

УДК 504.054

DOI:10.37128/2707-5826-2021-3-12

**БІОРЕМЕДІАЦІЯ
ГРУНТІВ,
ЗАБРУДНЕНИХ
НАФТОПРОДУКТАМИ**

П.В. ПИСАРЕНКО, доктор с.-г. наук, професор
М.С. САМОЙЛІК, доктор екон. наук, професор
А.О. ТАРАНЕНКО, канд. с.-г. наук, доцент
Ю.А. ЦЬОВА, канд. с.-г. наук, доцент
М.С. СЕРЕДА, аспірант
Полтавська державна аграрна академія

У статті проведено оцінку фітотоксичності ґрунту, забрудненого нафтопродуктами, до і після очистки пробіотичними препаратами. Для оцінки фітотоксичної ефекту впливу нафтопродуктів були використані показники: висота проростків, довжина коренів, фітомаса проростків і кореневої системи рослин. В експерименті були використані тест-культури: горох посівний (*Pisum sativum*), овес посівний (*Avena sativa*). Одержані результати показали, що забруднення ґрунту нафтопродуктами здійснює неоднозначний вплив на *Pisum sativum* і *Avena sativa* у різний період з моменту дії забруднення. Встановлено, що забруднений ґрунт для *Pisum sativum* стає токсичним здебільшого на 30 добу після внесення нафтопродуктів та токсичність ґрунту при цьому збільшується з часом. Для *Avena sativa* ґрунт стає токсичним з моменту забруднення при концентраціях нафтопродуктів вище 5000 мг/кг і токсичність ґрунту з часом зменшується. Результати дослідження фітотоксичного ефекту до і після очищення ґрунту пробіотиком підтвердили ефективність біологічного методу очистки ґрунтів від нафтопродуктів. Встановлено, що практично при всіх концентраціях нафтопродуктів використання пробіотику відновлює ґрунт до 5 класу токсичності (відсутність токсичності). Лише у варіанті з *Pisum sativum* з концентрацією нафтопродуктів 20 000 мг/кг по масі коренів і по масі наземної частини фітотоксичний ефект очистки за допомогою пробіотику склав більше 20% (слабка токсичність). Середнє значення ефективності очищення ґрунту від нафтопродуктів за використання пробіотику при висіванні *Pisum sativum* склав 75%, *Avena sativa* - 74%. Таким чином, експеримент показав високу ефективність біоремедіації у порівнянні з самоочищенням ґрунту від нафтопродуктів. На основі проведених досліджень у подальшому планується розробити методичні засади комплексної системи відновлення техногенно забруднених ґрунтів за рахунок застосування новітніх екологічнобезпечних методів (пробіотичних препаратів).

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

Табл. 2. Рис. 1.

Постановка проблеми. Нафтопродукти визнані одними з найбільш екологічно небезпечних забруднювачів ґрунтів. Джерелами даного забруднення є підприємства нафтопереробної, нафтохімічної та хімічної промисловості, автотранспорт, звалища відходів тощо [1]. Ґрунт має здатність поглинати багато хімічних речовин та утримувати їх в поверхневому, родючому шарі. Нафтопродукти змінюють механічні, хімічні, біохімічні і фізико-хімічні характеристики ґрунту, можуть призвести до загибелі рослин і мікроорганізмів, що впливає на самоочищення ґрунту. Ступінь впливу нафтопродуктів на рослини і мікроорганізми залежить від багатьох факторів: температури і вологості повітряного та ґрунтового середовища, кількості біогенних елементів, типу ґрунту, концентрації забруднюючої речовини тощо [2].

Вплив нафтопродуктів на рослини обумовлений як безпосередньо токсичною дією, так і трансформацією ґрунтового середовища [3]. На клітинному і фізіологічному рівні вплив вуглеводнів нафти на рослини проявляється в порушенні структури хлоропластів і фотосинтезу. Вуглеводні ушкоджують мембрани хлоропластів, мітохондрій, мембрани клітин кореня. Рослини, що ростуть в умовах нафтового забруднення ґрунту, містять значно більшу кількість речовин з стреспротективними властивостями [4].

Вплив забруднення ґрунту нафтою на рослини можна розділити на пряме і непряме. Прямий вплив - полягає у впливі компонентів нафти безпосередньо на рослини, а непряме - проявляється через зміну морфологічних, фізико-хімічних і біологічних властивостей ґрунту. Причому, нафта може проявляти як негативну, так і стимулюючу дію на рослини. Тому використання методів визначення фітотоксичного ефекту у ґрунтах, забруднених нафтопродуктами, для вибору оптимальних методів їх ремедіації, є досить актуальними на сьогодні [5].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. На сьогодні питання скорочення площі забруднених земель нафтопродуктами, а також їх відновлення і повернення в господарський обіг досліджувалися багатьма вітчизняними та зарубіжними вченими, зокрема: Адебола А. [6], Ан'яна С. [7], Бабаджанова О. [8], Буніо Л. [9], Галілова Г. [10], Добровольским Г. [11], Денисова А. [12], Кирєєва Н [5], Шевчик Л. [13] тощо. У той же час, при наявності широкого комплексу методів рекультивації забруднених земель нафтопродуктами, що наводиться у науковій літературі, питання використання пробіотиків для очищення нафтових забруднень, є недостатньо вивченими. Широкому застосуванню пробіотичних препаратів перешкоджає недостатня вивченість даного напрямку: відсутня наукова і науково-практична база, порівняльні дослідження різних пробіотиків, методика розрахунку необхідних доз використання, прибутків для отримання заданого ефекту очищення тощо. Таким чином постає необхідність у подальших дослідженнях впливу нафтопродуктів на рослини та методів відновлення забруднених ґрунтів мікробіологічними препаратами.

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

Матеріал та методика досліджень. У роботі для комплексної оцінки фітотоксичності ґрунту, забрудненого нафтопродуктами, до і після очистки води пробіотичними препаратами використано метод проростків [14]. Метод проростків заснований на реакції тест-культур при внесенні в ґрунт різних забруднюючих речовин. Він дозволяє виявити токсичну або стимулюючу дію тих чи інших речовин. Як тест-культури одночасно використовуються рослини, здатні фіксувати і не здатні фіксувати азот [15].

Для визначення фітотоксичності забруднений нафтопродуктами ґрунт поміщали в чашки Петрі та висівали насіння тест-культур. Фітотоксичність визначали по проростанню насіння тест-культур. Контроль - дистильована вода. Визначення фітотоксичного впливу ґрунту на ріст і кореневу систему рослин здійснювали на підставі розрахунку за формулою [16]:

$$ФЕ = [(M_0 - M_k) / M_0] \times 100 \%, \quad (1)$$

де M_0 – маса або ростові показники рослин із контрольним зразком води;

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

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

Посів тест-культур проводився після внесення нафтопродуктів, в 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. Вміст нафтопродуктів в контрольному зразку ґрунту склав 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 посівний (*Avena sativa*).

Виклад основного матеріалу. Для оцінки фітотоксичного ефекту впливу нафтопродуктів були використані наступні показники: висота проростків, довжина коренів, а також фітомаса проростків і кореневої системи рослин.

На першому етапі проведено дослідження впливу нафтового забруднення на біометричні показники *Pisum sativum*. Проведена оцінка ґрунту, де культури висаджено на 2 добу після забруднення. Виявлено невеликий стимулюючий вплив нафтопродуктів за концентрації 10000 мг/кг на 7 добу розвитку рослин.

На цьому терміні за концентрації 20000 мг/кг спостерігалось зниження кількості пророслих насіння в порівнянні з варіантом, де доза нафтопродуктів становила 10000 мг/кг. За інших концентрацій на 7 і 14 добу статистично значущої відмінності у порівнянні з контролем кількості пророслого насіння не спостерігалось. Фітотоксичної ефект вважається значущим, якщо становить понад 20%. Негативні значення фітотоксичної ефекту говорять про стимулювання зростання і розвитку рослин під дією досліджуваних факторів. У досліджуваному діапазоні концентрацій значимого фітотоксичної ефекту по проростанню насіння на 14 добу не спостерігалось. Значущого впливу нафтопродуктів на довжину коренів гороху посівного (*Pisum sativum*) в усьому діапазоні концентрацій не спостерігалось. Відзначена тенденція до зниження довжини коренів. Фітотоксичної ефект був менше 20%, отже, ґрунт не

фітотоксичний. Маса коренів значимо зменшилась тільки за концентрації 20000 мг/кг, фітотоксичний ефект склав 18%. При більш низьких концентраціях відбувалися незначні зміни маси коренів гороху (*Pisum sativum*). За концентрацій 1000 ... 10000 мг/кг фітотоксичної ефект був менше 5%, отже нафтопродукти в ґрунті не мали токсичного впливу на розвиток коренів гороху (*Pisum sativum*).

Досліджено вплив нафтопродуктів на розвиток і ріст наземної частини рослин на 14 добу (рис. 1).

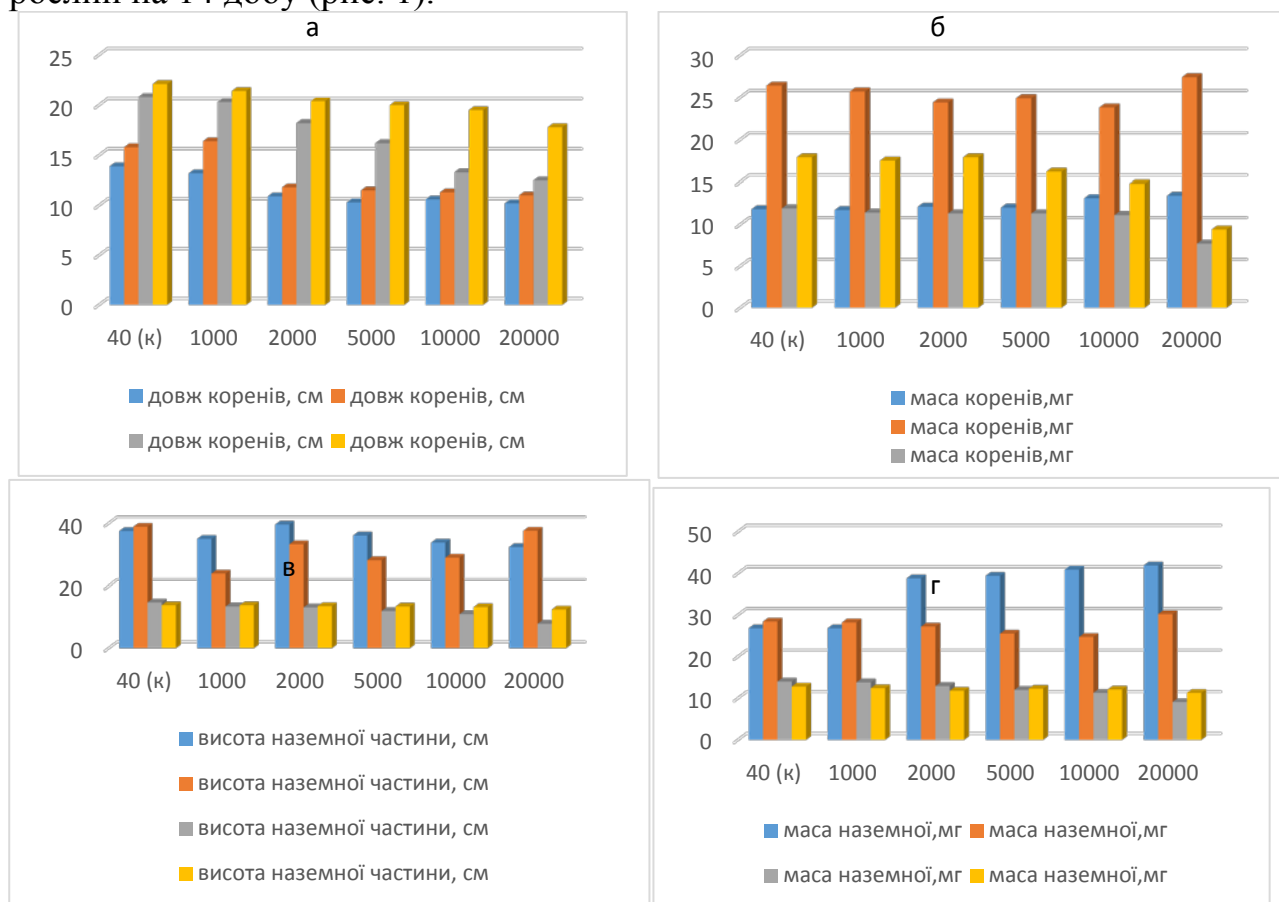


Рис.1 - Вплив нафтопродуктів на біометричні показники гороху посівного (*Pisum sativum*) та овесу посівного (*Avena sativa*), висаджені на 2 і 30 добу після забруднення: а - довжину коренів (см); б - масу коренів (мг); в - висоту наземної частини (см); г - масу наземної частини (мг)

Джерело: сформовано на основі власних досліджень

Виявлено зниження висоти наземної частини рослин тільки при дозі нафтопродуктів 20000 мг/кг. Таким чином, при посіві насіння гороху посівного (*Pisum sativum*) в ґрунт на 2 добу після його забруднення нафтопродуктами, значимої зміни фітотоксичного ефекту не відбулося (фітотоксичний ефект <20%). Отже нафтопродукти, при досліджуваних концентраціях і проміжку часу забруднення ґрунту, по відношенню до гороху посівного (*Pisum sativum*) не володіють токсичним і стимулюючим ефектом.

При посіві насіння гороху посівного (*Pisum sativum*) на 30 добу з моменту забруднення ґрунту нафтопродуктами були отримані наступні результати.

Довжина і маса коренів рослин при всіх внесених дозах нафтопродуктів практично не змінювалася, фітотоксичної ефект був у межах 8,3 – 9,8%. Отже, ґрунт на 30 добу після забруднення є нетоксичним по відношенню до кореневої системи гороху посівного (*Pisum sativum*). Висота наземної частини рослин гороху посівного знижується зі збільшенням дози нафтопродуктів до 5000 мг/кг (табл.1). Фітотоксичний ефект при цьому значенні досягає 24,8%, при дозі 10000 мг/кг спостерігається також високий ФЕ, рівний 22,6%, що говорить про токсичність ґрунту по відношенню до розвитку наземної частини рослин при початкових концентраціях 5000 і 10000 мг/кг.

Подальше збільшення дози нафтопродуктів призводить до збільшення висоти наземної частини гороху до розмірів рослин на контрольних зразках ґрунту при дозі 20000 мг/кг. Маса наземної частини рослин змінюється подібно її розмірами, але статистично значущих відмінностей при зміні початкового вмісту нафтопродуктів у ґрунті від 1000 до 20000 мг/кг від контролю не має (рис. 1). Таким чином, через 30 діб з моменту забруднення, явний токсичний вплив нафтопродуктів спостерігається по відношенню до розвитку наземної частини рослин при дозах 5000 і 10000 мг/кг.

При посіві насіння гороху посівного на 180 добу з моменту забруднення ґрунту нафтопродуктами були отримані наступні результати. При вимірюванні довжини коренів було встановлено, що різке зменшення довжини коренів відбувається при початковій дозі нафтопродуктів 2000 мг/кг, мінімальне значення спостерігається при 10000 мг/кг, але воно статистично не відрізняється від розмірів коренів при початкових концентраціях 2000, 5000 і 20000 мг/кг (табл. 1).

Зі збільшенням початкової дози нафтопродуктів фітотоксичність ґрунту зростає. Максимальне значення фітотоксичного ефекту (72,8%) спостерігається при дозі 10000 мг/кг. При початкових концентраціях 2000, 5000 і 20000 мг/кг фітотоксичний ефект дорівнює 53,7%; 57,4 % та 49,3% відповідно. Зі збільшенням початкової концентрації нафтопродуктів маса коренів також знижується. Значне зниження маси рослин відбувається вже при початковій концентрації 1000 мг/кг, що видно також по збільшенню значення фітотоксичного ефекту (25%).

Висота наземної частини рослин змінюється аналогічно довжині коренів. Помітне зменшення висоти зеленої частини рослин спостерігалось при початковій концентрації нафтопродуктів 2000 мг/кг. Значення концентрації нафтопродуктів 1000 мг/кг не вплинуло на розміри рослин.

Максимальне значення фітотоксичного ефекту 65,2 % спостерігалось при початковій концентрації нафтопродуктів 10000 мг/кг, мінімальне 1,8% - при 1000 мг/кг.

Маса наземної частини статистично значимо знижується при початковій концентрації нафтопродуктів 5000 мг/кг і при подальшому збільшенні дози нафтопродуктів продовжує знижуватися. Фітотоксичної ефект досягає максимального значення 79,8% при початковій концентрації 20000 мг/кг.

Таблиця 1

Фітотоксичний ефект зразків ґрунту, забруднених нафтопродуктами, до і після біологічної очистки за допомогою пробіотику

Час експозиції, діб	Початкова концентрація НП, мг/кг	ФЕ, %				
		по проростанню	по довжині коренів	по масі коренів	по довжині наземної частини	по масі наземної частини
Горох посівний (<i>Pisum sativum</i>)						
2	1000	2,6	5	0,8	6,7	0
	2000	2,6	9,3	-0,8	-5,7	-3,4
	5000	-2,6	14,3	-0,5	3,7	-5,2
	10000	10,4	11,4	-9,3	9,8	-9,3
	20000	16,9	15,0	-11,9	13,6	-11,9
20	1000	2,7	-3,9	2,6	1,7	0,7
	2000	13,3	1,9	7,6	11,3	4,3
	5000	9,3	3,9	5,7	24,8	10,1
	10000	9,3	5,8	9,8	22,6	13,0
	20000	13,3	8,3	-3,8	-0,2	-6,5
180	1000	18,0	14,0	25,0	1,8	2,0
	2000	28,8	53,7	39,1	21,2	12,6
	5000	42,4	57,4	55,1	35,9	28,3
	10000	67	72,8	75,1	65,2	60,3
	20000	78,3	49,3	78,2	51,8	79,8
Овес посівний (<i>Avena sativa</i>)						
2	1000	15,5	2,3	3,4	8,7	1,4
	2000	16,9	12,4	5,1	10,7	9,4
	5000	20,8	22,2	5,1	18,8	13,8
	10000	23,9	36,0	5,9	25,5	19,6
	20000	40,9	40,1	35,6	46,0	34,8
20	1000	7,5	3,3	2,2	-0,4	2,7
	2000	13,0	7,9	0,0	2,2	8,0
	5000	18,1	9,5	9,5	3,2	3,6
	10000	17,8	11,5	16,8	4,1	5,3
	20000	35,6	19,2	20,7	9,9	11,6
180	1000	1,5	-2,1	1,6	3,4	1,9
	2000	-6,2	9,6	4,7	1,7	4,6
	5000	-8,5	2,1	7,9	9,1	1,0
	10000	1,5	6,4	6,3	6,8	3,7
	20000	43,9	10,7	13,4	4,0	15,7

Джерело: сформовано на основі власних досліджень

Таким чином, на 180 добу після забруднення ґрунт стає токсичним для гороху посівного при всіх початкових концентраціях.

Аналогічні дослідження проведені для вівса посівного *Avena sativa*. На 2 добу фітотоксичний ефект по проростанню насіння має значення вище 20% при концентраціях нафтопродуктів 5000 мг/кг і вище. Довжина коренів у порівнянні з контролем теж зменшується, починаючи з концентрації нафтопродуктів 5000

мг/кг. Максимальний фітотоксичний ефект 40,1% був зафіксований при концентрації нафтопродуктів 20000 мг/кг.

Маса коренів зі збільшенням концентрації нафтопродуктів до 20000 мг/кг практично не змінюється. По масі коренів фітотоксичний ефект 35,6% спостерігався тільки при концентрації 20000 мг/кг, при інших концентраціях фітотоксичний ефект був у межах 3–6%. Починаючи з концентрації 5000 мг/кг висота наземної частини рослин зменшувалася у порівнянні з контролем при збільшенні концентрації нафтопродуктів. Фітотоксичний ефект 25% та 46% відповідно, був відзначений тільки при концентраціях 10000 і 20000 мг / кг. Маса наземної частини рослин зі збільшенням концентрації змінюється також як і маса коренів. Зниження маси відбувається при вмісті нафтопродуктів 10000 і 20000 мг/кг, фітотоксичний ефект при цьому становив 20 і 35% відповідно.

При посіві насіння вівса посівного (*Avéna satíva*) на 30 добу з моменту забруднення ґрунту нафтопродуктами були отримані наступні результати. Зниження довжини коренів спостерігається при початковій концентрації 20000 мг/кг ґрунту, при цьому фітотоксичний ефект не досягає 20%. Статистично значущих відмінностей між масою коренів при досліджуваних концентраціях не спостерігалось, однак фітотоксичний ефект 21% спостерігався при початковій концентрації 20000 мг/кг. Висота і маса наземної частини рослин з підвищенням концентрації нафтопродуктів не змінювалися, фітотоксичний ефект по висоті і масі не перевищує 12%. Отже, ґрунт через 30 діб після забруднення нафтопродуктами не здійснює токсичного впливу на наземну частину рослин вівса (*Avéna satíva*) у всьому діапазоні досліджуваних концентрацій. Нафтопродукти в досліджуваних концентраціях при посіві насіння на 180 добу після забруднення не впливають на кореневу систему вівса посівного (табл. 2). Максимальний фітотоксичний ефект 11-13% спостерігався при початковому вмісті забруднення 20000 мг/кг. Нафтопродукти в досліджуваних концентраціях при посіві насіння на 180 добу після забруднення не здійснюють вплив на наземну частину рослин вівса посівного (*Avéna satíva*). Фітотоксичний ефект не перевищує 16%, який спостерігається по масі наземної частини рослин при початковій концентрації нафтопродуктів 20000 мг/кг. Таким чином, нафтопродукти на 180 добу після забруднення впливають тільки на проростання насіння вівса (*Avéna satíva*) при початковій концентрації нафтопродуктів 20000 мг/кг. На біометричні показники вівса посівного (*Avéna satíva*) ґрунт після 180 діб після забруднення не здійснює токсичного впливу при всьому діапазоні досліджуваних концентрацій. При оцінці здатності до самоочищення ґрунту, було встановлено, що вміст нафтопродуктів на 30 добу знижується до безпечного рівня (1000 мг/кг) при початковій концентрації забруднення в ґрунті не вище 5000 мг/кг. На 180 добу вміст нафтопродуктів у ґрунті знижується до безпечного рівня практично у всіх зразках, крім зразка з початковою концентрацією 20000 мг/кг. Таким чином, вміст нафтопродуктів у ґрунті знижується з часом, але при цьому утворюються продукти трансформації нафти і з цим можуть бути пов'язані зміни в хімічному

(наприклад, змінюється рН в зв'язку з утворенням великої кількості органічних кислот) і мікробіологічному складі ґрунту.

На горох (*Pisum sativum*) і овес (*Avena sativa*) забруднення ґрунту нафтопродуктами здійснює неоднозначний вплив на різних термінах з моменту забруднення. На початковому етапі забруднений нафтопродуктами ґрунт, не здійснює значного токсичного впливу на горох. Для гороху ґрунт стає токсичним здебільшого на 30 добу після внесення нафтопродуктів (при початкових їх концентраціях 5000 і 10000 мг/кг) і токсичність ґрунту при цьому збільшується з часом. Для вівса ґрунт стає токсичним з моменту забруднення при концентраціях нафтопродуктів вище 5000 мг/кг, з часом токсичність ґрунту не зменшується, а залишається такою на 180 добу з моменту забруднення (при концентрації 20000 мг/кг).

Попередні авторські дослідження науковців ПДАА [18, с. 78] показали можливість використання пробіотичних препаратів (Світеко-ППВ, Світеко-ОПЛ, СвітекоАгробіотик-01) для очистки водних систем та ґрунту. Тому, на другому етапі дослідження оцінено можливості очищення ґрунту від нафтопродуктів пробіотиком Світеко-Агробіотик-01. Порівняння біометричних показників *Pisum sativum* та *Avena sativa* на зразках ґрунту до і після очистки пробіотичними препаратами приведено у табл. 2.

Таблиця 2

Результати ремедіації ґрунту пробіотичним препаратом Світеко-Агробіотик-01

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
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

Овес посівний (<i>Аvéna satíva</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

Джерело: сформовано на основі власних досліджень

Практично при всіх концентраціях нафтопродуктів за допомогою пробіотику ґрунт відновлено до 5 класу токсичності (відсутність токсичності). Лише у досліді на гороші посівному у ґрунті з концентрацією нафтопродуктів 20 000 мг/кг по масі коренів і по масі наземної частини фітотоксичний ефект очистки за допомогою пробіотику склав більше 20% (слабка токсичність). Середній ефект чистки пробіотиком при висіванні гороху посівного (*Pisum sativum*) склав 75%, овесу посівного (*Аvéna satíva*) - 74%. Таким чином, експеримент показав високу ефективність біоремедіації в порівнянні з самоочищенням ґрунту від нафтопродуктів.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Одержані результати досліджень дозволили встановити, що на горох посівний (*Pisum sativum*) і овес посівний (*Аvéna satíva*) забруднення ґрунту нафтопродуктами здійснює неоднозначний вплив у різних періодах з моменту забруднення. На початковому етапі забруднений нафтопродуктами ґрунт, не здійснює значного токсичного впливу на горох. Для гороху забруднений ґрунт стає токсичним лише на 30 добу після внесення нафтопродуктів (при початкових їх концентраціях 5000 і 10000 мг/кг) і токсичність ґрунту при цьому збільшується з часом. Для вівса ґрунт стає токсичним з моменту забруднення при концентраціях нафтопродуктів вище 5000 мг/кг і токсичність ґрунту з часом зменшується, і залишається такою на 180 добу з моменту забруднення тільки при концентрації 20000 мг/кг.

Встановлено ефективність біологічного методу очистки ґрунтів від нафтопродуктів. Практично при всіх концентраціях нафтопродуктів за допомогою пробіотику ґрунт відновлено до 5 класу токсичності (відсутність токсичності). Лише у варіанті на гороху посівному у ґрунті з концентрацією нафтопродуктів 20 000 мг/кг по масі коренів і по масі наземної частини

фітотоксичний ефект очистки за допомогою пробіотику склав більше 20% (слабка токсичність). Середнє значення ефекту очищення пробіотиком при висіванні гороху посівного (*Pisum sativum*) склав 75%, овесу посівного (*Avena sativa*) - 74%. Таким чином, експеримент показав високу ефективність біоремедіації за допомогою пробіотичних препаратів у порівнянні з самоочищенням ґрунту від нафтопродуктів. На основі проведених досліджень у подальшому планується розробити методичні засади комплексної системи відновлення техногенно забруднених ґрунтів за рахунок включення новітніх екологічнобезпечних методів (пробіотичних препаратів), як необхідну умову сталого розвитку літосфери.

Список використаної літератури

1. 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.
2. 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.
3. 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
4. Писаренко П.В., Самойлік М.С., Колеснікова Л.А., Плаксієнко І.Л. Динаміка і діагностика токсичного впливу нафтозабрудненого ґрунту на стійкість проростків. *Agrology*. 2018. №1(3). С. 240-246.
5. Киреева Н. А., Григориади А. С., Водопьянов В. В., Амирова А. Р. Подбор растений для фиторемедиации почв, загрязненных нефтяными углеводородами. *Известия Самарского научного центра РАН*. 2011. Т. 13, 5 (2). С. 184-187.
6. Adebola, A. A., Iheoma 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*. 2012. V. 2 (4). P. 40–45.
7. 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. V. 2 (4), P. 202-212.
8. Бабаджанова О. Ф., Гринчишин Н. М. Роль сорбентів у ліквідації аварійних розливів нафтопродуктів із поверхні ґрунту. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності: зб. наук. праць*. 2010. № 4. С. 75 – 81.
9. 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.

10. Khalilova, H. Kh. The impact of oil contamination on soil ecosystem "Science stays true here". *Biological and Chemical Research*. Volume 2015. P. 133–139.
11. Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Экология почв. Москва. 2012. 413с.
12. Денисова А.П., Архипова Н.С., Халилова А.Ф, Зарипова С.К., Бреус В.А., Бреус И.П. Влияние загрязнения дизельным топливом на устойчивость культур и биологическую активность выщелоченного чернозема. *Агрехимия*. 2011. № 2. С. 41–50.
13. Шевчик Л., Романюк О., Подан І. Використання гречки посівної для екологічного моніторингу нафтозабруднених ґрунтів. Молодь і поступ біології: збірник тез XI міжнар. конф. студентів та аспірантів. Львів, 2015. С. 236-237.
14. Мовчан Я. И., Каневский В. А., Семичаевский В. Д. и др. Фитоиндикация в дистанционных исследованиях. Київ. 1993. 310 с.
15. Грицаєнко Г. М. Методи біологічних та агрохімічних досліджень рослин і ґрунтів. Київ: Нічлава, 2003. 320 с.
16. Филенко О.Ф. Методы биотестирования качества водной среды и почвы. Москва: Изд-во Моск. ун-та: 1989. 124 с.
17. Кучеренко Т. В., Головатюк Є. О. Використання біотесту *Allium* сера L. (цибуля звичайна) для оцінювання антропогенного забруднення навколишнього середовища. *Агроекологічний журнал*. 2008. №4. С. 79-83.
18. Писаренко П.В., Самойлік М.С., Диченко О. Ю., Корчагін О. П. Оцінка фітотоксичної дії стічних вод місць захоронення відходів на стійкість *Triticum aestivum*. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2019. №2. С. 77-85.

Список використаних джерел у транслітерації / Reference

1. Chachina, S.B., Chachina S.B., Voronkova N. A., Baklanova O.N. (2015). 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*, № 113, 113–123.
2. Samojlik M.S., Pysarenko P.V. (2019). Conceptual framework for ensuring resource and environmental safety in the region. *Teoretycheskaia y praktycheskaia ekolohyia*, №2, 137-142. doi: 10.25750/1995-4301-2019-2-137-142.
3. Chy`gry`neva, N.A., Sal`ny`kova V.Y`., Sagdeev M.A. (2017). Экологическая оценка содержания нефтепродуктов в почве [*Environmental assessment of the content of oil products in the soil*]. *Sovremennye nauchnye yssledovaniya y ynnovatsyy – Modern scientific research and innovation*. № 3, 114-121. [In Ukrainian]
4. Pysarenko P.V., Samoilik M.S., Koliesnikova L.A., Plaksienko I.L. (2018). Dynamika i diahnozyka toksychnoho vplyvu naftozabrudnenoho ґрунту na stiikist prorostkiv [*Dynamics and diagnosis of toxic effects of oil-contaminated soil on seedling stability*]. *Agrology – Agrology*, №1(3), 240-246. [In Ukrainian]
5. Kureeva N. A., Hryhoryady A. S., Vodopianov V. V., Amyrova A. R. (2011). Podbor rastenyi dlia fyto remedyatsyy pochv, zahriaznennykh neftianyму

uhlevodorodamy [Selection of plants for phytoremediation of soils contaminated with petroleum hydrocarbons]. *Yzvestyia Samarskoho nauchnoho tsentra RAN – Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. Vols. 13, 5 (2). 184-187. [In Ukrainian]

6. Adebola, A. A., Iheoma M A., Igba O. T. (2012). 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*, V. 2 (4), 40–45.

7. Anjana S., Poonam K., Meenal B. R. (2014). Biodegradation of diesel hydrocarbon in soil by bioaugmentation of *Pseudomonas aeruginosa*: a laboratory scale study. *International Journal of Environmental Bioremediation & Biodegradation*, V. 2 (4), 202-212.

8. Babadzhanova O. F., Hrynchyshyn N. M. (2010). Rol sorbentiv u likvidatsii avariinykh rozlyviv naftoproduktiv iz poverkhni gruntu [The role of sorbents in the elimination of accidental spills of petroleum products from the soil surface]. *Visnyk Lvivskoho derzhavnoho universytetu bezpeky zhyttiediialnosti: zb. nauk. Prats – Bulletin of the Lviv State University of Life Safety: Coll. Science. wash.* № 4, 75 – 81. [In Ukrainian].

9. Bunio L. V., Tsvilyunjuk O.M. (2014). Actual and potential activity of oil-polluted sod-podzolic soil by action of phytomeliorant *Carex hirtal*. *Studia Biologica*, V. 8, № 3–4, 117–126.

10. Khalilova, H. Kh. (2015). The impact of oil contamination on soil ecosystem "Science stays true here". *Biological and Chemical Research*. V.3, 133–139.

11. Dobrovolskyi H.V., Nyktytn E.D. (2012). *Ekolohyia pochv [Ecology of soils]*. Moskva. [In Ukrainian].

12. Denysova A.P., Arkhypova N.S., Khalylova A.F, Zarypova S.K., Breus V.A., Breus Y.P. (2011). Vlyanye zahriaznenyia dyzelnym toplyvom na ustoichyost kultur y byolohycheskuiu aktyvnost vyshchelochennoho chernozema [Influence of diesel fuel pollution on crop stability and biological activity of leached chernozem]. *Ahrokhymyia – Agrochemistry*. № 2, 41–50. [In Ukrainian]

13. Shevchyk L., Romaniuk O., Podan I. (2015). Vykorystannia hrechky posivnoi dlia ekolohichnoho monitorynhu naftozabrudnenykh gruntiv. *Molod i postup biolohii: zbirnyk tez XI mizhnar. konf. studentiv ta aspirantiv [Use of sowing buckwheat for ecological monitoring of oil-contaminated soils. Youth and the progress of biology: a collection of abstracts XI International. conf. students and graduate students]*. Lviv. [In Ukrainian].

14. Movchan Ya. Y., Kanevskyi V. A., Semychaevskyi V. D. y dr. (1993). *Fytoindykatsyia v dystantsyonnykh yssledovanyiakh [Phytoindication in distance research]*. Kyev. [In Russian]

15. Hrytsaienko H. M. (2003). *Metody biolohichnykh ta ahrokhimichnykh doslidzhen roslyn i gruntiv [Methods of biological and agrochemical studies of plants and soils]*. Kyiv: Nichlava. [In Ukrainian]

16. Fylenko O.F. (1989). *Metody byotestyrovanyia kachestva vodnoi sredy u pochvy [Methods for biotesting the quality of the aquatic environment and soil]*. Moskva: Yzd-vo Mosk. un-ta. [In Russian]

17. Kucherenko T. V., Holovatiuk Ye. O. (2008). *Vykorystannia biotestu Allium cepa L. (tsybulia zvychaina) dlia otsiniuvannia antropohennoho zabrudnennia navkolyshnoho seredovyshcha [Use of Allium cepa L. biotest (common onion) to assess anthropogenic pollution]. Ahroekolohichnyi zhurnal – Agroecological journal. №4, 79-83.* [In Ukrainian]

18. Pysarenko P.V., Samoilik M.S., Dychenko O. Yu., Korchahin O. P. (2019). *Otsinka fitotoksychnoi dii stichnykh vod mists zakhoronennia vidkhodiv na stiikist Triticum aestivum [Evaluation of phytotoxic effect of wastewater from waste disposal sites on the resistance of Triticum aestivum]. Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii – Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy. №2, 77-85.* [In Ukrainian]

АННОТАЦІЯ

БИОРЕМЕДІАЦІЯ ПОЧВ, ЗАГРЯЗНЕНИХ НЕФТЕПРОДУКТАМИ

В статті проведена оцінка фитотоксичності ґрунту, забрудненого нафтопродуктами, до і після очищення пробіотическими препаратами. Для оцінки фитотоксического ефекту впливу нафтопродуктів були використані показателі: висота проростків, довжина коренів, фітомаса проростків і кореневої системи рослин. В експерименті були використані тест-культури: горох посевний (*Pisum sativum*), овес звичайний (*Avena sativa*). Отримані результати показали, що забруднення ґрунту нафтопродуктами здійснює неоднозначний вплив на *Pisum sativum* і *Avena sativa* в різний період з моменту дії забруднення. Встановлено, що забруднений ґрунт для *Pisum sativum* стає токсичним в основному на 30 днів після внесення нафтопродуктів і токсичність ґрунту при цьому збільшується з часом. Для *Avena sativa* ґрунт стає токсичним з моменту забруднення при концентраціях нафтопродуктів вище 5000 мг/кг і токсичність ґрунту з часом зменшується. Результати дослідження фитотоксичного ефекту до і після очищення ґрунту пробіотиком підтвердили ефективність біологічного методу очищення ґрунту від нафтопродуктів. Встановлено, що практично при всіх концентраціях нафтопродуктів використання пробіотика відновлює ґрунт до 5 класу токсичності (відсутність токсичності). Тільки в варіанті з *Pisum sativum* з концентрацією нафтопродуктів 20 000 мг/кг за масою коренів і за масою наземної частини фитотоксический ефект очищення з допомогою пробіотика склав більше 20% (слабка токсичність). Середнє значення ефективності очищення ґрунту від нафтопродуктів при використанні пробіотика при посеві *Pisum sativum* склав 75%, *Avena sativa* - 74%. Таким чином, експеримент показав високу ефективність біоремедіації порівняно з самоочищенням ґрунту від нафтопродуктів. На основі проведених досліджень в подальшому планується розробити методическі основи комплексної системи відновлення техногенно забруднених ґрунтів за рахунок застосування новітніх екологічно безпеческих методів (пробіотических препаратів).

Ключеві слова: пробіотик, нафтопродукти, забруднений ґрунт, фитотоксический ефект, токсичність.

Табл. 2. Рис.1.

ANOTATION

BIOREMEDIATION OF CONTAMINATED SOIL WITH PETROLEUM PRODUCTS

Petroleum products are recognized as one of the most environmentally hazardous soil contaminants. The sources of this pollution are the enterprises of petroleum and chemical industry, transport, landfills. Soil has the ability to absorb many chemicals and retain them in the surface, fertile layer. Petroleum products change the mechanical, chemical, biochemical and physico-chemical characteristics of the soil, which can lead to the destruction of plants and microorganisms and affects on the soil self-cleaning. The degree of petroleum products impact on plants and microorganisms depends on many factors: temperature and humidity of the air and soil, the amount of nutrients, soil type, the concentration of pollutants. The effect of petroleum products on plants is due direct toxic effects and transformation of the soil environment. At the cellular and physiological level, the effect of petroleum hydrocarbons on plants is appeared in the violation of the structure of chloroplasts and photosynthesis. Hydrocarbons damage the membranes of chloroplasts, mitochondria, root cell membranes. Plants that grow in conditions of petroleum pollution of the soil contain more substances with stress-protective properties. The impact of soil contamination on plants can be direct and indirect. Direct impact - is the impact of petroleum components on plants, indirect impact - are changes in morphological, physicochemical and biological properties of the soil. Moreover, petroleum pollution can have negative and stimulating effects on plants. Therefore, determination the phytotoxic effect in soils contaminated with petroleum products, for selection the optimal methods of soil remediation is relevant today.

*The question of probiotics uses for remediation contaminated soil is not enough studied in Ukraine. Wide use of probiotic is prevented by insufficient study of this area: deficiency of scientific and scientific-practical base, comparative studies of different probiotics, methods of calculating the required doses to obtain a given cleansing effect and more. Thus, there is a need for further studies of effects of petroleum products on plants and methods of remediation of contaminated soils with probiotics. The article evaluates the phytotoxicity of contaminated soil with petroleum products before and after cleaning with probiotics. To assess the phytotoxic effect of petroleum products were used indicators: seedling height, root length, phytomass of seedlings and phytomass of plants root system. In the experiment were used test-plants: peas (*Pisum sativum*), oats (*Avéna satíva*). Remediation of contaminated soil was performed by biological method using probiotic Sviteko-Agrobiotic-01 (dilution 1: 100). The probiotic was applied on the second day after petroleum contamination. The obtained results showed that petroleum products pollution has a different effect on peas and oats in different periods from the moment of pollution. Contaminated soil with petroleum products hadn't significant phytotoxic effect on *Pisum sativum* seeds on the 2nd day after contamination. On the 30th day after contamination research results showed clear toxic effect on *Pisum sativum* seeds by concentration of petroleum products of 5000 and 10000 mg/kg; On the 180 days after contamination research results showed toxic effect on *Pisum sativum* seeds at all research concentrations. Contaminated soil with petroleum products had phytotoxic effect on *Avéna satíva* seeds on the 2nd day after contamination starting from the concentration of petroleum products 5000 mg/kg (such as decreasing the length of the roots and the ground part of plants). On the 30th and 180 th day after contamination petroleum products hadn't toxic effect on *Avéna satíva* seeds in the all range of the studied concentrations. It was found that contaminated soil for *Pisum sativum* becomes toxic mostly on 30th day after the introduction of petroleum products and soil toxicity increase over the time. For *Avéna satíva*, the soil becomes toxic from the moment of contamination at concentrations of petroleum products 5000 mg/kg and the toxicity of the soil decreases over time. The research results confirmed the effectiveness of biological method (use probiotics) of cleaning the soil from petroleum products. It is established that probiotics clean the soil up to the 5th class of toxicity (no toxicity) at almost all concentrations of petroleum products. Only in the variant with *Pisum sativum* at concentration of petroleum products 20,000 mg/kg the phytotoxic effect was more than 20% (low toxicity). The average value of the efficiency of soil*

*remediation from petroleum products by probiotics at sowing *Pisum sativum* was 75%, at *Avéna satíva* - 74%. Therefore, the experiment showed high efficiency of bioremediation from petroleum products in comparison with soil self-cleaning. On the basis of research results it is planned to develop methodical bases of complex system of remediation of technogenic polluted soils by the way of application of newest environmentally benign methods (using probiotic).*

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

Tabl 2. Fig. 1. Lit. 18.

Інформація про авторів

Писаренко П.В. – доктор сільськогосподарських наук, професор, завідувач кафедри екології, збалансованого природокористування та захисту довкілля, Полтавська державна аграрна академія

Самойлік М.С. – доктор економічних наук, професор, професор кафедри екології, збалансованого природокористування та захисту довкілля, Полтавська державна аграрна академія

Тараненко А.О. – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри екології, збалансованого природокористування та захисту довкілля, Полтавська державна аграрна академія

Цьова Ю.А. – кандидат сільськогосподарських наук 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

Писаренко П.В. – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой экологии, сбалансированного природопользования и защиты окружающей среды, Полтавская государственная аграрная академия

Самойлик М.С. – доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры экологии, сбалансированного природопользования и защиты окружающей среды, Полтавская государственная аграрная академия

Тараненко А.А. – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры экологии, сбалансированного природопользования и защиты окружающей среды, Полтавская государственная аграрная академия

Цева Ю.А. – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры экологии, сбалансированного природопользования и защиты окружающей среды, Полтавская государственная аграрная академия

Среда М.С. – аспирант кафедры экологии, сбалансированного природопользования и защиты окружающей среды, Полтавская государственная аграрная академия

Pisarenko P.V. – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department of Ecology, Sustainable Nature Management and Environmental Protection, Poltava State Agrarian Academy

Samoilik M.S. – Doctor of Economics, Professor, Professor of the Department of Ecology, Sustainable Nature Management and Environmental Protection, Poltava State Agrarian Academy

Taranenko A.O. – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Ecology, Sustainable Nature Management and Environmental Protection, Poltava State Agrarian Academy

Tsova Yu.A. – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Ecology, Sustainable Nature Management and Environmental Protection, Poltava State Agrarian Academy

Sereda M.S. – Postgraduate student of the Department of Ecology, Sustainable Nature Management and Environmental Protection, Poltava State Agrarian Academy