

11. Полупан Н.И., Носко Б.С., Кузмичев В.П. Полевой определитель почв. Киев : Урожай, 1981. 320 с.
12. Кисіль В.Д. Агрогрунтови райони степової чорноземної зони *Агрохімія і ґрунтознавство*. 1969. Вип. 12. С. 109–137.
13. Кисіль В.Д., Платонова Г.Ю. Природа та агровиробничі властивості чорноземів звичайних південно-західних районів Степу Української РСР. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 1978. Вип. 36. С. 23–27.

УДК 504.054

DOI <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.120.35>

НАПРЯМИ БІОРЕМЕДІАЦІЇ ТЕХНОГЕННО ЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТІВ

Писаренко П.В. – д.с.-г.н., професор, завідувач кафедри екології,
збалансованого природокористування та захисту довкілля,
Полтавська державна аграрна академія

Диченко О.Ю. – к.с.-г.н., доцент кафедри екології,
збалансованого природокористування та захисту довкілля,
Полтавська державна аграрна академія

Цьова Ю.А. – к.с.-г.н., доцент кафедри екології,
збалансованого природокористування та захисту довкілля,
Полтавська державна аграрна академія

Середа М.С. – аспірант кафедри екології,
збалансованого природокористування та захисту довкілля,
Полтавська державна аграрна академія

Дослідження напрямів очистки і відновлення техногенно забруднених ґрунтів біологічними методами, зокрема пробіотичними препаратами, є одним з актуальних питань сьогодення, тому головним завданням даних досліджень стало оцінити фітотоксичність ґрунту, забрудненого важкими металами та нафтопродуктами, до і після очистки води пробіотичними препаратами та обґрунтувати напрями біоремедіації техногенно забруднених ґрунтів.

У статті проведено оцінку фітотоксичності техногенно забрудненого ґрунту, відібраного на різних відстанях від звалища твердих побутових відходів. Для оцінки фітотоксичної ефекту впливу нафтопродуктів та важких металів використано показники: висота проростків, довжина коренів, фітомаса проростків і кореневої системи рослин. В експерименті були використані тест-культури: горох посівний (*Pisum sativum*), овес звичайний (*Avena sativa*).

Отримані результати показали, що практично за всіх концентрацій нафтопродуктів та важких металів за допомогою пробіотику ґрунт відновлено до 5-го класу токсичності – токсичність відсутня. Тільки у досліді на гороху посівному у ґрунті з 5-ї ділянки по масі коренів і по масі наземної частини фітотоксичний ефект очистки за допомогою пробіотику становив понад 20% – слабка токсичність. Середній ефект чистки пробіотиком за висівання гороху посівного становив 75%, овесу звичайного – 74%.

В умовах польового досліді встановлено, що під час використання Світеко-Агробіотик-01 розбавленням 1:1000 концентрація нафтопродуктів знизилася на 1-й пробі – на 85% (50 м від звалища), на 2-й пробі – на 87% (500 м від звалища). Таким чином, даний експеримент підтвердив високу ефективність біоремедіації (понад 80%) у польових умовах порівняно із самоочищенням ґрунту від нафтопродуктів.

Установлено, що в результаті проведення фіторемедіації забруднених ґрунтів нафтопродуктів за допомогою рослин та пробіотичних препаратів найбільш високу здатність

до очищення показала віко-вісяна суміш із пробіотиком. Люцерна з пробіотиком показували також високі результати, але нижчі від попередньої суміші на 4–7%. Використання самих пробіотичних препаратів показало достатньо високий ефект, але нижчий, аніж комплексне використання з рослинами (орієнтовно на 10–12%). Таким чином, у результаті проведення фітормедіації вдалося прискорити процес очищення ґрунтів від нафтопродуктів. При цьому порівняно з процесом самоочищення вміст забруднювача за використання віко-вісяної суміші і пробіотику знизив у ґрунтових зразках із початкової концентрацією 1000 мг/кг на 50%, 2000 мг/кг – на 46%, 5000 мг/кг – на 45% і 10000 мг/кг – на 22%.

На основі проведених досліджень у подальшому планується розробити методичні основи комплексної системи відновлення техногенно забруднених ґрунтів за рахунок застосування новітніх екологічнобезпечних методів (пробіотичних препаратів).

Ключові слова: пробіотик, нафтопродукти, забруднений ґрунт, фітотоксичний ефект, токсичність.

Pysarenko P.V., Dychenko O.Yu., Ts'ova Yu.A., Sereda M.S. Directions of bioremediation of technogenic contaminated soils

Studying the directions of purification and reclamation of industry-related polluted soils with biological methods, probiotic preparations, in particular, is one of the topical questions at present. Therefore the main task of this research was to estimate the phyto-toxicity of soil polluted with heavy metals and petroleum products before and after water purification with probiotic preparations and substantiate the directions of industry-related polluted soils' bioremediation.

The estimation of phyto-toxicity of the polluted soil taken at different distances from solid waste landfill was conducted in the article. To evaluate the phyto-toxic effect of petroleum products and heavy metals, the following indicators were used: plantlets' height, root length, the phyto-mass of plantlets and plant root system. Garden pea (*Pisum sativum*) and cultivated oat (*Avena sativa*) were used as test crops in the experiment.

The obtained results have shown that practically at all petroleum products and heavy metals' concentrations the soil was reclaimed to toxicity class 5 by using probiotic, i.e. the toxicity was absent. Only in the experiment on garden pea on plot 5, the phyto-toxic effect after purification with probiotic made more than 20% as to root and above-ground part weight – the toxicity was weak. The average effect after purification with probiotic at sowing garden pea made 75% and oat – 74%.

In the conditions of field experiment, it has been established that at applying Sviteco-Agrobionic-01 diluted in 1:1,000, the concentration of petroleum products decreased by 85% in sample 1 (50 meters away from the landfill) and by 87% in sample 2 (500 m away from the landfill). Thus, this experiment confirmed the high effectiveness of bio-remediation (more than 80%) under field conditions in comparison with self-purification of soils from petroleum products.

It has been established that as a result of conducting phyto-remediation of soils polluted with petroleum products by using plants and probiotic preparations, the highest ability to purification was shown by vetch and oat mixture with probiotic. Alfalfa with probiotic also showed high results, but by 4–7% lower than the previously mentioned mixture. Applying only probiotic preparations demonstrated high enough effect, but it was lower than their complex using with plants (by about 10–12%). Thus, as a result of using phyto-remediation, it became possible to accelerate the process of soil purification from petroleum products. Moreover, in comparison with the process of self-purification, the amount of pollutant decreased in soil samples at applying vetch and oat mixture with probiotic from the initial concentration of 1,000 mg/kg by 50%, 2,000 mg/kg – by 46%, 5,000 mg/kg – by 45%, and 10,000 mg/kg – by 22%.

Based on the conducted studies, in future it is planned to develop methodological foundations of the complex system of industry-related polluted soils' reclamation by using the latest environmentally safe methods (probiotic preparations).

Key words: probiotic, petroleum products, contaminated soil, phytotoxic effect, toxicity.

Постановка проблеми. Поверхневі накопичувачі твердих відходів, зокрема звалища твердих відходів, у результаті недотримання правил їх складування і захоронення завдають шкоди флорі та фауні, здоров'ю населення, а також впливають на динамічну рівновагу біосфери. Ґрунт при цьому є ефективним поглиначем багатьох токсичних речовин, у тому числі важких металів та нафтопродуктів, які зазвичай утримуються в поверхневому, родючому шарі. Нафтопродукти та важкі метали змінюють механічні, хімічні, біохімічні і фізико-хімічні характеристики

грунту, викликаючи загибель рослин і мікроорганізмів, що сприяють її самоочищенню. Будь-яке забруднення літосфери твердими побутовими відходами може спричинити забруднення поверхневих і підземних вод та атмосфери.

Загалом відходи вивозять на 4 530 звалищ і полігонів у регіонах України, з яких 770 обслуговують крупні населені пункти [1, с. 45]. Водночас більшість звалищ і полігонів твердих полігонів заповнено більше ніж на 90% та не відповідають вимогам екологічної безпеки, практично всюди відсутні системи утилізації фільтрату, збору біогазу, що збільшує техногенну небезпеку даних об'єктів. Особливу небезпеку створюють звалища твердих побутових відходів, які забруднюють землі сільськогосподарського призначення та створюють економічні збитки доквітлю та сільському господарству. Тому питання рекультиваци та ремедаци техногенно забруднених ґрунтів, зокрема місць видалення відходів, є надзвичайно актуальними.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сьогодні питання скорочення площ техногенно забруднених ґрунтів, зокрема забруднених твердими побутовими відходами та нафтопродуктами, а також їх відновлення і повернення в господарський обіг досліджувалися багатьма вітчизняними та зарубіжними вченими, серед яких: Р. Амос [2], А. Адебола [3], С. Ан'яна [4], О. Бабаджанова [5], Бунйо [6], В.С. Вагін [7], А. Вієрзбіскі [8], Г. Галілова [9], К. Сінг [10], С. Чачіна [11], Ч. Чигренева [12], Я. Янінг [13] тощо. Водночас за наявності широкого комплексу методів рекультиваци техногенно забруднених ґрунтів важкими металами та нафтопродуктами, що наводиться у науковій літературі, питання використання пробіотиків для очищення місць видалення відходів, є недостатньо вивченими. Широкому застосуванню пробіотичних препаратів перешкоджає недостатня вивченість даного напрямку: відсутні наукова і науково-практична база, порівняльні дослідження різних пробіотиків, методики розрахунку необхідних доз використання, прибутків для отримання заданого ефекту очищення тощо. Таким чином, постає необхідність у подальших дослідженнях методів відновлення техногенно забруднених ґрунтів мікробіологічними препаратами.

Постановка завдання. Метою роботи є наукове обґрунтування напрямів очистки і відновлення техногенно забруднених ґрунтів біологічними методами, зокрема пробіотичними препаратами. Головним завданням досліджень стало оцінити фітотоксичність ґрунту, забрудненого важкими металами та нафтопродуктами, до і після очистки води пробіотичними препаратами.

Матеріал та методика досліджень. На першому етапі роботи для комплексної оцінки фітотоксичності ґрунту, забрудненого нафтопродуктами, до і після очистки води пробіотичними препаратами використано метод проростків [14, с. 47].

Метод проростків заснований на реакції тест-культур під час внесення в ґрунт різних забруднюючих речовин. Він дає змогу виявити токсичну або стимулюючу дію тих чи інших речовин. Як тест-культури одночасно використовуються рослини, здатні фіксувати і не здатні фіксувати азот [15, с. 21].

Для визначення фітотоксичності забрудненого нафтопродуктами ґрунту поміщали в чашки Петрі та висівали насіння тест-культур. Фітотоксичність визначали за проростанням насіння тест-культур. Контроль – дистильована вода.

Визначення фітотоксичного впливу ґрунту на ріст і кореневу систему рослин здійснювали на підставі розрахунку за формулою [16, с. 18]:

$$FE = [(Mo - Mk) / Mo] \times 100 \%, \quad (1)$$

де Mo – маса або ростові показники рослин із контрольним зразком води;

Mk – маса або ростові показники рослин у воді, що досліджується. Дослідження були проведені у чотириразовій повторності.

Як тест-культури повинні бути використані типові рослини для досліджуваного виду забруднювача, що володіють яскраво вираженою стрес-реакцією на наявне забруднення: горох посівний (*Pisum sativum*), овес звичайний (*Avena sativa*) [17, с. 78].

На першому етапі посів тест-культур проводився після внесення нафтопродуктів у трьох варіантах: на 2 добу; на 30 добу; на 180 добу. Нафтопродукти були внесені до вмісту: 1000, 2000, 5000, 10000 і 20000 мг/кг. Зразки знімалися на 14 добу після висаджування. Уміст нафтопродуктів у контрольному зразку ґрунту становив 40 мг/кг, що відповідає фоновій концентрації нафтопродуктів для Полтавської області.

Очищення забрудненого нафтопродуктами ґрунту проводили біологічним методом, використовуючи пробіотик Світеко-Агробіотик-01 (у розведенні 1:100). Пробіотик вносили на другий день після нафтового забруднення. Для оцінки фітотоксичного ефекту забрудненого нафтопродуктами ґрунту після внесення пробіотику використовували тест-культури горох посівний (*Pisum sativum*) та овес звичайний (*Avena sativa*).

Виклад основного матеріалу дослідження. На першому етапі експерименту проведено дослідження ґрунту біля звалища ТПВ (с. Сенча, Лохвицького району Полтавської області), відібраного на різних відстанях від нього (у шарі ґрунту 0–20 см): 1 ділянка – 500 м; 2 ділянка – 250 м; 3 ділянка – 100 м; 4 ділянка – 50 м; 5 ділянка – тіло звалища ТПВ.

Попередні хіміко-токсикологічні дослідження зразків ґрунту в акредитованій лабораторії агроекологічного моніторингу ПДАА здійснювали за загальноприйнятими методиками (ДСТУ 17.4.4.02:2019; ДСТУ 4770.9:2007; ДСТУ 4770.3:2007; ДСТУ 4770.5:2007; ДСТУ 4770.1:2007; ДСТУ 7965:2015; ДСТУ 4770.6:2007; ДСТУ 4770.2:2007; ДСТУ 7965:2015; МВВ 31-497058-009-2002). Оцінка результатів кількісного хімічного аналізу шифрованих проб ґрунту показала завищений уміст важких металів та нафтопродуктів залежно від відстані від звалища ТПВ, що значно перевищує встановлені норми Наказу МОЗ від 14.07.2020 № 1595 «Про затвердження Гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних речовин у ґрунті» (рис. 1).

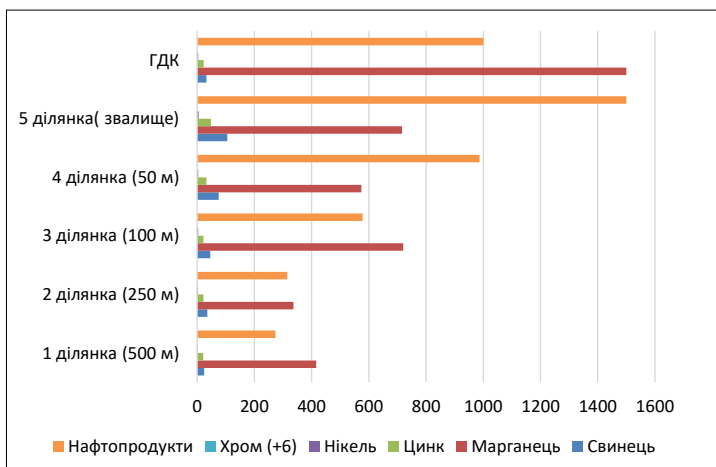


Рис. 1. Валовий уміст важких металів у ґрунті та нафтопродуктів на різних відстанях від звалища ТПВ

У лабораторних умовах проведено оцінку фітотоксичного ефекту відібраних проб ґрунту на різних відстанях від звалища ТПВ до і після очистки пробіотичними препаратами (Світеко-Агробіотик-01, розбавлення 1:1000). Для оцінки фітотоксичного ефекту (ФЕ) ґрунту впливу важких металів і нафтопродуктів до і після очистки пробіотиком використано горох посівний та овес звичайний. Для оцінки ФЕ були використані такі показники: висота проростків, довжина коренів, а також фітомаса проростків і кореневої системи рослин. Порівняння результатів ФЕ без внесення пробіотиків та з ними приведено табл. 1.

Таблиця 1

Фітотоксичний ефект ґрунту (ФЕ), забруднений та відновлений за допомогою пробіотику

Час експозиції, дб (від внесення пробіотику)	Ділянка	ФЕ, %									
		по проростанню		по довжині коренів		по масі коренів		по довжині наземної частини		по масі наземної частини	
		забруднений ґрунт	з очисткою пробіотиком	забруднений ґрунт	з очисткою пробіотиком	забруднений ґрунт	з очисткою пробіотиком	забруднений ґрунт	з очисткою пробіотиком	забруднений ґрунт	з очисткою пробіотиком
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Горох посівний (<i>Pisum sativum</i>)											
2	1 ділянка	2,6	-1,2	5	-2,5	0,8	-1,1	6,7	-1,1	0	-1,2
	2 ділянка	2,6	-1,6	9,3	-1	-0,8	-0,5	-5,7	-5,1	-3,4	-5,2
	3 ділянка	-2,6	-3,2	14,3	2,4	-0,5	-0,6	3,7	-2,1	-5,2	-4,5
	4 ділянка	10,4	2,5	11,4	3,6	-9,3	-5,5	9,8	3,1	-9,3	-10,2
	5 ділянка	16,9	3,1	15	5,1	-11,9	-5,6	13,6	4,2	-11,9	-5,2
20	1 ділянка	2,7	-0,6	-3,9	-0,5	2,6	-0,1	1,7	-1,2	0,7	-2,1
	2 ділянка	13,3	-0,4	1,9	1,2	7,6	1,2	11,3	-3,1	4,3	1,2
	3 ділянка	9,3	1,2	3,9	1,5	5,7	1,5	24,8	1,1	10,1	5,1
	4 ділянка	9,3	3,5	5,8	1,5	9,8	0,2	22,6	12,1	13	7,8
	5 ділянка	13,3	5,7	8,3	2,2	-3,8	-1,1	-0,2	-1,1	-6,5	-2,5
180	1 ділянка	18	2,5	14	2,8	25	5,1	1,8	-2,1	2	-1,1
	2 ділянка	28,8	7,8	53,7	10,1	39,1	6,1	21,2	5,1	12,6	5,3
	3 ділянка	42,4	10,2	57,4	12,2	55,1	6,8	35,9	10,1	28,3	9,1
	4 ділянка	67	15,1	72,8	15,5	75,1	15,1	65,2	12,1	60,3	14,3
	5 ділянка	78,3	18,2	49,3	18,1	78,2	21,5	51,8	15,3	79,8	22
Овес звичайний (<i>Avena sativa</i>)											
2	1 ділянка	15,5	1,5	2,3	0,2	3,4	-1,2	8,7	1,1	1,4	0,5
	2 ділянка	16,9	3,5	12,4	5,1	5,1	0,6	10,7	5,2	9,4	1,1
	3 ділянка	20,8	3,5	22,2	6,5	5,1	2,2	18,8	3,6	13,8	1,5
	4 ділянка	23,9	7,8	36	10,2	5,9	2,3	25,5	8,9	19,6	12,2
	5 ділянка	40,9	10,5	40,1	12,3	35,6	4,9	46	8,9	34,8	15,1

Закінчення таблиці 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
20	1 ділянка	7,5	1,2	3,3	0,2	2,2	-1,2	-0,4	-4,2	2,7	0,2
	2 ділянка	13	5,2	7,9	0,8	0	-0,5	2,2	-3,2	8	0,5
	3 ділянка	18,1	7,8	9,5	3,6	9,5	0,9	3,2	0,5	3,6	1,1
	4 ділянка	17,8	8,1	11,5	5,2	16,8	1,5	4,1	0,9	5,3	1,6
	5 ділянка	35,6	10,3	19,2	7,1	20,7	4,9	9,9	1,1	11,6	3,3
180	1 ділянка	1,5	-1,2	-2,1	-5,1	1,6	0,5	3,4	-0,9	1,9	-1,2
	2 ділянка	-6,2	-5,2	9,6	-1,2	4,7	3,5	1,7	1,2	4,6	-0,5
	3 ділянка	-8,5	-10,5	2,1	0,6	7,9	3,9	9,1	3,3	1	-0,5
	4 ділянка	1,5	0,5	6,4	1,2	6,3	2,8	6,8	3,2	3,7	1,2
	5 ділянка	43,9	1,2	10,7	3,1	13,4	4,9	4	3,5	15,7	7,8

Практично за всіх концентрацій нафтопродуктів та важких металів за допомогою пробіотику ґрунт відновлено до 5-го класу токсичності – токсичність відсутня. Тільки у досліді на гороху посівному у ґрунті з 5-ї ділянки по масі коренів і по масі наземної частини фітотоксичний ефект очистки за допомогою пробіотику становив понад 20% – слабка токсичність. Середній ефект чистки пробіотиком за висівання гороху посівного становив 75%, овесу звичайного – 74%. Результати біоремедіації за допомогою пробіотику приведено в табл. 2.

Таблиця 2

Результати ремедіації ґрунту за різної концентрації забруднення НП

Час експозиції, діб	Початкова концентрація НП, мг/кг	Ефективність очистки, %				
		по проростанню	по довжині коренів	по масі коренів	по довжині наземної частини	по масі наземної частини
1	2	3	4	5	6	7
Горох посівний (<i>Pisum sativum</i>)						
2	1000	146,15	150,00	237,50	116,42	0,00
	2000	161,54	110,75	37,50	10,53	-52,94
	5000	-23,08	83,22	-20,00	156,76	13,46
	10000	75,96	68,42	40,86	68,37	-9,68
	20000	81,66	66,00	52,94	69,12	56,30
20	1000	122,22	87,18	103,85	170,59	400,00
	2000	103,01	36,84	84,21	127,43	72,09
	5000	87,10	61,54	73,68	95,56	49,50
	10000	62,37	74,14	97,96	46,46	40,00
	20000	57,14	73,49	71,05	-450,00	61,54
180	1000	86,11	80,00	79,60	216,67	155,00
	2000	72,92	81,19	84,40	75,94	57,94
	5000	75,94	78,75	87,66	71,87	67,84
	10000	77,46	78,71	79,89	81,44	76,29
	20000	76,76	63,29	72,51	70,46	72,43
середнє		84,22	79,57	78,91	61,84	70,65

Закінчення таблиці 2

1	2	3	4	5	6	7
Овес звичайний (<i>Avena sativa</i>)						
2	1000	90,32	91,30	135,29	87,36	64,29
	2000	79,29	58,87	88,24	51,40	88,30
	5000	83,17	70,72	56,86	80,85	89,13
	10000	67,36	71,67	61,02	65,10	37,76
	20000	74,33	69,33	86,24	80,65	56,61
20	1000	84,00	93,94	154,55	50,00	92,59
	2000	60,00	89,87	0,00	245,45	93,75
	5000	56,91	62,11	90,53	84,38	69,44
	10000	54,49	54,78	91,07	78,05	69,81
	20000	71,07	63,02	76,33	88,89	71,55
180	1000	180,00	-142,86	68,75	126,47	163,16
	2000	16,13	112,50	25,53	29,41	110,87
	5000	-23,53	71,43	50,63	63,74	150,00
	10000	66,67	81,25	55,56	52,94	67,57
	20000	97,27	71,03	63,43	12,50	50,32
середнє		70,50	61,26	73,60	79,81	85,01

На наступному етапі експеримент із біоремедіації проводили в умовах польового досвіду на об'єктах із низьким і середнім рівнями забруднення ґрунту: одна ділянка на відстані 50 м від місця забруднення (звалище ТПВ), друга ділянка – найближчі сільськогосподарські угіддя, 500 м. Для біоремедіації використовувався пробіотичний препарат Світеко-Агробіотик-01, розбавлення 1:1000. Верхній шар ґрунту був оброблений суспензією біопрепарату після основного обробітку ґрунту на глибину 20–22 см. Ураховуючи особливості ґрунтів (чорнозем типовий малогумусний середньосуглинковий), на даній території внесено добрива – нітроамофоску із співвідношенням N:P:K: 16:16:16 по всій території. Строк проведення експерименту – 3 місяці.

Визначено вміст нафтопродуктів до і після біоремедіації (внесення пробіотику) методом ІК-спектрометрії. Як контроль використано ґрунт із неочищеної ділянки. Результати дослідження приведено на рис. 2.

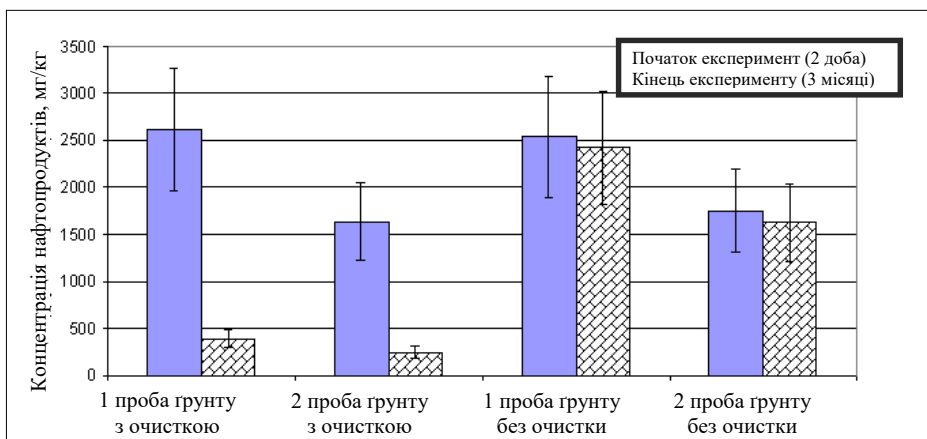


Рис. 2. Уміст НП у ґрунті до і після проведення біоремедіації ґрунту

Установлено, що за використання Світеко-Агробіотик-01 розбавленням 1:1000 концентрація нафтопродуктів знизилася на 1-й пробі на 85%, на 2-й пробі – на 87%. Треба відзначити, що під час проведення експерименту забезпечувалися оптимальні кліматичні умови: у середньому спостерігалися висока вологість та температура +18°C, що значно поліпшувало розвиток мікроорганізмів біопрепарату. Тривалість експерименту – 3 місяці (квітень, травень, червень). Таким чином, даний експеримент підтвердив високу ефективність біоремедіації (понад 80%) у польових умовах порівняно із самоочищенням ґрунту від нафтопродуктів.

У подальшому для поліпшення якості ґрунтів, забруднених нафтопродуктами, а також зниження концентрації різних забруднень у ґрунті можливо використовувати додаткові біологічні методи – рослини. Особливо дане питання важливе для відновлення ґрунтів від нафтового забруднення та повернення їх у господарський обіг (сільське господарство) у максимально короткі терміни.

Дослідження впливу рослин на вміст нафтопродуктів проводилися в лабораторії агроекологічного моніторингу Полтавської державної аграрної академії, що забезпечує нормальні умови для росту рослин (ДСТУ ISO 22030-2009). Для експерименту вибрано дві суміші: люцерну і віко-вівсяну суміш. Через три дні після посіву на зразках із незабрудненим і забрудненим ґрунтами з початковими концентраціями 1000, 2000, 5000 мг/кг зійшли паростки рослин рівномірно по всій площі. При цьому спостерігалася знижена вологоємність ґрунту. У зразках з умістом нафтопродуктів 10000 мг/кг паростки зійшли на п'яту добу. Під час поливу вода збиралася на поверхні і застоювалася, не проникаючи в ґрунт.

Аналогічно закладався експеримент з поливом пробіотичним препаратом Світеко-Агробіотик-01 розбавленням 1:1000. Остаточні результати місячного експерименту з оцінки ефективності фіторемедіації на 30-ту добу представлено в табл. 3.

Таблиця 3

Оцінка ефективності фіторемедіації ґрунту від НП в умовах лабораторного експерименту

Початкова концентрація НП у ґрунті, мг/кг	Контроль	1000	2000	5000	10000
Віко-вівсяна суміш	39±10	76±19	246±62	1144±286	5423±1356
Люцерна	37±9	40±10	201±50	999±250	5189±1297

Використання всіх сумішей за початкової концентрації 1000 мг/кг НП дало змогу знизити концентрацію забруднювача до допустимого рівня. У зразках із віко-вівсяною сумішшю та внесеним пробіотиком уміст нафтопродуктів знизився на 96%, із люцерною та пробіотиком – на 94%. У всіх зразках ґрунтів із двома різними травами і вихідною концентрацією забруднення 2000 мг/кг удалося знизити вміст нафтопродуктів до допустимого рівня забруднення: з віко-вівсяною сумішшю – на 91%, із люцерною – на 89% (рис. 3).

Із концентрацією нафтопродуктів 5000 мг/кг удалося знизити рівень забруднення до допустимого лише за допомогою віко-вівсяної суміші. Ступінь очищення – 88%. Однак у зразках ґрунтів із використанням люцерни і без трав (один пробіотик) ступінь очищення становив 84% і 80% відповідно, рівень забруднення – низький.

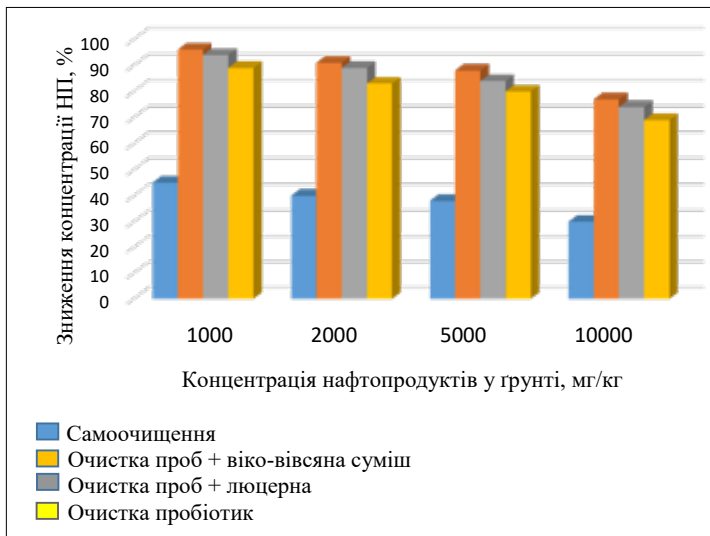


Рис. 3. Порівняльна характеристика зниження концентрації нафтопродуктів у ґрунті в умовах її самоочищення і фітореMediaції пробіотиком та травами

На всіх зразках із концентрацією забруднення НП 10000 мг/кг рослини були сильно пригнічені, що знизило ефективність фітореMediaції. Із використанням віко-вівсяної суміші + проб. ефективність фітореMediaції становила 77%, із люцерною + проб. – 74% і з пробіотиком – 69%. Зменшення концентрації відбулося до безпечного рівня, крім того, дало змогу прискорити процес очищення ґрунту на 25–27%. У контрольних зразках ґрунту достовірного значного зниження вмісту НП протягом експерименту не відбулося.

Таким чином, можна зробити висновок, що в результаті проведення фітореMediaції забруднених ґрунтів нафтопродуктів за допомогою рослин та пробіотичних препаратів найбільш високу здатність до очищення показала віко-вівсяна суміш із пробіотиком. Люцерна з пробіотиком показували також високі результати, але нижчі від попередньої суміші на 4–7%. Використання самих пробіотичних препаратів показало достатньо високий ефект, але нижчий, аніж комплексне використання з рослинами (орієнтовно на 10–12%).

Таким чином, у результаті проведення фітореMediaції вдалося прискорити процес очищення ґрунтів від нафтопродуктів. При цьому порівняно з процесом самоочищення вміст забруднювача під час використання віко-вівсяної суміші і пробіотику знизився у ґрунтових зразках із початковою концентрацією 1000 мг/кг на 50%, 2000 мг/кг – на 46%, 5000 мг/кг – на 45% і 10000 мг/кг – на 22%.

Висновки і пропозиції. В умовах лабораторного дослідження встановлено ефективність біологічного методу, а саме пробіотичних препаратів, для очистки ґрунтів від нафтопродуктів та важких металів. Практично за всіх концентрацій нафтопродуктів та важких металів за допомогою пробіотику ґрунт відновлено до 5-го класу токсичності – токсичність відсутня. Тільки у досліді на гороху посівному у ґрунті з 5-ї ділянки по масі коренів і по масі наземної частини фітотоксичний ефект очистки за допомогою пробіотику становив понад 20% – слабка токсичність. Середній ефект чистки пробіотиком за висівання гороху посівного становив 75%, овесу звичайного – 74%.

В умовах польового дослідження встановлено, що за використання Світеко-Агробіотик-01 розбавленням 1:1000 концентрація нафтопродуктів знизилася на 1-й пробі на 85 % (50 м від звалища), на 2-й пробі – на 87 % (500 м від звалища).

Установлено, що в результаті проведення фітореMediaції забруднених ґрунтів нафтопродуктів за допомогою рослин та пробіотичних препаратів найбільш високу здатність до очищення показала віко-вівсяна суміш із пробіотиком. Люцерна з пробіотиком показували також високі результати, але нижчі від попередньої суміші на 4–7%. Використання самих пробіотичних препаратів показало достатньо високий ефект, але нижчий, ніж комплексне використання з рослинами (орієнтовно на 10–12%).

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Samojlik M.S., Pysarenko P.V. Conceptual framework for ensuring resource and environmental safety in the region. *Теоретическая и практическая экология*. 2019. № 2. С. 137–142. DOI: 10.25750/1995-4301-2019-2-137-142.
2. Amos R.T., Blowes D.W., Bailey B.L., Sego D.C., Smith L., Ritchie A I.M. Waste-rock hydrogeology and geochemistry. *Applied Geochemistry*. 2015. № 57. 140–156. DOI:10.1016/j.apgeochem.2014.06.020.
3. Adebola A.A., Theoma M.A., Igba O.T. Impact of bioremediation formulation from Nigeria local resource materials on moisture contents for soils contaminated with petroleum products. *International Journal of Engineering Research and Development*. 2015. № 2(4). P. 40–45.
4. Anjana S., Poonam K., Meenal B. R. Biodegradation of diesel hydrocarbon in soil by bioaugmentation of *Pseudomonas aeruginosa*: a laboratory scale study. *International Journal of Environmental Bioremediation & Biodegradation*. 2014. № 2(4). 202–212.
5. Бабаджанова О.Ф., Гринчишин Н.М. Роль сорбентів у ліквідації аварійних розливів нафтопродуктів із поверхні ґрунту. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*. 2010. № 4. С. 75–81.
6. Bunio L.V., Tsvilyunjuk O.M. Actual and potential activity of oil-polluted sod-podzolic soil by action of phytomeliorant *Carex hirta*. *Studia Biologica*. 2014. V. 8. № 3–4. P. 117–126.
7. Vagin V.S. Integrated management of MSW life cycle in the region: conceptual and terminological-methodological bases of the concept : monograph. Rostov-ob-Don : Publishing house of NCRCHS), 2004. 111 p.
8. Wierzbicki A. Model-based decision support methodology with environmental applications. *Kluwer Academic Publishers. IIASA Institute for Applied Systems Analysis Dordrecht*. 2013. № 2. 67–71.
9. Khalilova H.Kh. The impact of oil contamination on soil ecosystem «Science stays true here». *Biological and Chemical Research*. Volume 2015. P. 133–139.
10. Singh C., Kumar A., Roy S. Estimating potential methane emission from municipal solid waste and a site suitability analysis of existing landfills in Delhi, India. *Technologies*. 2017. № 5(4). P. 62–68. DOI:10.3390/technologies5040062.
11. Chachina, S.B., Chachina S.B., Voronkova N.A., Baklanova O.N. Biological remediation of the engine lubricant oil-contaminated soil with three kinds of earthworms, *Eisenia fetida*, *Eisenia andrei*, *Dendrobena veneta*, and a mixture of microorganisms. *Procedia Engineering*. 2015. № 113. P. 113–123.
12. Чигринева Н.А., Сальникова В.И., Сагдеев М.А. Экологическая оценка содержания нефтепродуктов в почве. *Современные научные исследования и инновации*. 2017. № 3. С. 114–121.
13. Yunjiang Y., Ziling Y., Peng S., Bigui L. Effects of ambient air pollution from municipal solid waste landfill on children's non-specific immunity and respiratory health. *Environmental Pollution*. 2018. № 236. P. 382–390. DOI:10.1016/j.envpol.2017.12.094.

14. Мовчан Я.И., Каневский В.А., Семичаевский В.Д. Фитоиндикация в дистанционных исследованиях : монография. Киев, 1993. 310 с.
15. Грицаєнко Г.М. Методи біологічних та агрохімічних досліджень рослин і ґрунтів. Київ : Нічлава, 2003. 320 с.
16. Филленко О.Ф. Методы биотестирования качества водной среды и почвы. Москва : Моск. ун-т, 1989. 124 с.
17. Оцінка фітотоксичної дії стічних вод місць захоронення відходів на стійкість *Triticum aestivum* / П.В. Писаренко та ін. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2019. № 2. С. 77–85.

УДК 631.6:445

DOI <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.120.36>

МОНІТОРИНГ ВОЛОГОЗАПАСІВ ОСУШУВАНИХ ТОРФОВИХ ҐРУНТІВ ПІД ЧАС СТРУКТУРНИХ МЕЛІОРАЦІЙ

Фурман В.М. – к.с.-г.н., доцент кафедри агрохімії,
грунтознавства та землеробства,

Національний університет водного господарства та природокористування

Люсак А.В. – к.техн.н., доцент кафедри землеустрою,
кадастру, моніторингу земель та геоінформатики,

Національний університет водного господарства та природокористування

Мороз О.С. – к.с.-г.н., доцент кафедри агрохімії, грунтознавства та землеробства,
Національний університет водного господарства та природокористування

Солодка Т.М. – к.с.-г.н., доцент кафедри агрохімії, грунтознавства та землеробства,
Національний університет водного господарства та природокористування

Метою наших досліджень є вивчення та моніторинг вологозапасів осушуваних торфових ґрунтів під час проведення на них структурних меліорацій.

Багаторічні (з 1985 р.) дослідження проводяться на низинних торфових ґрунтах Західного Полісся України, що характеризуються деревино-очеретяно-осоковим і очеретяно-осоковим ботанічним складом, середнім ступенем розкладу торфу, невисоким умістом мінеральної частини (8,3–10,6%), низьким умістом калію і фосфору та слабоекислою реакцією ґрунтового розчину. Варіанти досліду включали різні норми і види меліорантів, що використовувалися для проведення структурних меліорацій торфових ґрунтів на тлі мінерального удобрення $P_{60}K_{120}$; контроль без мінеральних добавок; фон+200 т/га піску; фон+400 т/га піску; фон+200 т/га глини; фон+100 т/га піску+100 т/га глини.

Формування вологості і вологозапасів осушуваних торфових ґрунтів зумовлюється випаданням опадів і капілярного підтоку вологи від ґрунтових вод, а також транспірації і випаровування. Помітного покращення водного режиму та вологозапасів торфових ґрунтів можна досягнути внесенням мінерального компоненту. Внесені мінеральні добавки в торфові ґрунти у вигляді піску або глини сприяли перерозподілу прихідних і витратних статей водного балансу (продуктивні запаси вологи збільшилися, а сумарне випаровування зменшилося), що призвело до того, що навіть у сухі роки на піскованих і глинованих ділянках не спостерігалось дефіциту вологи в кореневмісному шарі. Дослідження показують, що внесення в торфовий ґрунт 200 т/га піску чи 100 т/га глини дає змогу за несприятливого режиму ґрунтових вод за рахунок зміни складу і властивостей цих ґрунтів поліпшити їх аерацію і забезпеченість рослин водою. У посушливі періоди в оструктурених ґрунтах створюється запас доступної вологи, а у вологі роки підвищується аерація, що в кінцевому підсумку забезпечує зростання врожайності сільськогосподарських культур на 25–30%.

Ключові слова: моніторинг, вологозапаси, водний режим, торфові ґрунти, структурні меліорації.