

ФІТОТОКСИЧНА ОЦІНКА ВИКОРИСТАННЯ ПРОБІОТИЧНИХ ПРЕПАРАТІВ ДЛЯ ОЧИСТКИ АГРОЦЕНОЗІВ, ЗАБРУДНЕНИХ ВНАСЛІДОК ВОЄННИХ ДІЙ

ЦЬОВА Ю.А. – кандидат сільськогосподарських наук

orcid.org/0000-0002-2796-3830

Полтавський державний аграрний університет

Постановка проблеми. В умовах воєнних дій в Україні, на ґрунтах із середньою та високою токсичністю, посів сільськогосподарських культур можливий лише після проведення очищення території. У той же час недобір продовольчого зерна може викликати світову продовольчу кризу, адже внаслідок воєнних дій на території України посівні площі занадто скорочуються. Виникає потреба в максимальному залученні земель в сільськогосподарський обіг на території України з метою забезпечення екологічної та продовольчої безпеки, сталого функціонування агроєкосистем. Це актуалізує питання зменшення техногенного забруднення на сільськогосподарські угіддя, відновлення ґрунту від забруднення, спричиненого воєнними діями на території України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Все більш широкого напрямку набуває використання пробіотичних та бактеріальних препаратів для інтенсифікації процесів очистки ґрунту. Зокрема, даними дослідженнями займалися такі науковці та вчені як: Ван Хервейнена Р., Бондаренко Ю. Г., Демонд Г., Маркін В. В., Патица В. Ф., Волкогон В. В., Писаренко П. В., Самойлік М. С., Zhang Y. та багато інших [1-8]. Як зазначають дослідники Інституту мікробіології та вірусології ім. Заболотного, одним із перспективних методів очищення різних компонентів довкілля є використання пробіотичних препаратів [9]. Досліджено ефективність використання пробіотиків для очистки стічних вод [10-12], наявні дослідження щодо використання пробіотиків у боротьбі з евтрофікацією водоймищ [13-14]. Пробіотичні препарати (пробіотики) складаються з пробіотичних бактерій і ферментів і не містять хімічних і мінеральних забруднювачів. За способом застосування пробіотики можна умовно віднести до класу реагентів, але завдяки своїй екологічності, вони не мають негативного впливу на якість води чи ґрунту у порівнянні з хімічними методами. Пробіотичні бактерії за визначенням є непатогенними, нетоксичними, володіють високою адгезивною та антагоністичною здатністю до патогенних і умовно-патогенних мікроорганізмів.

На даний час, при всьому комплексі методів відновлення техногенно порушених земель, що наводиться у науковій літературі, питання використання біологічних методів, зокрема пробіотичних препаратів, для очищення ґрунтів від важких металів, нафтопродуктів, мікробіологічного забруднення, є на сьогодні недостатньо вивченими. Це, в свою чергу, потребує обґрунтування та експериментального дослідження ефективності використання пробіотичних препаратів, як інноваційних екологоорієнтованих методів очищення та

відновлення техногенно забруднених ґрунтів. Вивчення даного питання дозволить удосконалити концептуальні підходи щодо реалізації еколого безпечної моделі очистки та відновлення техногенно порушених земель в умовах воєнних дій на території України.

Мета. Наукове обґрунтування напрямів очистки та відновлення техногенно забруднених, внаслідок воєнних дій на Україні ґрунтів агроценозів біологічними методами, зокрема пробіотичними препаратами. Головним завданням досліджень стало оцінити фітотоксичність ґрунту, забрудненого важкими металами та нафтопродуктами, до і після очистки води пробіотичними препаратами.

Матеріали та методика досліджень. Для визначення можливих шляхів ремедіації ґрунту, забрудненого важкими металами та нафтопродуктами використано метод проростків [15; 16]. Для експрес-тестів фітотоксичності використано *Triticum aestivum*. Спосіб заснований на реакції дослідної культури на внесення в ґрунт різних забруднювачів. Це дозволяє виявити токсичну або стимулюючу дію тих чи інших речовин [17]. Визначається фітотоксичність ґрунту за величиною фітотоксичного ефекту за кількістю рослин, що виростили за моменту посіву насіння на 7 добу, розмірами та масою рослин (наземної й кореневої частини) на 14 добу.

Визначення фітотоксичного впливу ґрунтового середовища на біометричні показники рослин *Triticum aestivum* здійснювали на підставі розрахунку за формулою [18; 19]:

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

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

M_k – маса або ростові показники рослин, що досліджується.

Всі досліді проведені в чотирикратній повторності.

Для дослідження методів ремедіації забрудненого ґрунту проводили попереднє модельне забруднення свинцем та цинком (у вигляді $(CH_3COO)_2Zn$ і $(CH_3COO)_2Pb$) та нафтопродуктами в концентраціях 2,0 ГДК, тобто, відповідно Наказу МОЗ від 14.07.2020 № 1595 «Про затвердження Гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних речовин у ґрунті» [20] при перерахунку на свинець (II) – 64 мг/кг (валовий вміст), з них 12,0 мг/кг (рухлива форма), при перерахунку на цинк (II) – 200 мг/кг (валовий вміст), з них 46,0 мг/кг (рухлива форма, рухливу форму елемента вилучають з ґрунту ацетатно-амонійним буферним розчином з рН 4,8). Дані концентрації важких металів відповідають середньому рівню забруднення територій

за даними ОБСЕ на території Сходу України внаслідок воєнних дій [21; 22].

Дослід проводився за наступною схемою: контрольні зразки (К); зразки, що містять нафтопродукти у розмірі 2 ГДК (2000 мг/кг); зразки, що містять цинк (Zn); зразки, що містять свинець (Pb); зразки, що містять свинець і цинк (Pb + Zn); зразки, містять свинець, цинк і нафтопродукти (НП + Me). Очищення забрудненого ґрунту проводилося біологічними методами, використовуючи пробіотик *Sviteko-Agrobiotic-01* (розведення 1: 100) [23]. В окремі посудини висаджено насіння *Triticum aestivum* (по 100 шт.). Закладено чотири дослідні ділянки з трикратним повторенням. У процесі проведення експерименту оцінювали проростання насіння рослин, вимірювали висоту та масу наземної частини, а так само довжину й масу коренів рослин.

На наступному етапі проведено визначення вмісту важких металів (валового вмісту та рухомих форм) та нафтопродуктів до і після біологічної очистки у трьохкратній повторюваності за методиками ДСТУ 4770.9:2007, ДСТУ 4770.2:2007, МВВ 31-497058-009-2002 [24-26] у лабораторії агроекологічного моніторингу Полтавського державного аграрного університету.

Математичну обробку експериментальних даних проводили за допомогою кореляційного та регресійного аналізу. Обчислення статистичних показників і кореляційного зв'язку між досліджуваними параметрами проводили за загальноприйнятими методами з використанням комп'ютерної програми MS Excel. Достовірність розрахованих параметрів визначали за допомогою *t*-критерію Стьюдента на рівні значимості 0,05.

Результати досліджень. Для визначення можливих шляхів ремедіації ґрунту, забрудненого важкими металами та нафтопродуктами проведено низку дослідів. Для експрес-тестів фітотоксичності використано *Triticum aestivum*. Очищення забрудненого ґрунту про-

водилося біологічними методами, використовуючи пробіотик *Sviteko-Agrobiotic-01* (розведення 1:100) [23]. Порівняння біометричних показників *Triticum aestivum* на зразках ґрунту до і після очистки пробіотичними препаратами (дані фіксувалися на 7 добу після очищення) приведено у таблиці 1.

За результатами одержаних даних встановлено, що використання пробіотичних препаратів на найбільш забрудненому ґрунті (Zn+Pb+НП) покращення біометричних показників у порівнянні з неочищеним ґрунтом склало: на 61 % по пророслому насінню; на 50–55 % по довжині сходів та довжині коренів; на 28–30 % по масі наземної частини та кореневої системи.

Встановлено, що у результаті використання пробіотичних препаратів на найбільш забрудненому ґрунті (Zn+Pb+НП) покращення біометричних показників у порівнянні з неочищеним ґрунтом склало: на 61 % по пророслому насінню; на 50–55 % по довжині сходів та довжині коренів; на 28–30 % по масі наземної частини та кореневої системи. Також на найбільш забрудненому ґрунті покращення біометричних показників склало 86–92 % від чистого контролю.

Тобто, якщо погіршення даних показників на забрудненому ґрунті склало 33–43 % у порівнянні з чистим контролем, то на очищеному ґрунті дані показники погіршилися тільки на 7–10 %.

Результати оцінки фітотоксичності до і після ремедіації ґрунту пробіотичним препаратом *Sviteko-Agrobiotic-01* (1:100 розведення) приведені у таблиці 2.

Таким чином, у результаті проведеної біологічної очистки ґрунту пробіотичними препаратами *Sviteko-Agrobiotic-01* (розведення 1: 100) із різними забрудненнями (важкими металами та нафтопродуктами) фітотоксичність усіх зразків склала менше 20 % за біометричними показниками *Triticum aestivum*, тобто фітотоксичність відсутня (рис. 1). Окрім того, у результаті очистки контрольного зразка та зразка, забрудненого нафтопродуктами спостерігається значне покращення

Таблиця 1

Біометричні показники зразків ґрунту, забруднених важкими металами нафтопродуктами, до і після біологічної очистки за допомогою пробіотику

Варіанти	Частка пророщеного насіння, %	Довжина сходів, см	Середня довжина коренів, см.	Вага наземної частин, г	Вага кореневої системи, г.
До біологічної очистки за допомогою пробіотику					
К	89	15,1	11,2	2,98	1,1
НП	69	10,9	7,6	2,18	0,81
Zn	74	12,5	8,9	2,17	0,84
Pb	70	11,8	8,6	2,29	0,95
Zn+Pb	60	10,3	7,9	2,15	0,8
Zn+Pb+НП	51	9,2	6,5	1,98	0,72
Після біологічної очистки за допомогою пробіотику					
К	95	16,8	11,8	3,12	1,3
НП	90	15,5	10,8	3,02	1,08
Zn	84	14,5	10,1	2,71	1,02
Pb	80	14,1	10	2,64	0,98
Zn+Pb	77	13,1	9,6	2,5	0,93
Zn+Pb+НП	82	13,8	10,1	2,54	0,97

щення біометричних показників *Triticum aestivum*. Це можна пояснити покращенням мікробіологічного ценозу ґрунту у результаті внесення пробіотику, а також тим, що нафтопродукти виступають середовищем живлення для пробіотичних мікроорганізмів, тому при їх наявності збільшується ефективність дії пробіотиків.

Для розуміння механізму дії пробіотичних препаратів на забруднюючі речовини у ґрунті, проведено визначення вмісту важких металів (валового вмісту та рухомих форм) та нафтопродуктів до і після біологічної очистки у лабораторії агроекологічного моніторингу Полтавського державного аграрного

університету. Результати досліджень представлено у таблиці 3.

За результатами хімічного аналізу ґрунту з різними забрудненнями важких металів і нафтопродуктів до і після очистки пробіотичними препаратами Sviteko-Agrobiotic-01 (1:100 розведення) встановлено:

- пробіотичні препарати у результаті очистки після 7 днів зменшують вміст нафтопродуктів у 2–3 рази, при цьому вміст нафтопродуктів стає меншим ГДК та починає стимулювати ріст та розвиток рослин;
- у результаті очистки валовий вміст важких металів не зменшується, у той же час їх рухома форма змен-

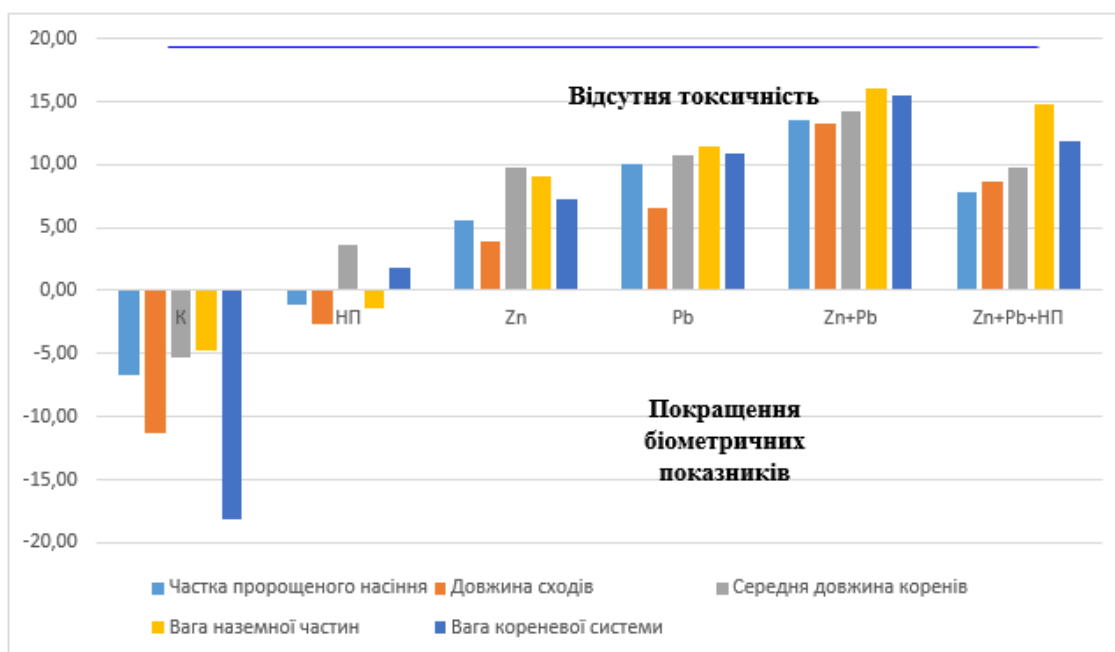


Рис. 1. Оцінка фітотоксичності ґрунту (%) при різних забрудненнях на основі вирощування *Triticum aestivum* після його біологічної очистки за допомогою пробіотиків

Таблиця 2

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

Варіанти	Частка пророщеного насіння, %	Довжина сходів, %	Середня довжина коренів, %	Вага наземної частин, %	Вага кореневої системи, %
До біологічної очистки за допомогою пробіотику					
НП	22,47 ^{2*}	27,81 ^{2*}	32,14 ^{2*}	26,85 ^{2*}	26,36 ^{2*}
Zn	16,85 ^{1*}	17,22 ^{1*}	20,54 ^{2*}	27,18 ^{2*}	23,64 ^{2*}
Pb	21,35 ^{2*}	21,85 ^{2*}	23,21 ^{2*}	23,15 ^{2*}	13,64 ^{1*}
Zn+Pb	32,58 ^{2*}	31,79 ^{2*}	29,46 ^{2*}	27,85 ^{2*}	27,27 ^{2*}
Zn+Pb+НП	42,70 ^{3*}	39,07 ^{2*}	41,96 ^{3*}	33,56 ^{2*}	34,55 ^{2*}
Після біологічної очистки за допомогою пробіотику					
К	-6,74 ^{4*}	-11,26	-5,36	-4,70	-18,18
НП	-1,12	-2,65	3,57	-1,34	1,82
Zn	5,62	3,97	9,82	9,06	7,27
Pb	10,11	6,62	10,71	11,41	10,91
Zn+Pb	13,48	13,25	14,29	16,11	15,45
Zn+Pb+НП	7,87	8,61	9,82	14,77	11,82

1* – фітотоксичність відсутня; 2* – середня фітотоксичність; 3* – фітотоксичність вища за середню; 4* – негативний фітотоксичний ефект, який вказує на покращення біометричних показників.

Результати кількісного хімічного аналізу вмісту забруднюючих речовин до і після біологічної очистки ґрунту за допомогою пробіотику

Ділянка		Концентрація забруднюючих речовин до очистки, мг/кг			Концентрація забруднюючих речовин після очистки, мг/кг		
		НП	Pb	Zn	НП	Pb	Zn
НП	-	2000±8,7	-	-	850±2,8	-	-
Zn	Валовий вміст	-	-	220,0±4,5	-	-	218,8±2,8
	Рухома форма	-	-	46,2±1,8	-	-	17,8±0,6
Pb	Валовий вміст	-	64,0±4,2	-	-	63,5±1,3	-
	Рухома форма	-	12,1±0,7	-	-	4,2±0,1	-
Zn+Pb	Валовий вміст	-	62,9±3,8	218,1±5,8	-	62,8±3,5	216,8±6,3
	Рухома форма	-	13,2±0,5	44,9±1,1	-	5,1±0,7	16,4±0,8
Zn+Pb+НП	Валовий вміст	1950±10,7	64,8±2,5	222,1±3,6	680±5,7	64,1±3,1	220,8±4,2
	Рухома форма		12,5±0,8	47,2±1,0		5,3±0,4	18,1±0,7

Примітка: * – статистично достовірна різниця відносно чорнозему звичайного, $p < 0,05$.

шується у 2–3 рази та стає меншою ГДК. Це пояснює зменшення фітотоксичності ґрунту після очистки пробіотиком, адже рослини можуть вбирати з продуктами живлення тільки рухомі форми важких металів.

Таким чином, можна констатувати, що пробіотичні препарати проводять іммобілізацію важких металів, переводять їх у недоступні для рослин форми, тим самим знижуючи фітотоксичність ґрунту та забезпечуючи продовольчу безпеку продуктів харчування.

Висновки. Встановлено, що у результаті використання пробіотичних препаратів на найбільш забрудненому ґрунті (Zn+Pb+НП) покращення біометричних показників у порівнянні з неочищеним ґрунтом склало: на 61% по пророслому насінню; на 50–55% по довжині сходів та довжині коренів; на 28–30% по масі наземної частини та кореневої системи. Також на найбільш забрудненому ґрунті покращення біометричних показників склало 86–92% від чистого контролю. Тобто, якщо погіршення даних показників на забрудненому ґрунті склало 33–43% у порівнянні з чистим контролем, то на очищеному ґрунті дані показники погіршилися тільки на 7–10%.

Таким чином, у результаті проведеної біологічної очистки ґрунту пробіотичними препаратами *Sviteko-Agrobioitic-01* (розведення 1:100) із різними забрудненнями (важкими металами та нафтопродуктами) фітотоксичність усіх зразків склало менше 20% за біометричними показниками *Triticum aestivum*, тобто фітотоксичність відсутня. Окрім того, у результаті очистки контрольного зразка та зразка, забрудненого нафтопродуктами спостерігається значне покращення біометричних показників *Triticum aestivum*.

За результатами хімічного аналізу ґрунту з різними забрудненнями важких металів і нафтопродуктів до і після очистки пробіотичними препаратами *Sviteko-*

Agrobioitic-01 (1:100 розведення) встановлено, що пробіотичні препарати у результаті очистки після 7 днів зменшують вміст нафтопродуктів у 2–3 рази, при цьому вміст нафтопродуктів стає меншим ГДК та починає стимулювати ріст та розвиток рослин. У результаті очистки рухома форма важких металів зменшується у 2–3 рази та стає меншою ГДК. Таким чином, встановлено ефективність використання пробіотичних препаратів та СПВ у рекомендованих дозах для зниження фітотоксичності агроценозів, які забруднені важкими металами та нафтопродуктами внаслідок воєнних дій на Україні.

Одержані результати досліджень можуть бути використані при розробці рекомендації щодо відновлення техногенно забруднених земель внаслідок воєнних дій на Україні та повернення їх у господарських обіг у контексті забезпечення екологічної, продовольчої безпеки регіону та створення сталих агроєкосистем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Маркін В.В. Можливості інтенсифікації очищення міських стічних вод за допомогою пробіотичних засобів. Комунальне господарство міст. Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова. 2014. Вип. 114. С. 131–135.
2. Zhang Y., Angelidaki I. A new method for in situ nitrate removal from groundwater using submerged microbial desalination-denitrification cell. *Water Research*. 2019. Vol. 47, № 5. P. 1827–1836.
3. Bondarenko Y.G., Samotuga V.V., Papach V.V., Bilyk L.I. Medical-hygienic evolution of the impact of the nitrates of water of decentralized water delivery sources on the health status of the children of the early age. *Environment and Health*. 2011. № 4. P. 23–25.
4. Dermont G., Bergeron M., Mercier G., Richer-Lafèche M. Metal-contaminated soils: remediation practices and treatment technologies. *Practice*

- Periodical of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste Management*. 2008. Vol. 12, № 3. P. 188–209.
5. Гуляєва Г.Б., Токовенко І.П., Пасічник Л.А., Патица В.П. Вплив штучної інокуляції штамми фітопатогенних мікроорганізмів, виділених з різних джерел на фізіолого-біохімічні параметри рослин *Galega orientalis*. *ScienceRise: Biological Science*. 2019. № 4 (19). С. 10–16.
 6. Волкогон В.В., Заришняк А.С., Гриник І.В. *Методологія і практика використання мікробних препаратів у технологіях вирощування сільськогосподарських культур*. Київ: Аграрна наука, 2011. 156 с.
 7. Herwijnen R. van., Hutchings T.R., Al-Tabbaa A., Moffat A.J., Johnsd M.L., Oukia S.K. Remediation of metal contaminated soil with mineral amended composts. *Environmental Pollution*. 2007. Vol. 150, № 3. P. 347–354.
 8. Писаренко П.В., Самойлік М.С., Тараненко А.О., Цьова Ю.А., Серєда М.С. Біоремедіація ґрунтів, забруднених нафтопродуктами. *Вісник Вінницького державного сільськогосподарського інституту*. 2021. № 22. С. 145–160.
 9. Karpenko V.P., Poltoretskyi S.P., Liubych V.V., Palyuk V.P. Microbiota in the Rhizosphere of Cereal Crops. *Microbiological Journal*. № 1. 2021. P. 215–218.
 10. Crini G., Montiel A., Badot P. Traitement et épuración des eaux industrielles polluées: Procédés membranaires, bioadsorption et oxydation chimique. *Presses universitaires de French-Comte*, 2017. 348 p.
 11. Anjaneyulu Y., Sreedhara Chary & D N., Samuel Suman Raj. Decolourization of Industrial Effluents—Available Methods and Emerging Technologies—A Review. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*. 2005. Volume 4. P. 245–273.
 12. Душкін С.С., Коваленко О.М., Дегтяр М.В. Ресурсозберігаючі технології очищення стічних вод: монографія. Харків: ХНАГГ, 2011. 146 с.
 13. Писаренко П.В., Самойлік М.С., Диченко О.Ю., Серєда М.С., Корчагін О.П. Удосконалення егулювання евтрофікації водних об'єктів за допомогою біологічних методів. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2021. Вип. 2 (101), С. 135-145.
 14. Писаренко П.В., Корчагін О.П. Екологічне обґрунтування регулювання процесів евтрофікації водних об'єктів. *Таврійський вісник*. 2020. № 114. С. 274–283.
 15. ДСТУ ISO 11269-1:2004. Якість ґрунту. Визначення дії забрудників на флору ґрунту. Частина 1. Метод визначення інгібіторної дії на ріст коренів (ISO 11269-1995, IDT). [Чинний від 2005-07-01]. Вид. офіц. Харків: Інститут ґрунтознавства та агрохімії ім. О.Н. Соколовського Української Академії аграрних наук, 2005. 184 с.
 16. ДСТУ ISO 11269-2: 2002. Якість ґрунту. Визначення дії забрудників на флору ґрунту. Частина 2. Вплив хімічних речовин на проростання та ріст вищих рослин (ISO 11269-1995, IDT). [Чинний від 2004-05-01]. Вид. офіц. Київ. Держстандарт України. 2004. 22 с.
 17. Грицаєнко Г.М. *Методи біологічних та агрохімічних досліджень рослин і ґрунтів*. Київ, 2003. 320 с.
 18. Pysarenko P.V., Samoilik M.S., Taranenko A.O., Tsova Yu.A., Sereda M.S. Investigation of the possibility of probiotic use for remediation of contaminated soil of solid domestic waste landfills. *Таврійський науковий вісник*. 2021. Вип. 121, С. 276–286.
 19. 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.
 20. Наказ МОЗ від 14.07.2020 № 1595 «Про затвердження Гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних речовин у ґрунті».
 21. Vasyliuk O., Shyriaieva D., Kolomytsev G., Spinova J. Steppe protected areas on the territory of Ukraine in the context of the armed conflict in the Donbas region and Russian annexation of the Crimean Peninsula. *Grassland research and conservation (Bulletin of the Eurasian Dry Grassland Group)*. 2017. № 1 (33). P. 15–23.
 22. *Планування відновлення довкілля. Аналітична записка*. Київ: Екологія. Право. Людина, 2022. 55 с.
 23. Pysarenko, P., Samoilik, M., Taranenko, A., Tsova, Y., Sereda, M. Influence of probiotics-based products on phytopathogenic bacteria and fungi in agrocenosis. *Agraarteadus*. 2021. № 32(2). P. 303–306.
 24. ДСТУ 4770.9:2007 Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук свинцю в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії.
 25. ДСТУ 4770.2:2007 Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук цинку в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії.
 26. МВВ 31-497058-009-2002. ґрунти. Визначення масової частки нафтопродуктів.

REFERENCES:

1. Markin V.V. (2014). *Mozhlyvosti intensyfikatsii ochyshchennia miskykh stichnykh vod za dopomohoiu probiotychnykh zasobiv*. [Komunalne hospodarstvo mist]. Kharkiv: KhNUMH im. O.M. Beketova. Vyp. [in Ukrainian].
2. Zhang, Y., Angelidaki, I. (2019). A new method for in situ nitrate removal from groundwater using submerged microbial desalination-denitrification cell. *Water Research*. Vol. 47, № 5. P. 1827–1836.
3. Bondarenko, Y.G., Samotuga, V.V., Papach, V.V., Bilyk, L.I. (2011). Medical-hygienic evolution of the impact of the nitrates of water of decentralized water delivery sources on the health status of the children of the early age. *Environment and Health*. № 4. P. 23–25.
4. Dermont, G., Bergeron, M., Mercier, G., Richer-Lafleche, M. (2008). *Metal-contaminated soils: remediation practices and treatment technologies*. Practice Periodical of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste Management. Vol. 12, № 3. P. 188–209.
5. Hulciaieva H.B., Tokovenko I.P., Pasichnyk L.A., Palyuk V.P. (2019). *Vplyvshtuchnoi inokuliaciishtamamy fitopatohennykh mikroorhanizmiv, vydilennykh z ryznykh dzherel na fiziolo-ho-biokhimichni parametry roslin Galega orientalis*. [ScienceRise: Biological Science]. [in Ukrainian].
6. Volkohon V.V., Zaryshniak A.S., Hrynyk I.V. (2011). *Metodolohiia i praktyka vykorystannia mikrobnykh preparativ u tekhnolohiakh vyroshchuvannia silskohospodarskykh kultur*. Kyiv: Ahrarna nauka. [in Ukrainian].
7. Herwijnen, R. van., Hutchings, T.R., Al-Tabbaa, A., Moffat, A.J., Johnsd, M.L., Oukia, S.K.

- (2007). Remediation of metal contaminated soil with mineral amended composts. *Environmental Pollution*. Vol. 150, № 3. P. 347–354.
8. Pysarenko P.V., Samoilik M.S., Taranenko A.O., Tsova Yu.A., Sereda M.S. (2021). Bioremediatsiia gruntiv, zabrudnennykh naftoproduktamy. [Visnyk Vinnytskoho derzhavnoho silskohospodarskoho instytutu]. [in Ukrainian].
 9. Karpenko, V.P., Poltoretskyi, S.P., Liubych, V.V., Patyka, V.P. (2021). Microbiota in the Rhizosphere of Cereal Crops. *Microbiological Journal*. № 1. P. 215–218.
 10. Crini, G., Montiel, A., Badot, P. (2017). Traitement et épuration des eaux industrielles polluées: Procédés membranaires, bioadsorption et oxydation chimique. *Presses universitaires de French-Comte*. 348 p.
 11. Anjaneyulu, Y., Sreedhara Chary & D.N., Samuel Suman Raj. (2005). Decolourization of Industrial Effluents—Available Methods and Emerging Technologies—A Review. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*. Volume 4. P. 245–273.
 12. Dushkin S.S., Kovalenko O.M., Dehtiar M.V. (2011). Resursozberihaiuchi tekhnologii ochyshchennia stichnykh vod: monohrafiia. Kharkiv: KhNAHH. [in Ukrainian].
 13. Pysarenko P.V., Samoilik M.S., Dychenko O.I., Sereda M.S., Korchahin O.P. (2021). Udoskonalennia ehuliuвання evtrofikatsii vodnykh ob'ektiv za dopomohoiu biolohichnykh metodiv. [Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii]. [in Ukrainian].
 14. Pysarenko P.V., Korchahin O.P. (2020). Ekolohichne obgruntuvannia rehuliuвання protsesiv evtrofikatsii vodnykh ob'ektiv. [Tavriiskyi visnyk]. [in Ukrainian].
 15. DSTU ISO 11269-1:2004. (2005). Yakist gruntu. Vyznachennia dii zabrudnykiv na floru gruntu. [Chastyna 1. Metod vyznachennia inhibitorynoi dii na rist koreniv (ISO 11269-1995, IDT). [Chynnyi vid 2005-07-01]. Vyd. ofits.] Kharkiv: Instytut gruntoznavstva ta ahrokhimii im. O.N. Sokolovskoho Ukrainkoi Akademii ahrarnykh nauk. [in Ukrainian].
 16. DSTU ISO 11269-2: 2002. (2004). Yakist gruntu. Vyznachennia dii zabrudnykiv na floru gruntu. [Chastyna 2. Vplyv khimichnykh rehovyn na prorostannia ta rist vyshchykh roslyn (ISO 11269-1995, IDT). [Chynnyi vid 2004-05-01]. Vyd. ofits.] Kyiv. Derzhstandart Ukrainy. [in Ukrainian].
 17. Hrytsaienko H.M. (2003). Metody biolohichnykh ta ahrokhimichnykh doslidzhen roslyn i gruntiv. Kyiv. [in Ukrainian].
 18. Pysarenko P.V., Samoilik M.S., Taranenko A.O., Tsova Yu.A., Sereda M.S. (2021). Investigation of the possibility of probiotic use for remediation of contaminated soil of solid domestic waste landfills. [Tavriiskyi naukovyi visnyk]. [in Ukrainian].
 19. Pysarenko P.V., Samoilik M.S., Dychenko O.I., Korchahin O.P. (2019). Otsinka fitotoksychnoi dii stichnykh vod mistv zakhronennia vidkhodiv na stikist *Triticum aestivum*. [Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii]. [in Ukrainian].
 20. Nakaz MOZ vid 14.07.2020 № 1595 «Pro zatverdzhennia Hihienichnykh rehlementiv dopustymoho vmistu khimichnykh rehovyn u grunti». [in Ukrainian].
 21. Vasyliuk, O., Shyriaieva, D., Kolomytsev, G., Spinova, J. (2017). Steppe protected areas on the territory of Ukraine in the context of the armed conflict in the Donbas region and Russian annexation of the Crimean Peninsula. *Grassland research and conservation (Bulletin of the Eurasian Dry Grassland Group)*. № 1 (33). P. 15–23.
 22. Planuvannia vidnovlennia dovkillia. Analitichna zapyska. (2022). Kyiv: Ekolohiia. Pravo. Liudyna. [in Ukrainian].
 23. Pysarenko, P., Samoilik, M., Taranenko, A., Tsova, Y., Sereda, M. (2021). Influence of probiotics-based products on phytopathogenic bacteria and fungi in agroecosystem. *Agraarteadus*. № 32(2). P. 303–306.
 24. DSTU 4770.9:2007 Yakist gruntu. Vyznachennia vmistu rukhomykh spoluk svyntsiu v grunti v bufernii amonii-atsetatnii vytyazhysi z pH 4,8 metodom atomno-absorbtsiinoi spektrofotometrii. [in Ukrainian].
 25. DSTU 4770.2:2007 Yakist gruntu. Vyznachennia vmistu rukhomykh spoluk tsynku v grunti v bufernii amonii-atsetatnii vytyazhysi z pH 4,8 metodom atomno-absorbtsiinoi spektrofotometrii. [in Ukrainian].
 26. MVV 31-497058-009-2002. Grunty. Vyznachennia masovoi chastky naftoproduktiv. [in Ukrainian].
- Цова Ю.А. Фітотоксична оцінка використання пробіотичних препаратів для очистки агроценозів, забруднених внаслідок воєнних дій**
- Мета. Наукове обґрунтування напрямів очистки та відновлення техногенно забруднених, внаслідок воєнних дій на Україні ґрунтів агроценозів біологічними методами, зокрема пробіотичними препаратами.
- Методи. Для визначення можливих шляхів ремедіації ґрунту, забрудненого важкими металами та нафтопродуктами використано метод проростків [15; 16]. Для експрес-тестів фітотоксичності використано *Triticum aestivum*. Всі досліді проведені в чотирикратній повторності.
- Визначення вмісту важких металів (валового вмісту та рухомих форм) та нафтопродуктів до і після біологічної очистки проводили у трьохкратній повторюваності за методиками ДСТУ 4770.9:2007, ДСТУ 4770.2:2007, МВВ 31-497058-009-2002 у лабораторії агроекологічного моніторингу Полтавського державного аграрного університету.
- Математичну обробку експериментальних даних проводили за допомогою кореляційного та регресійного аналізу. Обчислення статистичних показників і кореляційного зв'язку між досліджуваними параметрами проводили за загальноприйнятими методами з використанням комп'ютерної програми MS Excel. Достовірність розрахованих параметрів визначали за допомогою t-критерію Стьюдента на рівні значимості 0,05.
- Результати. Встановлено, що у результаті використання пробіотичних препаратів на найбільш забрудненому ґрунті (Zn+Pb+НП) покращення біометричних показників у порівнянні з неочищеним ґрунтом склало: на 61% по пророслому насінню; на 50–55 % по довжині сходів та довжині коренів; на 28–30 % по масі наземної частини та кореневої системи.
- Таким чином, у результаті проведеної біологічної очистки ґрунту пробіотичними препаратами Sviteko-Agrobio-01 (розведення 1: 100) із різними забрудненнями (важкими металами та нафтопродуктами) фітотоксичність усіх зразків склала менше 20 % за біометричними показниками *Triticum aestivum*, тобто фітотоксичність відсутня. Окрім того, у результаті очистки контрольного зразка та зразка, забрудненого нафтопро-

дуктами спостерігається значне покращення біометричних показників *Triticum aestivum*.

За результатами хімічного аналізу ґрунту з різними забрудненнями важких металів і нафтопродуктів до і після очистки пробіотичними препаратами Sviteko-Agrobiotic-01 (1:100 розведення) встановлено, що пробіотичні препарати у результаті очистки після 7 днів зменшують вміст нафтопродуктів у 2–3 рази, при цьому вміст нафтопродуктів стає меншим ГДК та починає стимулювати ріст та розвиток рослин. У результаті очистки рухома форма важких металів зменшується у 2–3 рази та стає меншою ГДК.

Висновки. Одержані результати свідчать, що на найбільш забрудненому ґрунті спостерігалось покращення біометричних показників, яке склало 86–92 % від чистого контролю. Тобто, якщо погіршення даних показників на забрудненому ґрунті склало 33–43 % у порівнянні з чистим контролем, то на очищеному ґрунті дані показники погіршилися тільки на 7–10 %.

Дані хімічного аналізу ґрунту свідчать, що пробіотичні препарати у результаті очистки після 7 днів зменшують вміст нафтопродуктів у 2–3 рази.

Встановлено, що ефективність використання пробіотичних препаратів та СПВ у рекомендованих дозах для зниження фітотоксичності агроценозів, які забруднені важкими металами та нафтопродуктами внаслідок воєнних дій на Україні.

Одержані результати досліджень можуть бути використані при розробці рекомендації щодо відновлення техногенно забруднених земель внаслідок воєнних дій на Україні та повернення їх у господарських обіг у контексті забезпечення екологічної, продовольчої безпеки регіону та створення сталих агроєкосистем.

Ключові слова: ґрунт, очищення, біологічні методи, важкі метали, фітотоксичність.

Tsova Yu.A. Phytotoxic evaluation of the use of probiotic preparations for cleaning agroecosystems contaminated as a result of military operations

Purpose. Scientific substantiation of directions for the cleaning and restoration of technogenically polluted, as a result of military operations in Ukraine, soils of agroecosystems using biological methods, in particular probiotic preparations.

Methods. To determine possible ways of remediation of soil contaminated with heavy metals and petroleum products, the seedling method was used [15; 16]. *Triticum aestivum* was used for rapid tests of phytotoxicity. All experiments were carried out in quadruplicate.

The determination of the content of heavy metals (gross content and mobile forms) and oil products before and after biological purification was carried out in threefold repetition according to the methods of DSTU 4770.9:2007, DSTU 4770.2:2007, MVV 31-497058-009-2002 in the laboratory of agroecological monitoring of the Poltava State Agrarian University.

Mathematical processing of experimental data was performed using correlation and regression analysis. The calculation of statistical indicators and the correlation between the studied parameters was carried out according

to generally accepted methods using the MS Excel computer program. The reliability of the calculated parameters was determined using the Student's t-test at a significance level of 0.05.

Results. It was established that as a result of the use of probiotic preparations on the most polluted soil (Zn+Pb+NP), the improvement of biometric indicators in comparison with untreated soil amounted to: 61% in terms of germinated seeds; by 50–55% in the length of the shoots and the length of the roots; by 28–30% by weight of the ground part and root system.

Thus, as a result of the biological treatment of soil with probiotic preparations Sviteko-Agrobiotic-01 (dilution 1: 100) with various contaminants (heavy metals and oil products), the phytotoxicity of all samples was less than 20% according to the biometric indicators of *Triticum aestivum*, i.e. there is no phytotoxicity. In addition, as a result of cleaning the control sample and the sample contaminated with petroleum products, a significant improvement in the biometric indicators of *Triticum aestivum* is observed.

According to the results of a chemical analysis of soil with various heavy metal and petroleum products contamination before and after cleaning with probiotic preparations Sviteko-Agrobiotic-01 (1:100 dilution), it was established that probiotic preparations reduce the content of petroleum products by 2–3 times as a result of cleaning after 7 days, while thus, the content of petroleum products becomes lower than the MPC and begins to stimulate the growth and development of plants. As a result of cleaning, the mobile form of heavy metals decreases by 2-3 times and becomes smaller MPC. Thus, the effectiveness of the use of probiotic preparations and SPV in recommended doses to reduce the phytotoxicity of agroecosystems contaminated with heavy metals and oil products as a result of military operations in Ukraine has been established.

Conclusions. The obtained results indicate that the most contaminated soil showed an improvement in biometric indicators, which amounted to 86–92% of the clean control. That is, if the deterioration of these indicators on the contaminated soil was 33–43% compared to the clean control, then on the cleaned soil these indicators worsened by only 7–10%.

The data of the chemical analysis of the soil show that probiotic preparations reduce the content of oil products by 2-3 times after 7 days of cleaning.

It was established that the effectiveness of the use of probiotic preparations and SPV in recommended doses to reduce the phytotoxicity of agroecosystems, which are contaminated with heavy metals and petroleum products as a result of military operations in Ukraine.

The obtained research results can be used in the development of recommendations for the restoration of technogenically polluted lands as a result of military actions in Ukraine and their return to economic circulation in the context of ensuring ecological and food security of the region and creating sustainable agroecosystems.

Key words: soil, purification, biological methods, heavy metals, phytotoxicity.