ґрунту з забруднених і незабруднених ділянок, виконано кількісний аналіз вмісту нафтопродуктів у ґрунтах, і вивчено особливості знаходження, видового складу та розвитку мікроміцетів.

Скважина 4 м знаходиться в центральній частині джерела забруднення НП (рис. 1). ґрунти на глибину до 6,0 м забруднені НП. За період моніторингу в скважині зафіксовано

шар мобільних НП від 0,6 до 1,1 м. Вибрано три зразки на глибинах 0,1; 2,0 (зона аерації) і 4,0 м (насичена зона).

Скважина 21 м розташована в північній частині складу ГСМ. Зона забруднення приурочена до інтервалу коливання рівня ґрунтових вод (УГВ) – 2,2–4,3 м. Вибрано два зразки на глибинах 0,1 і 1,0 м (зона аерації) в незабруднених відкладах.

Скважина 25 м розташована за межами джерела забруднення вгору по потоку ґрунтових вод на західній межі складу ГСМ. Вибрано зразок ґрунту на глибині 3,7 м (на 0,5 м вище УГВ).

Дані визначення знаходження грибних культур в отриманих зразках ґрунту свідчать про різноманітність їх форм в залежності від рівня забруднення, глибини відбору, літології та водонасиченості.

В шарі ґрунту до 0,1 м спостерігається повне невідповідність штамів в незабруднених і забруднених ґрунтах. В першому випадку домінують види *Mortierella alpina* Peyronel, *Trichoderma virens* Miller, *Trichoderma koningi* Oudem, в другому – *Paecilomyces* і *Aspergillus* (останні належать до УОМ). Різноманітність представників *Aspergillus* свідчить про давнє забруднення, оскільки забруднення УВ з часом призводить до змін видової структури, а високий рівень забруднення формує нові, нетипичні комплекси, де домінують види з фітотоксичними властивостями, до яких належать *Aspergillus* [2, 4]. Показатель КОЕ (кількість утворюючих одиниць) для забрудненого ґрунту значно вище (11,0 тис. од./г при вмісті НП=884,48 мг/кг), ніж для незабрудненого (3,75 тис. од./г при вмісті НП=475,61 мг/кг) (табл. 1).

Аналогічне невідповідність спостерігається і на великій глибині в умовах близьких до анаеробних. Для незабрудненого ґрунту на глибині 3,7 м домінуючим є вид *Fusarium*, а для забрудненого на глибині 4,0 м – *Cladosporium* і *Scolecobusidium*. Показатель КОЕ для забрудненого ґрунту значно вище (12,5 тис. од./г при вмісті НП=844,85 мг/кг), ніж для незабрудненого (2,7 тис. од./г при вмісті НП<0,01 мг/кг).

Подібна тенденція спостерігається і на проміжних глибинах. Незабруднений ґрунт на глибині 1,0 м має однорідний видовий склад грибів з низьким їх вмістом (10–20 %) і значенням КОЕ=1,6 тис. од./г при вмісті НП=270,99 мг/кг. Забруднений ґрунт на глибині 2,0 м містить більше різноманітності грибів з домінуючим видом *Pseudallescheria* і показателем КОЕ=79 тис. од./г при вмісті НП=1084,1 мг/кг (табл. 1).

В зразках, вибраних із скв. 21 м на глибинах 0,1 і 1,0 м, спостерігається наявність в невеликій кількості (10–20 %) грибів *Penicillium*, які належать до УОМ. Це може свідчити про незначительне давнє забруднення. В поверхневому шарі 0,1 м присутні НП в кількості 475,61 мг/кг, а на глибині 1,0 м вміст НП зменшується до 270 мг/кг. Ймовірно, це відбулося внаслідок незначительного забруднення з поверхні та інфільтрації. Аналогічний склад грибів не спостерігається в інших зразках.

В скв. 4 м зразки відбиралися на глибинах 0,1; 2,0 і 4,0 м. Спостерігається повне невідповідність штамів мікро-

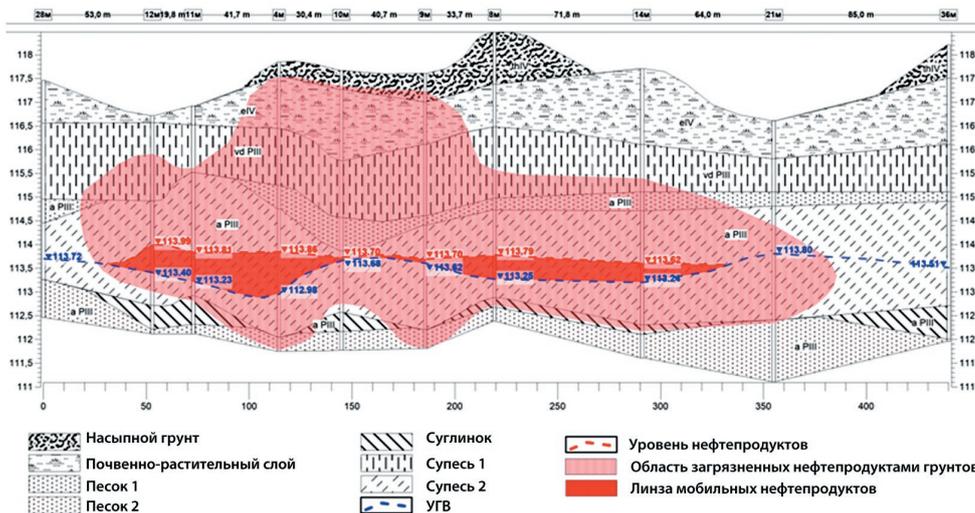


Рис. 1. Еколого-гідрогеологічний розріз території досліджень

Таблиця 1. Содержание грибных микроорганизмов в образцах грунта

Скв./глубина отбора, м	Характеристика образца	КОЕ, тыс. ед./г	Содержание НП, мг/кг
Скв. 21м / 0,1	Суглинок средний не загрязнен	3,75	475,61
Скв. 21м / 1,0	Зона аэрации, супесь легкая не загрязнена	1,60	270,99
Скв. 4м / 0,1	Насыпной грунт, супесь тяжелая, давнее загрязнение	11,00	844,48
Скв. 4м / 2,0	Зона аэрации, супесь легкая загрязнена	79	1084,1
Скв. 4м / 4,0	Насыщенная зона, супесь легкая загрязнена	12,5	844,85
Скв. 25м / 3,7	Насыщенная зона, супесь легкая не загрязнена	2,7	<0,01

Таблиця 2. Сравнение доминирующих видов грибов в образцах загрязненных и незагрязненных грунтов

Глубина отбора, м	Распространенные виды грибов в грунтах	Наличие грибов в грунтах	
		незагрязненных	загрязненных
0,1	<i>Mortierella alpine Peyronel</i>	Присутствуют	Отсутствуют
0,1	<i>Trichoderma virens Miller, Giddens et Foster</i>	Присутствуют	Отсутствуют
0,1	<i>Trichoderma koningi Oudem</i>	Присутствуют	Отсутствуют
0,1	<i>Aspergillus fumigatus Fres</i>	Отсутствуют	Присутствуют
0,1	<i>Aspergillus ochraceus Wilhelm</i>	Отсутствуют	Присутствуют
0,1	<i>Aspergillus Parasiticus Speare</i>	Отсутствуют	Присутствуют
0,1	<i>Aspergillus terreus</i>	Отсутствуют	Присутствуют
0,1	<i>Paecilomyces marquandi Hughes</i>	Отсутствуют	Присутствуют
1,0–2,0	<i>Pseudallescheria bogdii Ginnis</i>	Отсутствуют	Присутствуют
3,7	<i>Fusarium moniliforme Bilai</i>	Присутствуют	Присутствуют
4,0	<i>Fusarium solani Sacc.</i>	Присутствуют	Присутствуют
4,0	<i>Cladosporium cladosporioides de Vries</i>	Присутствуют	Присутствуют
4,0	<i>Scolecobusidium macrosp. Roy, Dw. Et Mishra</i>	Присутствуют	Присутствуют

организмов. На глубине 0,1 м доминирующими являются виды *Paecilomyces* и *Aspergillus* (табл. 2). Грунт загрязнен с содержанием НП=844,48 мг/кг и КОЕ=11 тыс. ед./г. На глубине 2,0 м доминирующими являются грибы вида *Pseudallescheria bogdii Ginnis*, также встречаются представители вида *Cladosporium*. Доминирующих видов грибов, отнесенных к УОМ, не наблюдается, содержание НП=1084,1 мг/кг, КОЕ=79 тыс. ед./г. На глубине 4,0 м также не найдены виды грибов, относящихся к УОМ, обнаруженные виды отсутствуют в других образцах, содержание НП=844,85 мг/кг, КОЕ=12,5 тыс. ед./г.

По наличию определенных микроорганизмов и содержанию НП можно предположить, что НП с поверхности постепенно достигали УГВ, и происходило загрязнение насыщенной зоны. Загрязнение верхнего слоя грунта является давним. Об этом свидетельствует концентрация НП, которая ниже концентрации на глубине 2,0 м, а также наличие в доминирующем количестве грибов *Aspergillus*, которые относятся к УОМ и не встречаются в таком количестве видов и доминирующем составе ни в одном образце. Высокий уровень загрязнения формирует новые, не типичные для данных грунтов комплексы. Это объясняет наличие указанных грибов только в данном образце. Можно предположить, что начальный уровень загрязнения был значительно выше того, что наблюдается на глубине 2,0 м (1084,0 мг/кг). В течение длительного времени уменьшение концентраций, возможно, происходило за счет инфильтрации и деятельности микроорганизмов. Наличие в доминирующем количестве УОМ, которые не наблюдаются в других образцах, высокое значение КОЕ, уменьшение концентрации загрязнения могут свидетельствовать об активной роли микроорганизмов в процессах естественного самоочищения грунтов. Высокое загрязнение грунтов на глубине 2,0 м можно объяснить отсутствием УОМ и относительно небольшим значением КОЕ=79 тыс. ед./г. В данных условиях не происходит естественное самоочищение за счет микроорганизмов.

Выводы. Анализируя данные полевых исследований, можно утверждать следующее:

- основным лимитирующим фактором наличия определенных видов грибов в грунте является глубина нахождения, что в определенных интервалах разреза исключает или почти исключает их совпадение;
- для загрязненных и незагрязненных грунтов на одинаковой глубине отсутствует совпадение видовых ассоциаций грибов;

- для загрязненных грунтов характерно большее разнообразие доминирующих видов грибов при значительно больших показателях КОЕ, чем для незагрязненных грунтов;
- можно предположить, что определенный уровень загрязнения грунта стимулирует активное развитие определенных видов грибов как в аэробных, так и близких к анаэробным условиям.

В дальнейшем следует проводить регулярный мониторинг с отбором образцов грунта и определением содержания НП, чтобы уточнить выводы о природном самоочищении загрязненных НП грунтов в результате жизнедеятельности УОМ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бабаджанова О. Ф. Проблемы забруднення ґрунту нафтопродуктами/О. Ф. Бабаджанова, Н. М. Гринчишин//Тези ІІ Міжнар. наук-практ. конф. “Техногенна безпека: Теорія, практика, інновація” – Львів: ЛДУ, 2011. – С. 35–36.
2. Долматова Е. С. Микроорганизмы в почвенной нефтепереработке/Е. С. Долматова; НИИЭМ СО РАМН им. Г.П. Сомова. – Владивосток, 2015. – 24 с.
3. Куликова И. Ю. Биодegradация нефтяных углеводородов. Оценка активности штамма PH. Myrsinacearum/И. Ю. Куликова//ЭКиП: Экология и промышленность России. – 2008. – № 12. – С. 17–19.
4. Марфенина О. Е. Антропогенная экология почвенных грибов/О. Е. Марфенина. – М.: Медицина для всех, 2005. – 195 с.
5. Hunt J. R. Nonaqueous phase liquid transport and clean up/ J. R. Hunt, N. Sitar, K. S. Udell//Water resources research. – 1988. – Vol. 24. – № 8. – P. 1247–1258.
6. Newell C. J., Acree S. D., Ross R. R., Huling S. G. Light nonaqueous phase liquids//EPA Ground Water Issue. EPA 540-S-95-500, July 1995. – 28 p.

REFERENCES

1. Babadzhanova O. F., Grynychyshyn N. M. Problems of soil contamination by petroleum products//Tezy II Mizhn. nauk.-prakt. konf. “Tekhnohenna bezpeka: Teoriia, praktyka, inovatsiia” – Lviv: LDU, 2011. – P. 35–36. (In Ukrainian).
2. Dolmatova E. S. Microorganisms in soil refining. – Vladivostok, 2015. – 24 p.
3. Kulikova I. Ju. Biodegradation of petroleum hydrocarbons. Assessment of the activity of the PH strain. Myrsinacearum//JeKiiP: Jekologiya i promyshlennost Rossii. – 2008. – № 12. – P. 17–19. (In Russian).
4. Marfenina O. E. Anthropogenic ecology of soil fungi. – Moskva: Medicina dlya vseh, 2005. – 195 p. (In Russian).
5. Hunt J. R., Sitar N., Udell K. S. Nonaqueous phase liquid transport and clean up//Water resources research. – 1988. – Vol. 24. – № 8. – P. 1247–1258.
6. Newell C. J., Acree S. D., Ross R. R., Huling S. G. Light nonaqueous phase liquids//EPA Ground Water Issue. EPA 540-S-95-500, July 1995. – 28 p.

Р у к о п и с о т р и м а н о 2.09.2019.