

## **Біоекологічний моніторинг забруднення ґрунту, підданого біоремедіації, у зоні складу з непридатними пестицидами**

В.Й. Лоханська, кандидат біологічних наук  
О.П. Самкова, Г.Ф. Гутовська, наукові співробітники  
Національний університет біоресурсів і природокористування України,  
УЛКБП АПК, м. Київ

*Наведено результати біоекологічного моніторингу ґрунту, підданого біоремедіації, у зоні складу з непридатними пестицидами у с. Квітки Черкаської області. Показано, що складські об'єкти зберігають потенційну небезпеку забруднення стійкими органічними полютантами, які виявляються за збігом часу під впливом факторів абіотичної та біотичної природи.*

Незбалансоване антропогенне навантаження на природні ресурси протягом багатьох десятиріч обумовило значну техногенну ураженість екосфери України. Особливо гострою залишається проблема погіршення екологічного стану ґрунтів у зонах розташування складів зберігання непридатних та заборонених до використання пестицидів. Негативні зміни фізико-хімічних і агрохімічних властивостей ґрунту, погіршення умов життєдіяльності ґрунтової біоти, флори і фауни призводить до зниження рівня безпеки життєдіяльності людини, ґрунтово-екологічного дискомфорту, втрати придатності ґрунту для екологічно орієнтованого сільськогосподарського виробництва [1, 2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій вказує на перспективність застосування біоремедіації як ефективного, екологічно безпечного та економічно вигідного методу санації хімічно деградованих ґрунтів шляхом використання біологічного потенціалу рослин та мікроорганізмів, природних сорбційних матеріалів та інших агротехнічних заходів (Л.І. Моклячук, 2008; Н. Van Liege, 2005; J.C.White, 2001 та ін.). Питання антропогенного забруднення ґрунтів ксенобіотиками не може залишатися без уваги, і тому забезпечення ефективною та пріоритетною за еколого-економічними критеріями комплексною технологією рекультивації забруднених територій є першочерговим завданням сьогодення.

**Метою нашого дослідження** передбачено проведення моніторингових досліджень забрудненої території навколо складу з непридатними пестицидами у с. Квітки Черкаської області та оцінка ефективності застосування біоремедіаційних заходів відтворення біологічного стану ґрунту.

**Матеріали та методи досліджень.** Ґрунт для вивчення залишків пестицидів та аналізу за мікробіологічними показниками відбирали точково за рендомізованою схемою на різних відстанях від складського приміщення у с. Квітки Корсунь-Шевченківського району Черкаської області із профілю глибиною 0–40 см, формуючи об'єднану пробу. Для порівняння як фоновий

контроль було відібрано пробу ґрунту з ділянки, розташованої від складу на відстані 3 км. Вимірювання масової частки залишків пестицидів у зразках ґрунту проводили у відділі моніторингу якості і безпеки продукції АПК на системі Agilent 7890A з одноквадрупольним детектором 5975C XL MCD Triple Axis Detector за методикою “EN 15662-2008 Foods of plant origin-Determination of pesticide residues using GC-MS and/or LC-MS(/MS) following acetonitrile extraction/partitioning and cleanup by dispersive SPE-QuEChERS-method”. Чисельність еколого-трофічних груп мікроорганізмів визначали методом граничних розведень з подальшим висівом на елективні середовища, загальноприйняті в ґрунтовій мікробіології [3].

**Результати досліджень та їх обговорення.** Моніторингові дослідження території, прилеглої до складу з непридатними пестицидами, на предмет забруднення залишковими кількостями пестицидів розпочато у 2004 році, а спостереження за екологічним станом та відновленням хімічно деградованих ділянок ґрунту тривають досі. За результатами вихідного скринінгу земельних територій дослідних об’єктів встановлено полікомпонентне забруднення ґрунту залишками симтриазинів, динітроанілінів, ацетанілідів, триазолів, а також фосфор- та хлорорганічних пестицидів. Останні прийняті за особливо контрольований параметр, оскільки віднесені до категорії стійких органічних забрудників.

Як відомо, характер та кінетика міграції залишків пестицидів зумовлюються хімічними властивостями ґрунту. Ґрунтове вкриття прискладської території у с. Квітки Корсунь-Шевченківського району Черкаської області представлено темно-сірим звичайним малопотужним за товщиною гумусового горизонту ґрунтом. За результатами агрохімічного обстеження ґрунт характеризується слабкокислою реакцією ґрунтового розчину, низьким рівнем гумусованості орного профілю, середнім ступенем забезпечення поживними елементами. Низький вміст гумусу та глинистих фракцій у ґрунті створюють передумови до посилення процесів мобілізації залишків контамінантів, носіями яких виступають колоїдні частки, чим пришвидшується реактивність та мігративність пестицидів ґрунтовим профілем у вертикальному та горизонтальному напрямку.

Даними щодо поширення пестицидів ґрунтовим профілем у горизонтальному напрямку, в силу віддаленості від складу, показано розсіяність забруднення на відстань до 20 м (табл. 1). Критична межа забруднення охопила зону в радіусі 5 м від складу, де спостерігається суттєве перевищення ГДК за вмістом залишків трифлураліну, пропіконазолу та хлорорганічних (ГХЦГ і ДДТ) пестицидів у ґрунті. Найбільше концентрування контрольованих полютантів у ґрунті закономірно реєструвалася на віддалі 1–2 м від складу.

У 2005–2007 рр. у рамках міжнародного проекту Р-169 (ЕРА, США) “Управління залишками агрохімікатів та знешкодження непридатних пестицидів у Черкаській та Львівській областях” розпочато пілотні пошукові роботи з біоремедіації найбільш забрудненої території санітарної зони складу. Для усунення наслідків існуючого забруднення пестицидами та запобігання

системному їх розпорощенню об'єктами довкілля на земельній ділянці в радіусі забруднення 5 м *in situ* було проведено рекультиваційні роботи та вжито заходів біоремедації контамінованого ґрунту.

**1. Вміст залишків пестицидів у ґрунтах прискладських територій (2009–2011 рр.), мг/кг\***

Пестицид	ГДК	Рік дослідження	Залишки пестицидів у ґрунті на різній віддалі від складу			
			2 м	5 м	10 м	20 м
ГХЦГ Σізом	0,10	2009	0,04±0,008	0,26±0,023	-**	-
		2010	3,12±0,310	2,40±0,235	-	-
		2011	0,29±0,043	-	-	-
4,4'-ДДТ	0,10	2009	7,30±0,949	0,97±0,107	-	-
		2010	7,00±0,410	-	0,32±0,046	0,41±0,080
		2011	-	-	-	-
DDMU	0,10	2009	-	-	-	-
		2010	0,54±0,01	<0,01	-	0,09±0,01
		2011	0,51±0,23	<0,01	<0,01	-
Трефлан	0,10	2009	19,9±3,82	0,91±0,155	0,05±0,009	0,02±0,004
		2010	22,4±0,04	<0,01	-	0,07±0,014
		2011	1,06±0,112	<0,01	-	-
Пропікона- зол Σізом	0,20	2009	2,40±0,360	0,89±0,078	-	0,19±0,036
		2010	0,23±0,040	-	-	-
		2011	-	-	-	-

\* гранично допустимі концентрації пестицидів в об'єктах аналізу відповідно до ДСанПіН 8.8.1.2.3.4-000-2001; \*\* – нижче межі визначення (0,01 мг/кг).

З метою детоксикації ґрунтів, забруднених пестицидами, нами використано екологічно безпечний комплексний підхід шляхом поєднання біологічної здатності рослин та мікроорганізмів до біоремедації, а також супутньої дії фізичних сорбентів. У ході досліджень отримано позитивні результати стосовно деконтамінації ґрунтового середовища від залишкових кількостей симтріазинів, ацетанлідів, частково трифлураліну та хлорорганічних пестицидів за однофакторного використання як фіторемедіанти редьки олійної, амаранту волотистого, капусти кормової, так і сумісно з Глауконітами.

Однак, як показують наші дослідження, екосистему, локально забруднену залишковими кількостями стійких органічних пестицидів в зоні розташування місць їх зберігання, стабілізувати в еколого безпечний спосіб за короткий період часу не можливо, як і досить важко підібрати біологічні методи санації. Постійна присутність та міграція залишків пестицидів у ґрунтах зони їх локального зберігання зумовлені фізико-хімічними властивостями як токсиканта, так і середовища його поширення, а також персистентністю та факторами, що зумовлюють емісію та масоперенесення ксенобіотиків. Результати моніторингу прискладських територій за останні три роки вказують

на те, що ґрунтовий покрив навіть за збігом 7 років досі залишається забрудненим залишками як стійких хлорорганічних, так і пестицидів із класу триазолів (ізомери пропіконазолу) та динітроанілінів (трефлан). Незважаючи на проведення фіторе mediaційних заходів, високий фон забруднення означеними ксенобіотиками продовжує утримуватися на віддалі 2 м від складу – вміст залишків ГХЦГ (у сумі ізомерів) у 2010 році у 31,2 раза перевищував допустимо граничні значення, а концентрація 4,4'-ДДТ становила 70 ГДК (табл. 1). Аналітично визначено у понаднормованій кількості залишки ДДМУ (5,4 ГДК), що свідчать про активізацію процесів деструкції молекул ДДТ, оскільки є його метаболітом.

Відносно персистентним забрудником прискладської території залишається трефлан, концентраційний вміст залишкових кількостей якого в радіусі 2 м залишається високим та у 2011 році у 10 разів перевищував нормовані величини. Однак порівняно із 2009 роком вміст трефлану знизився на 95 %, що вказує на стрімку динаміку самоочищення дослідних ґрунтів. Позитивні тенденції у деконтамінації ґрунтів стосувались і динаміки вмісту пропіконазолу, залишків якого станом на 2011 рік виявлено не було.

У часовому вимірі просторова міграція пестицидів – процес динамічний та хаотичний, що безумовно виявляє вплив на біотичні компоненти екосистем. Невід'ємним етапом екологічного моніторингу є обстеження біогеоценозів локальної екосистеми, типовими представниками яких виступає ґрунтова мікрофлора. Вкрай актуальним є дослідження закономірностей формування мікробних ценозів ґрунтів в умовах забруднення пестицидами, як фундаторів ґрунтової родючості та реактивних компонентів ґрунтової екосистеми в плані біохімічної деструкції молекул полютантів [4].

## **2. Динаміка чисельності мікроорганізмів біогеоценозу території, прилеглої до складу з непридатними пестицидами та агрохімікатами, млн КУО/г ґрунту**

Еколого-трофічна група мікроорганізмів	Рік	Місце відбору проб від складу				
		Контроль фоновий	2 м	5 м	10 м	20 м
Педотрофні	2009	17,7±0,60	9,2±1,04	5,8±0,16	17,6±3,41	13,1±1,94
	2010	17,7±1,46	42,7±1,03	50,4±2,18	16,7±1,07	10,1±0,40
	2011	13,8±0,76	6,1±0,53	4,1±0,48	5,6±0,58	3,7±0,33
Оліготрофні	2009	6,6±0,97	7,6±1,01	3,9±0,98	13,0±1,75	8,7±0,46
	2010	34,7±4,37	25,8±4,16	29,8±1,98	11,0±1,19	10,7±0,75
	2011	13,2±0,60	7,1±0,05	7,0±0,21	8,9±0,48	8,5±0,11
Мікроміцети, тис. КУО/г ґрунту	2009	25,7±0,77	9,9±0,71	10,2±0,36	30,8±1,43	24,5±7,09
	2010	43,0±4,00	12,9±0,65	12,6±0,19	6,0±0,72	41,3±3,15
	2011	50,7±7,09	4,7±0,53	3,7±0,54	25,1±2,68	9,4±1,66

Результатами проведеного мікробіологічного моніторингу (2009–2011 рр.) виявлено певні залежності у формуванні мікробних асоціацій педотрофних, оліготрофних мікроорганізмів та мікроскопічних грибів, які складають основу мікробних ценозів ґрунтів території недіючого складу. За даними досліджень встановлено, що реакція ґрунтових мікроорганізмів на дію пестицидного забруднення залежала від погодно-кліматичних умов конкретного року, хімічної природи та персистентності залишків контамінантів (табл. 2).

Порівняно із фоновими показниками заселеності темно-сірого ґрунту досліджуваного ландшафту аборигенною мікрофлорою, чисельність індикаторних груп мікроорганізмів у локусах моніторингових ділянок на віддалі 2–5 м від складу значно знижувалася. Це цілком пояснимо з позиції створення несприятливих трофічних та еколого-токсикологічних умов функціонування їх ценозів за рахунок інтоксикації ґрунту залишками стійких до біодеградації пестицидів. Аномально бурхливий розвиток педотрофних та оліготрофних мікроорганізмів у 2010 році обумовлений стресовим впливом високих температур повітря літнього сезону на час відбору проб. Токсикогенний фон у ґрунтовій ніші існування та супресивний вплив температурного фактора індукували генерацію розвитку спорових форм педотрофної біоти. Розвиток останньої й обумовив трофічний дефіцит для оліготрофів, чим активізував процеси біодеградації залишків трефлану, пропіконазолу та часткову деструкцію хлорорганічних молекул пестицидів, що узгоджується з результатами екологічного моніторингу минулого року.

Інгібуючий вплив залишкових кількостей препаратів хімічного захисту особливо простежується стосовно грибної мікрофлори, що позначилося на зменшенні щільності грибних зачатків до 92,5 % (на відстані 5 м від складу) по відношенню до контрольного (фонового) варіанта. Незважаючи на потужний ферментативний апарат та природну пластичність до впливу негативних екзогенних факторів мікобіота виявилася більш вразливою до забруднення пестицидами. У дослідженні структури мікробних ценозів привертає увагу факт переважання бактерій над іншими таксономічними групами з домінуванням представників роду *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Achromobacter*, *Celvibrio*. У процесі тривалої, багаторічної еволюції мікроорганізми, що знаходяться в забрудненому ґрунті, поступово пристосовуються до наявності токсикантів у їх природному середовищі. Однак спонтанне природне самовідновлення ландшафтів та приурочених мікробних ценозів без запровадження спеціальних заходів санації триватиме десятиліттями. Біоремедіація і є тим, індуктивним механізмом, що мобілізує всі біологічні ресурси забруднених ландшафтів та провокує їх потенціал до самовідновлення.

*Таким чином, розглянувши транслокацію мікрокількостей пестицидів у просторовому та часовому вимірі на різних віддальх від складу, чітко простежується зональний ефект забруднення, як правило, за 3–5 м від джерела елімінації полютантів, де й відмічається найвищий градієнт концентрації хімічних токсикантів у ґрунті. Радикальним екологічно безпечним кроком до знешкодження такої “бомби сповільненої дії” є розкриття біологічних механізмів індикації та детоксикації пестицидів у*

такому складному гетерогенному середовищі, як ґрунт. Величезний потенціал у розробці ефективних заходів біоремедіації прискладських територій криється у вивчення взаємодії ґрунтових мікроорганізмів та пестицидів, що доведено закономірним відгуком мікробних ценозів на імпактне забруднення ксенобіотиками.

### **Бібліографія**

1. *V. Lokhanska*. Identification of Pollutants in soils around the Obsolete Pesticides Stocks in Ukraine / *V. Lokhanska, S. Melnychuk, Y. Baranov* // Soil Chemical Pollution, Risk Assessment, Remediation and Security. – Springer Science Dusiness Media B.V. – 2008. – P. 217–222.

2. *Лоханська В.Й.* Вивчення забруднення агроценозів пестицидами / *В.Й. Лоханська* // Наукові доповіді НАУ.– 2008. –2 (10). – <http://www.nbu.gov.ua/e-Journals/nd/2008-2/08lvioar.pdf>

3. Методы почвенной микробиологии и биохимии. / Под ред. *Д.Г. Звягинцева*. – М. : Изд. МГУ, 1980. – 223 с.

4. *Канівець В.І.* Життя ґрунту. Монографія / *В.І. Канівець*. – К. : Аграрна наука, 2001. – 132 с.