

ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ

УДК 504.064.2+504.53

DOI: 10.31471/2415-3184-2019-2(20)-102-111

*Р. В. Петрук¹, Т. Ф. Яковишина²**¹Вінницький національний
технічний університет,**²Придніпровська державна академія
будівництва та архітектури*

АНАЛІЗ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИХ МЕТОДІВ ВІДНОВЛЕННЯ ЗАБРУДНЕНИХ ПЕСТИЦИДАМИ ҐРУНТІВ

Як відомо, у сучасному сільськогосподарському виробництві для інтенсифікації росту рослин, запобігання їх захворюваності, збільшення урожайності, зокрема, зернових культур, боротьби з гризунами та бур'янами тощо використовуються у величезних об'ємах хімічні засоби захисту рослин і, у першу чергу, високоефективні пестицидні препарати. При цьому на території України до цього часу ще зберігаються значні об'єми невикористаних, некондиційних пестицидних препаратів та мінеральних добрив, що з часом стали у напівзруйнованих складах та сховищах невідомими небезпечними сумішами хімікатів. В результаті багаторічного і тривалого застосування вони накопичуються у ґрунтах підвищуючи екологічну небезпеку, тобто ризиків для людини та інших живих систем і довкілля. Тому існує гостра проблема створення високоефективних методів ремедіації та рекультивації забруднених ними ґрунтів. При цьому для досягнення максимально можливого екологічного ефекту здається доцільним поєднати декілька різнонаправлених за принципом дії, але з однаковою кінцевою метою, методів, а саме: біодеградацію пестицидів з використанням резистентних мікроорганізмів та фіторемердіацію рослинами-гіперакумуляторами з можливим залученням ефекторів фітоекстракції для підвищення виносу пестицидів із ґрунту. Стосовно Лісостепу України з його значними запасами чорноземів, то найбільш прийнятним методом, з нашої точки зору, є комплексний метод, що базується переважно на біодеградації пестицидів з використанням резистентних мікроорганізмів та фіторемердіації рослинами-гіперакумуляторами з можливим залученням ефекторів фітоекстракції та стимуляторів росту для підвищення виносу пестицидів із ґрунту, зокрема, за допомогою азотфіксуючих бактерій в поєднанні з використанням таких рослин як: квасоля, соняшник, полин тощо.

Ключові слова: екологічна безпека, пестициди, забруднення ґрунтів, методи ремедіації забруднених ґрунтів.

Мета дослідження – аналіз методів відновлення та обґрунтування комплексного методу ремедіації забруднених пестицидами ґрунтів.

Постановка проблеми. Аналіз досліджень і публікацій. В результаті аналізу сучасних досліджень та публікацій обґрунтовано вибір найбільш перспективних методів ремедіації та рекультивації для створення комплексного методу з відновлення ґрунтів забруднених пестицидами з урахуванням природно-кліматичних умов Лісостепу України. При цьому зазначається, що забруднення ґрунтів пестицидами потребує відновлення їх екологічних функцій з метою запобігання подальшої міграції в екосистемах (рис. 1), що є вкрай важливим для антропогенно порушених екосистем, тому потребує розробки комплексних заходів з фіторемердіації безпосередньо самого ґрунту та біодеградації пестицидів у ньому для досягнення норм екологічної безпеки техногенно навантажених територій. При усуненні пестицидного навантаження на ґрунт, зазвичай, використовують тільки один метод, який здебільшого стосується біодеградації пестицидів за допомогою мікроорганізмів. Проте використання рослин для виносу надлишкових кількостей пестицидів із ґрунту є досить перспективним, адже їх фіторемердіаційний потенціал згідно значень коефіцієнту біологічного поглинання та тканинного коефіцієнту за даними [25-28] досить високий, що надає можливість майже повного усунення забруднення.

Результати досліджень і їх обговорення

1. Деградація пестицидів за допомогою мікроорганізмів. При накопиченні пестицидів у ґрунті відбувається процес їх біотрансформації. Відповідно роботі [1] розкладання пестицидів супроводжується як їх детоксикацією, що позначається через втрату токсичних властивостей вихідною речовиною, так і токсифікацією, а саме: утворенням більш небезпечних речовин із її залишкових мас, які беруть участь в реакціях двох або більше пестицидів за умов впливу температури, вологості, освітлення та інших абіотичних факторів та участі живої речовини, а також залучення антропогенних систем деградації (ультразвукова обробка, озонування тощо) (рис. 2).



Рис. 1. Мігрування пестицидів у навколишньому середовищі

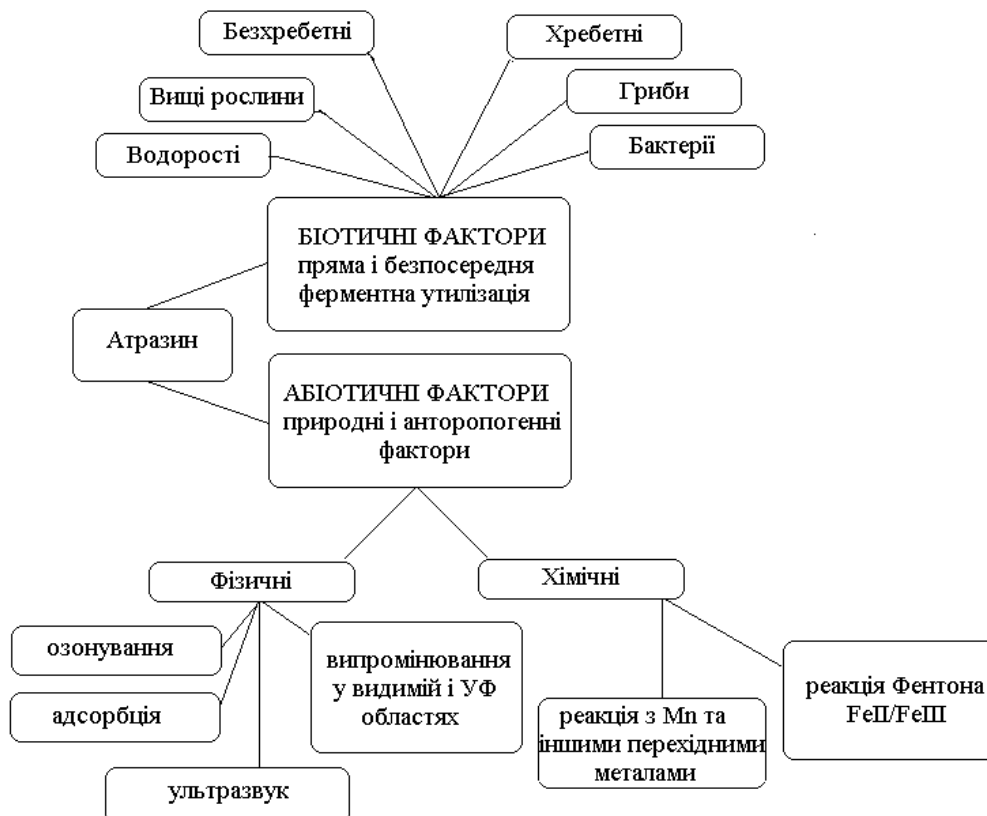


Рис. 2. Фактори, які впливають на акумуляцію та розкладання пестициду на прикладі препарату атразину

При цьому мікроорганізми та їх ферменти виконують провідну роль у біотрансформації пестицидів, адже за їх участю відбуваються процеси гідролізу, окиснення та відновлення, в результаті яких останні можуть використовуватись як джерело вуглецю, азоту, фосфору та енергії

для живих організмів і, насамперед, вищих рослин, що є досить важливим при створенні стійкого біоценозу на забруднених ґрунтах.

Наявність значної кількості резистентних до дії пестицидів мікроорганізмів з високою біодеградаційною здатністю зумовлює їх перспективність використання для очищення ґрунтів від пестицидного навантаження. Із загально біологічних позицій, зокрема [1], визначають резистентність як зміну популяцій в результаті переходу від чутливого до стійкого штаму того ж виду мікроорганізмів внаслідок відбору спричиненого пестицидами, що зумовлено генетичною, фізіологічною та біологічною перебудовою організмів. Згідно зазначених вище джерел внесок мікроорганізмів в процеси деградації становить від 10 до 70%. Ефективність проходження процесу біодеградації пестицидів у ґрунтах визначається наявністю резистентних мікроорганізмів, здатних до їх розкладання; синтезуванням ферментів, що пришвидшують процеси трансформації пестицидів; створенням умов, достатніх для проходження ферментативних реакцій трансформації. За умов порушення будь-якої з вище означених вимог деградація пестицидів у ґрунті стає неможливою. Треба додати, що у деградації пестицидів беруть участь мікроорганізми різних груп. У табл. 1 систематизовано інформацію щодо їх використання з прив'язкою до конкретних пестицидів.

Таблиця 1

Мікроорганізми, що використовуються для біодеградації пестицидів у ґрунті

Мікроорганізми	Пестицид	Джерело
<i>Agrobacterium radiobacter</i>	Атразин	9
<i>Pseudomonas sp.</i>		13
<i>Bacillus sp.</i> , <i>Pseudomonas sp.</i> , <i>Micrococcus sp.</i> , <i>Proteus sp.</i>	Ліндан	10
<i>Xanthomonas sp.</i>	Паратіон	11
<i>Ankistrodesmus falcatus</i> , <i>A. nannoselene</i> , <i>Selenastrum capricornutum</i> , <i>S. gracile</i> , <i>S. minutum</i>	Флуометурон	12
<i>Streptomyces griseolus</i>	Похідні сульфонілсечовини	14
<i>Ps. fluorescens</i> , <i>Ps. paucimobilis</i>	Іпродіон	15
<i>Phanerochaete chrysosporium</i>	Хлор- та фосфорорганічні інсектициди і гербіциди	16
<i>Alcaligenes faecalis</i>	Хлорпіріфос	17
<i>Rhodopseudomonas palustris</i>	Органофосфорні інсектициди	18
<i>Anabaena variabilis</i>	Арезин, бута хлор, алахлор та 2,4-Д	19

Проте у виробничих умовах більш простим для біодеградації пестицидів у ґрунті передбачається використання мікробіологічних препаратів, що містять потрібні мікроорганізми, наприклад: азотобактерин, до складу якого входять азотфіксуючі бактерії, зокрема *Azotobacter*.

2. Обґрунтування вибору рослин для фіторе mediaції ґрунтів забруднених пестицидами.

Крім мікроорганізмів, екологічно виваженим напрямом боротьби із забрудненням ґрунтів пестицидами є фіторе mediaція, а саме: відновлення забруднених ґрунтів за допомогою рослин, що ґрунтуються на таких стратегіях [19, 25-26]:

1. Фітоекстракція – технологія заснована на поглинанні токсичних сполук корінням з подальшим їх транспортом у надземну частину рослини, яку наприкінці вегетаційного періоду скошуюють, а видалену біомасу переробляють шляхом спалювання, компостування або екстракції розчинниками. Перевагою даної стратегії є вилучення небезпечних речовин з екосистеми.

2. Фітодеградація (або фітотрансформація) ґрунтується на ферментативному розкладанні забруднювальних речовин переважно органічної природи (аліфатичні, ароматичні і поліциклічні вуглеводні, феноли, гербіциди та ін.) безпосередньо в організмі рослин. Проте ця стратегія програє деградації з використанням мікроорганізмів щодо ефективності за такими показниками як швидкість та повнота розкладання.

3. Фітоволоталізація полягає у поглинанні забруднювальних речовин корінням рослин, транспорті і розкладанні в надземній частині з наступним виділенням у повітря менш токсичних продуктів розкладання, що дозволяє очищати ґрунт від надзвичайно токсичних сполук, таких як: хлорорганічні пестициди, сполуки селену і ртуті тощо. В подальшому менш небезпечні та

нетоксичні форми піддаються фотохімічному розкладанню або окисненню в атмосфері. Фітоволоталізація є досить перспективним напрямом, який, на жаль, обмежується відомою наявністю рослин, що здатні рости в умовах Лісостепу України.

4. Фітогідраліка спрямована на очищення ґрунтових вод від забруднення, адже вони є основним шляхом міграції забруднювальних речовин. Це досягається за допомогою біогенної акумуляції небезпечних сполук. Для фітогідраліки здебільшого використовують деревні породи з глибоко проникаючою кореневою системою.

5. Фітостабілізація, яка, на відміну від вище наведених стратегій, побудована на інших механізмах, а саме: в її основі лежить здатність рослин знижувати рухомість забруднювачів в ґрунті завдяки корневим ексудатам. Фітостабілізація ефективна тільки за умов низького рівня забруднення.

6. Різофільтрація полягає в накопиченні та іммобілізації забруднювальних речовин безпосередньо в кореневій системі рослин. При цьому кореневі ексудати регулюють умови середовища, сприяючи адсорбції та поглинанню забруднювачів корінням. Проте, порівняно до фітоекстракції утворену у ґрунті біомасу складніше вилучати.

7. Різодеградація – руйнування токсичних сполук у ґрунті ще до їх надходження в організм рослин. Вона відбувається за рахунок ексудатів коренів рослин, що містять цілий комплекс сполук (амінокислоти, цукри, ферменти, органічні кислоти тощо) та сприяють утворенню специфічних мікробних угруповань, які здійснюють досить ефективне ферментативне розкладання токсичних сполук до менш небезпечних або простих, наприклад: аміак, метан, сірководень та ін. При цьому вільні ферменти корневих ексудатів різко підвищують швидкість трансформації забруднювальних речовин, що є досить перспективним при відновленні ґрунтів забруднених органічними сполуками. Однак простішим підходом буде застосування мікробіологічних препаратів, що містять резистентні види мікроорганізмів, які здатні розкласти пестициди до безпечних для довкілля сполук.

Практичне застосування конкретної стратегії очищення ґрунтів в істотній мірі визначається властивостями забруднювачів, а також такими характеристиками ґрунтів, як гранулометричний склад, особливо: співвідношення піщаних і глинистосуглинкових частинок, вміст гумусу тощо. Значення має також ступінь однорідності фізико-хімічних властивостей вздовж ґрунтового профілю та розподіл небезпечних речовин по ґрунтовим горизонтам. З практичної точки зору, за доцільне вважається типізувати ділянки ґрунту, що підлягають очищенню за ступенем інтенсивності техногенного навантаження, звертаючи увагу на рівень забруднення та його локалізацію в генетичних горизонтах з урахуванням можливого надходження в ґрунтові води і утворення небезпеки для екосистеми в цілому.

Застосування конкретної стратегії ремедіації викликане такими характеристиками забруднювачів, як: леткість, розчинність в воді або органічних розчинах, хімічна та термічна нестійкість, здатність до біохімічного розкладання, поведінка в процесах ад(б)сорбції, магнітні та електричні властивості, поверхневі властивості, розмір, форма часток та ін. Здатність деяких пестицидів утворювати небезпеку у ґрунтах за умов нейтральної реакції середовища представлена в табл. 2.

Таблиця 2

Поведінка пестицидів у ґрунтах з нейтральною реакцією ґрунтового середовища

Пестицид	Хімічна природа	Адсорбція		Стійкість (розпадання 75-100%)	Рухомість
		Глина	Гумус		
Дихлор-дифенітрихлоретан	Хлор-вуглеводень	Сильна	Сильна	Понад 2 роки	Низька
Ліндан		Низька		Понад 2 роки	
Паратіон	Ефір фосфорної кислоти	Від низької до середньої		1-12 тижнів	
Манеб	Дитіо-карбамат			1-12 тижнів	

Проаналізувавши існуючі стратегії фітореємедіації та враховуючи особливості пестицидного забруднення, варто зупинитися на фітоекстракції, як найбільш простій для виконання у

виробничих умовах, економічно маловитратній, екологічно безпечній, що усуває загрозу можливості вторинного забруднення навколишнього середовища, адже залишки пестицидів майже цілковито вилучаються з ґрунту.

Отже, рослина, яку збираються використовувати для фітореMediaції, повинна відповідати наступним вимогам:

- витримувати рівень забруднення пестицидами без явно виражених проявів фітотоксичних ефектів (знебарвлення, пігментація, некрози, затримка росту й розвитку);

- відзначатися високою швидкістю росту, формувати значну надземну біомасу, мати глибоко розрошену кореневу систему, не вимагати особливої агротехніки, бути стійкою до хвороб і шкідників, не привабливою для тварин і людини з точки зору запобігання отруєння.

Стійкість рослин до пестицидів згідно [21] ґрунтується на їх здатності підтримувати синтез білка, рівновагу аденілової системи (АМФ, АДФ, АТФ), синтезі амінокислот. Нормальний вміст моносахаридів (глюкози) в рослинах сприяє іммобілізації пестицидів. Також важливу роль в механізмах стійкості до токсичної дії пестицидів відіграє антиоксидантна система, що усуває вільні радикали і активні форми кисню.

При цьому під час вибору порід деревних рослин необхідно враховувати характер і напрямок руху вітру, а, отже, і характер випадання пиловатих частинок, і поширення запаху тощо. Враховуючи, що хвойні рослини більш стійкі (особливо в зимовий час) до забруднення, доцільно створювати змішані насадження. Проте, навпаки, плодові дерева та ягідники, незважаючи на дуже хорошу стійкість і здатність вилучати пестициди з ґрунтів, води і повітря, висаджувати не рекомендується. Головним недоліком деревної рослинності є швидкість росту. Доцільніше звернути увагу на трав'янистий рослинності, здійснюючи відбір як дикоростучих видів, так і пошуки серед культурних рослин, адже досить часто на забруднених ділянках проводиться сільськогосподарська діяльність. Рослини-аккумулятори пестицидів наведено в табл. 3.

Таблиця 3

ФітореMediaційний потенціал деяких рослин щодо відновлення ґрунтів забруднених пестицидами

Рослина	Пестицид	Ефективність	Ґрунт	Джерело інформації
Кабачок (<i>Cucurbita pepo</i> L.), квасоля (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	ДДТ	Накопичення 10-90%	Сірий лісовий	Л. І. Моклянчук, Г.Г. Андрієнко, Є. А. Слободенюк, Інститут агроекології та біотехнології УААН, м. Київ
Квасоля (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	Трифлуралін, 10 ГДК	Надземна частина 373,9 мкг/кг сухої речовини	Чорнозем типовий малогумусний важкосуглинковий	Л. І. Моклянчук, Ю. О. Зацарінна, Інститут агроекології природокористування НААН, м. Київ

Для умов Лісостепу найбільш перспективним може бути використання серед дикоростучих видів рослин – полину звичайного (*Artemisia vulgaris*), а при сільськогосподарському виробництві – квасолі звичайної (*Phaseolus vulgaris* L.) та соняшнику однорічного (*Helianthus annuus*). Особливої уваги варто приділити саме квасолі звичайній (*Phaseolus vulgaris* L.), яка завдяки здатності фіксувати молекулярний азот із атмосфери дає змогу залучення цього мікроелементу до ґрунту, а, отже і підвищення його екологічних властивостей. Ще Дж. Б. Буссенго розпочав вивчення фізіології бобових рослин щодо процесів фіксації молекулярного азоту бульбочковими бактеріями. Так, зокрема, ним було встановлено, що процеси накопичення азоту в бульбах перебігають у такий спосіб: з початку утворення бульбочок на коренях рослини, а це період від моменту появи перших листочків і до повного цвітіння, коли запас азоту в бульбах збільшується, а після цвітіння різко зменшується. Фаза цвітіння бобової рослини є переломним моментом життєдіяльності бульбочкових бактерій. Характер фізіологічних і біохімічних процесів, які відбуваються в бобовій рослині до цвітіння і після нього, є досить різним, а саме: бактерії, які оселились в кореневій паренхімі бобових рослин, фіксують молекулярний азот з повітря і переводять його в білкові речовини, але через деякий період під впливом рослини бактерії переходять в бактеріодну форму, і з цього моменту фіксація азоту різко спадає, а потім і зовсім припиняється.

Активний період життєдіяльності бульбочкових бактерій щодо фіксації ними азоту повітря, обмежується у кормових трав, до яких відноситься і люцерна посівна (*Medicago sativa*) 180-200 днями. Нажаль, фактори, що обумовлюють підвищену фіксацію азоту бульбочковими бактеріями, до цих пір залишаються ще недостатньо вивченими. Невідомі також можливі внутрішні причини, які гальмують життєдіяльність бобової рослини і бульбочкових бактерій, що заселяють її кореневу систему. Однак, за вегетаційний період при звичайних умовах температури і опадів Північного Степу України вони можуть привнести по вмісту у кореневій системі і надземній біомасі рослин 180-200 кг азоту на площі в 1 га.

Отже, для досягнення максимально можливої ефективності очищення ґрунтів від пестицидів запропоновано використовувати комплексний метод з відновлення ґрунтів забруднених пестицидами, а саме: біодеградацію за допомогою азотфіксуючих бактерій *Azotobacter* при застосуванні мікробіологічного препарату азотобактерин в поєднанні з фітоекстракцією квасолею звичайною (*Phaselus vulgaris* L.), соняшником однорічним (*Helianthus annuus*) та полином звичайним (*Artemisia vulgaris*). Крім того, рекомендується застосовувати ефектор фітоекстракції + стимулятор росту рослин – 2,4-динітрофенілгідазон, а також семікарбазон 2,2-диметілоксанону. (рис. 3).

Очищення ґрунтів забруднених пестицидами

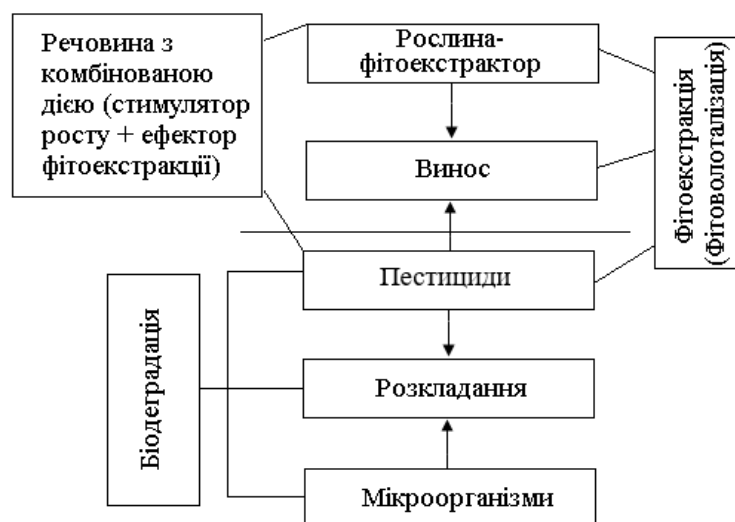


Рис. 3. Загальна схема очищення ґрунтів від пестицидів

Висновки. Єдиного універсального методу відновлення ґрунтів забруднених хімічними засобами захисту рослин, зокрема, пестицидними препаратами, не існує. Для кожного окремого випадку треба застосовувати відповідні агрохімічні засоби та сучасні методики їх ремедіації, зокрема, біологічні, мікробіологічні, хімічні, механічні та інші. При цьому неодмінно варто враховувати безліч факторів і, у першу чергу, властивості самого ґрунтового покриву, специфіку застосованих пестицидів, вологість, кислотність(лужність) ґрунтового середовища, глибину і профіль просякання пестицидів тощо, а також передбачити можливі шляхи утилізації насиченої аб(д)сорбованими пестицидами біомаси та ін. Стосовно Лісостепу України з його значними запасами чорноземів, то найбільш прийнятним методом, з нашої точки зору, є комплексний метод, що базується переважно на біодеградації пестицидів з використанням резистентних мікроорганізмів та фітореємедіації рослинами-гіперакумуляторами з можливим залученням ефекторів фітоекстракції та стимуляторів росту для підвищення виносу пестицидів із ґрунту, зокрема, за допомогою азотфіксуючих бактерій в поєднанні з використанням таких рослин як: квасоля, соняшник, полин тощо.

Література

- 1 Шильникова Н. В., Андрияшина Т. В. Влияние пестицидов на биоценоз почвенного покрова. Вестник Казанского технологического университета. 2012. Том. 15. № 7. С. 140-144.
- 2 Добровольский Г.В., Гришина Л.А. Охрана почв. М. Изд-во МГУ. 1985. 224 с.
- 3 Brusa T., Puppo E. Microbial degradation of the sulfonylurea herbicides. Current knowledge, 1995. V. 45. № 2. P. 321-330.

- 4 Feng Y., Minard R. D., Bollag J.-M., Photolytic and microbial degradation of 3,5,6-trichloro-2-pyridinol. *Environ. Toxicol and Chem.* 1998. V. 17. № 5. P. 814-819.
- 5 Ашихмина Т. Я., Колупаев А. В., Широких А. А. Биотрансформация пестицидов в наземных экосистемах (обзор литературы) // Теоретическая и прикладная экология. 2010. № 2. С. 4-12.
- 6 Головлева Л. А., Финкельштейн З. И., Перцова Р. Н. Роль микроорганизмов в разложении пестицидов в окружающей среде // Результаты научных исследований в практику сельского хозяйства. М. Наука. 1982. С. 64-73.
- 7 Круглов Ю. В. Микрофлора почвы и пестициды. М.: Агропромиздат, 1991. 128 с.
- 8 Домрачева Л. И., Ашихмина Т. Я., Кондакова Л. В., Березин Г. И. Реакция почвенной микробиоты на действие пестицидов (обзор) Теоретическая и прикладная экология. 2012. № 3. С. 4-18.
- 9 Struthers J. K., Jayachandran K., Moorman T. B. Biodegradation of atrazine of *Agrobacterium radiobacter* J14a and use of this strain in bioremediation of contaminated soil // *Appl. And Environ. Microbiol.* 1998. V. 64. № 9. P. 3368-3375.
- 10 Ponneelan K. T. P. B., Subramanian C., Suchitra R., Ganesh K. G. Studies on the pesticide (Lindane) utilizing in the paddy field // *J. Ecotoxicol and Environ Monit.* 2006. № 3. V. 16. P. 211-214.
- 11 Masaphy S., Fahima T., Levanon D., Henis Y., Mihgelgrin U. Paration degradation by *Xanthomonas* sp. And its crude enzyme extract in clay suspensions // *J. Environ Qual.* 1996. V. 26. № 6. P. 1248-1255.
- 12 Zablotowicz R. M., Schrader K. K., Locke M. A. Algal transformation of flumeturon and atrazine by N-dealkylation // *J. Environ Sci and Health*, 1998. V. 33. № 5. P. 511-528.
- 13 Shapir N., Mandelbaum T. Atrazine degradation in subsurface soil by indigenous and introduced microorganisms // *J. Agr and Food Chem.* 1997. V. 45. № 45. P. 4481-4486.
- 14 Kulowski K., Zirbes E. L., Thede B. M., Rosazza J. N. Microbial transformations of prosulfuron // *J. Agr and Food Chem.* 1997. V. 45. № 4. P. 1479-1485.
- 15 Mercadier C., Vega D., Bastide J. Iprodione degradation by isolated soil microorganisms // *Fems Microbiol. Ecol.* 1997. V. 23. 3. P. 207-215.
- 16 Maloney S. E. Degradation of insecticides and herbicides by *Fungi* // *J. Chem Technol and Biotechnol.* 1998. V. 71. № 4. P. 360-362.
- 17 Yang L., Zhao Y., Zhang B. Выделение и характеристика бактерий, разлагающих хлорпирифос и их использование для биовосстановления почвы // *Shengming kexue yanjiu.* 2005. V. 9. № 3. P. 247-253.
- 18 Zhang D., Tan X., Luo X., He M., Dai J., Zhang Z., Oiu Y. Выделение фотосинтезирующей бактерии HP-1, способной к деградации органофосфорных инсектицидов // *Shengming kexue yanjiu.* 2005. V. 9. № 3. P. 247-253.
- 19 Захарченко М. А., Рыжкова М. Н., Рижикова И. А., Мельник Л. В., Рыжиков А. М. К вопросу об использовании фитотехнологий для ремедиации почв, загрязненных пестицидами. Коммунальное хозяйство городов. Научно-технический сборник. 2010. № 93. С. 388- 392.
- 20 Barth E. F., An overview of the history, present status and future direction of solidification / stabilization technologies for hazardous waste treatment. *Proc 2nd Ann Symp Solidification / Stabilization Mechanisms and Applications*, Beaumont (USA). Beaumont, 1990. P. 1-6.
- 21 Пронина Н. Б. Экологические стрессы (причины, классификация, тестирование, физиолого-биохимические механизмы). М. Изд-во Мос. сельхоз. акад., 2000. 310 с.
- 22 Кайгородов Р. В. Устойчивость растений к химическому загрязнению. Пермь. Изд-во Перм. гос. ун-та. 2010. 151 с.
- 23 McGuinness M., Dowling D. Plant-Associated Bacterial Degradation of Toxic Organic Compounds in Soil. *J. Environ. Res. Public Health.* 2009. № 6(8) P. 2226-2247.
- 24 Гарипова С. Р. Перспективы использования эндофитных бактерий в биоремедиации почв агроэкосистем от пестицидов и других ксенобиотиков. Успехи современной биологии. 2014. Т. 134. № 1. С.35- 47.
- 25 Моклячук Л. И., Андриенко Г. Г., Слободенюк Е. А. Фиторемедиационные технологии - метод восстановления загрязненных пестицидами почв. Сотрудничество для решения проблемы отходов : Тезисы докладов Международной конференции, 9-10 февраля 2005 г. Харьков, 2005. URL: <https://waste.ua/cooperation/2005/theses/moklyanchuk.html>

- 26 Моклячук Л. І., Зацарінна Ю. О. Наукові основи фітореMediaції забруднених трифлураліном ґрунтів при вирощуванні лікарських рослин. Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2012. № 1 (30). URL: http://nd.nubip.edu.ua/2012_1/12mpi.pdf
- 27 Волгина Т. В., Новиков В. Т., Регужева Д. В. Пути распространения пестицидов в объектах окружающей среды. Региональные проблемы. 2010. Том. 13. № I.C. 76-81.
- 28 Калугин С. Н., Нуржанова А. А., Байжуманова Р. А., Митрофанова А. А., Жумашева Ж. Е. Индуцированная фитореMediaция почв с помощью производных оксана. Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013. Т 3. № 3 (4). С. 1306-1310.
- 29 Горбатова О. Н., Жердев А. В., Королева О. В. Триазиновые пестициды: структура, действие на живые организмы, процессы деградации. Успехи биологической химии. 2006. Том 46. С. 323-348.
- 30 Самохвалова В. Л. Біологічні методи реMediaції ґрунтів, забруднених важкими металами / Біологічні студії. – 2014. т. 8, № 1. – С. 217-236.
- 31 Штика О. С. Оцінка ефективності сучасних технологій реMediaції ґрунтів, забруднених важкими металами / Київ: НАУ, 2014. – С. 47-60.
- 32 Городинська І. М. реMediaція забрудненого хлорорганічними пестицидами ґрунту за допомогою лужних агентів: дис. канд. с.-г. наук: 03.00.16 / інституту агроекології УААН. – Київ: 2006. – 184 с.
- 33 Слободенюк О. А. ФітореMediaція ґрунтів, забруднених стійкими хлорорганічними пестицидами: дис. канд. наук: 03.00.16, 2018.
- 34 Національний стандарт. Якість ґрунту. ДСТУ ISO 11074-4: 2004.
- 35 Моклячук Л. І., Слободенюк О. А., Петришина В. А. Науково-методичні підходи до фітореMediaції забруднених пестицидами ґрунтів // Агроекологічний журнал. – 2008. – С. 188-190.
- 36 Патица В., Багнюк В. Хлороорганічні речовини і біотехнології очищення ґрунтів // Вісник НАНУ. – 2004. - № 6. – С. 22-31.
- 37 Моклячук Т. О. Еколого-економічна оцінка реMediaції забруднених земель сільськогосподарського призначення: автореф. дис. канд. екон. наук: 08.00.06. – Київ, 2015. – 21 с.
- 38 Іванків М. Я., Вовк С. О. Агроекологічні заходи зниження рівня хлорорганічних пестицидів та їх похідні у ґрунтах // Науково-технічний бюлетень ІБТ і ДНДКІВП та КД. – 2014. – Вип. 15, № 1. – С. 164-170.
- 39 Пацула О. І., Фецюх А. Б., Буньо Л. В. Використання SALIX VIMINALIS L. для фітореMediaції ґрунтів, забруднених важкими металами // Екологічні науки. – Том 2, № 1 (20), 2011. – С. 101-106.

R. Petruk¹, T. Yakovyshyna²

¹Vinnitsia National Technical University,

²Pridniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture

ANALYSIS OF THE ENVIRONMENTALLY FRIENDLY RESTORATION METHODS OF PESTICIDE-POLLUTED SOILS

It is known that in modern agricultural production, huge quantities of crop protection chemicals, namely highly effective pesticide products, are used to intensify plant growth, prevent their diseases, increase their yield, in particular, of grain crops, to control rodents and weeds, etc.

At the same time, in the territory of Ukraine there are still significant volumes of unused, failed pesticide products and mineral fertilizers, which have over time become unidentified dangerous chemical mixtures in dilapidated warehouses and storage facilities. As a result of the long-term application, they accumulate in soils and increase environmental hazards, that is, serious risks for humans and other living systems and the environment. Therefore, there is a pressing issue of creating highly efficient remediation and reclamation methods of contaminated soils. To achieve the maximum possible ecological effect, it seems good to combine several methods, which differ in their working principles, but have the same ultimate goal: biodegradation of pesticides using resistant microorganisms and phytoremediation with hyperaccumulator plants with the possible involvement of phytoextraction effectors to increase the removal of pesticides from the soil.

In the case of the Ukrainian forest steppe with its considerable reserves of black soils, the most appropriate method, from our point of view, is a complex method based mainly on biodegradation of pesticides with the use of resistant microorganisms and phytoremediation with hyperaccumulator plants with the possible involvement of phytoextraction effectors and growth stimulators to increase the removal of pesticides from the soil, in particular by means of nitrogen-fixing bacteria in combination with such plants as beans, sunflowers, sage, etc.

Key words: ecological safety, pesticides, soil contamination, remediation methods of contaminated soils.

References

- 1 Shylnykova N. V., Andriashyna T. V. Vliyanye pestytsydov na byotsenoz pochvennoho pokrova. Vestnyk Kazanskoho tekhnolohyetskoho unyversyteta. 2012. Tom. 15. № 7. S. 140-144.
- 2 Dobrovolskyi H.V., Hryshyna L.A. Okhrana pochv. M. Yzd-vo MHU. 1985. 224 s.
- 3 Brusa T., Puppo E. Microbial degradation of the sulfonylurea herbicides. Current knowledge, 1995. V. 45. № 2. P. 321-330.
- 4 Feng Y., Minard R. D., Bollag J.-M., Photolytic and microbial degradation of 3,5,6-trichloro-2-pyridinol. Environ. Toxicol and Chem. 1998. V. 17. № 5. P. 814-819.
- 5 Ashykhmyna T. Ya., Kolupaev A. V., Shyrokykh A. A. Byotransformatsiya pestytsydov v nazemnykh zkosystemakh (obzor lyteraturi) // Teoretycheskaia y prykladnaia zkolohyia. 2010. № 2. S. 4-12.
- 6 Holovleva L. A., Fynkelshtein Z. Y., Pertsova R. N. Rol mykroorhanyzmov v razllozheny pestytsydov v okruzhaiushchei srede // Rezultati nauchnykh yssledovanyi v praktyku selskoho khoziaistva. M. Nauka. 1982. S. 64-73.
- 7 Kruhlov Yu. V. Mykroflora pochvi y pestytsydi. M.: Ahropromyzzdat, 1991. 128 s.
- 8 Domracheva L. Y., Ashykhmyna T. Ya., Kondakova L. V., Berezhyn H. Y. Reaktsyia pochvennoi mykrobyoti na deistvie pestytsydov (obzor) Teorytycheskaia y prykladnaia ekolohyia. 2012. № 3. S. 4-18.
- 9 Struthers J. K., Jayachandran K., Moorman T. B. Biodegradatoin of atrazine of *Agrobacterium radiobacter* J14a and use of this strain in bioremediation of contaminated soil // Appl. And Environ. Microbiol. 1998. V. 64. № 9. P. 3368-3375.
- 10 Ponneelan K. T. P. B., Subramanian C., Suchitra R., Ganesh K. G. Studies on the pesticide (Lindane) utilizing in the paddy field // J. Ecotoxicol and Environ Monit. 2006. № 3. V. 16. P. 211-214.
- 11 Masaphy S., Fahima T., Levanon D., Henis Y., Mihgelgrin U. Paration degradation by *Xanthomonas* sp. And its crude enzyme extract in clay suspensions // J. Environ Qual. 1996. V. 26. № 6. P. 1248-1255.
- 12 Zablotowicz R. M., Schrader K. K., Locke M. A. Algal transformation of flumeturon and atrazine by Ndealkylation // J. Environ Sci and Health, 1998. V. 33. № 5. P. 511-528.
- 13 Shapir N., Mandelbaum T. Atrazine degradation in subsurface soil by indigenous and introduced microorganisms // J. Agr and Food Chem. 1997. V. 45. № 45. P. 4481-4486.
- 14 Kulowski K., Zirbes E. L., Thede B. M., Rosazza J. N. Microbial transformations of prosulfuron // J. Agr and Food Chem. 1997. V. 45. № 4. P. 1479-1485.
- 15 Mercadier C., Vega D., Bastide J. Iprodione degradation by isolated soil microorganisms // Fems Microbiol. Ecol. 1997. V. 23. 3. P. 207-215.
- 16 Maloney S. E. Degradation of insecticides and herbicides by Fuhgi // J. Chem Technol and Biotechnol. 1998. V. 71. № 4. P. 360-362.
- 17 Yang L., Zhao Y., Zhang B. Videlenye y kharakterystyka bakteryi, razlahaiushchykh khlorpyryeb y ykh yspolzovanye dlia byovosstanovleniya pochvi // Shengming kexue yanjiu. 2005. V. 9. № 3. P. 247-253.
- 18 Zhang D., Tan X., Luo X., He M., Dai J., Zhang Z., Oiu Y. Videlenye fotosyntezyruiushchei bakteryy NR-1, sposobnoi k dehradatsyy orhanofosfornikh ynsekytsydov // Shengming kexue yanjiu. 2005. V. 9. № 3. P. 247-253.
- 19 Zakharchenko M. A., Rizhkova M. N., Ryzhykova Y. A., Melnyk L. V., Rizhykov A. M. K voprosu ob yspolzovanny fyotekhnolohyi dlia remedyatsyy pochv, zahriaznennykh pestytsydami. Kommunalnoe khaziaistvo horodov. Nauchno-tekhnicheskyy sbornyk. 2010. № 93. S. 388- 392.
- 20 Barth E. F., An overview oh the history, present status and future direction of solidification / stabilization technologies for hazardous waste treatment. Proc 2nd Ann Symp Solidificstion / Stabilization Mechanisms and Applications, Beaumont (USA). Beaumont, 1990. P. 1-6.

- 21 Pronyna N. B. Zkolohycheskye stressi (prychyni, klasyfykatsiya, testyrovanye, fyzyoloho-byokhymycheskye mekhanyzmi). M. Yzd-vo Mos. selkhoz. akad., 2000. 310 s.
- 22 Kaihorodov R. V. Ustoichyvost rastenyi k khymycheskomu zahriaznennyiu. Perm. Yzd-vo Perm. hos. un-ta. 2010.151 s.
- 23 McGuinness M., Dowling D. Plant-Associated Bacterial Degradation of Toxic Organic Compounds in Soil. J. Environ. Res. Public Health. 2009. № 6(8) P. 2226-2247.
- 24 Harypova S. R. Perspektyvi yspolzovanyia endofytnikh bakteriy v byoremedyatsyy pochyv ahroekosystem ot pestytsydov y druhykh ksenobyotykov. Uspekhy sovremennoi byolohyy. 2014. T. 134. № 1. S.35- 47. rastenyi k khymycheskomu zahriaznennyiu. Perm. Yzd-vo Perm. hos. un-ta. 2010.151 s.
- 25 Mokliachuk L. Y., Andryenko H. H., Slobodeniuk E. A. Fytoremedyatsyonnie tekhnolohyy - metod vosstanovleniya zahriaznennikh pestytsydami pochyv. Sotrudnychestvo dlia resheniya problemy otkhodov : Tezysy dokladov Mezhdunarodnoi konferentsyy, 9-10 fevralia 2005 h. Kharkov, 2005. URL: <https://waste.ua/cooperation/2005/theses/moklyanchuk.html>
- 26 Mokliachuk L. I., Zatsarinna Yu. O. Naukovi osnovy fitoremediatsii zabrudnennykh tryfluralinom gruntiv pry vyroshchuvanni likarskykh roslyn. Naukovi dopovidi Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. 2012. №1(30).URL: http://nd.nubip.edu.ba/2012_1/12mpi.pdf
- 27 Volhyna T. V., Novykov V. T., Rehuzova D. V. Puty rasprostraneniya pestytsydov v obekтах okruzhaiushchei sredy. Rehyonalnye problemy. 2010. Tom. 13. № I.S. 76-81.
- 28 Kaluhyn S. N., Nurzhanova A. A., Baizhumanova R. A., Mytrofanova A. A., Zhumasheva Zh. E. Yndutsyrovannaia fytoremedyatsiya pochyv s pomoshchiu proyvodnykh oksana. Yzvestiya Samarskoho nauchnogo tsentra Rossyiskoi akademyy nauk. 2013. T 3. № 3 (4). S. 1306-1310.
- 29 Horbatova O. N., Zherdev A. V., Koroleva O. V. Tryazynovie pestytsydy: struktura, deistvie na zhyvie orhanyzmi, protsessi dehradatsyy. Uspekhy byolohycheskoi khymyy. 2006. Tom 46. S. 323-348.
- 30 Samokhvalova V. L. Biologichni metody remediatsii hruntiv, zabrudnennykh vazhkymy metallamy / Biologichni studii. – 2014. t. 8, № 1. – S. 217-236.
- 31 Shtyka O. S. Otsinka efektyvnosti suchasnykh tekhnolohii remediatsii hruntiv, zabrudnennykh vazhkymy metallamy / Kyiv: NAU, 2014. – S. 47-60.
- 32 Horodynska I. M. remediatsiia zabrudnenoho khlororhanichnymy pestytsydami hruntu za dopomohoiu luzhnykh ahentiv: dys. kand. s.-h. nauk: 03.00.16 / instytutu ahroekolohii UAAN. – Kyiv: 2006. – 184 s.
- 33 Slobodeniuk O. A. Fitoremediatsiia hruntiv, zabrudnennykh stiikymy khlororhanchnymy pestytsydami: dys. kand. nauk: 03.00.16, 2018.
- 34 Natsionalnyi standart. Yakist hruntu. DSTU ISO 11074-4: 2004.
- 35 Moklianchuk L. I., Slobodeniuk O. A., Petryshyna V. A. Naukovo-metodychni pidkhody do fitoremediatsii zabrudnennykh pestytsydami hruntiv // Ahroekolohichni zhurnal. – 2008. – S. 188-190.
- 36 Patyka V., Bahniuk V. Khloroorhanichni rehovyny i biotekhlohii ochyshchennia hruntiv // Visnyk NANU. – 2004. - № 6. – S. 22-31.
- 37 Moklianchuk T. O. Ekoloho-ekonomichna otsinka remediatsii zabrudnennykh zemel silskohospodarskoho pryznachennia: avtoref. dys. kand. ekon. nauk: 08.00.06. – Kyiv:, 2015. – 21 s.
- 38 Ivankiv M. Ya., Vovk S. O. Ahroekolohichni zakhody znyzhennia rivnia khlororhanichnykh pestytsydiv ta yikh pokhidni u hruntakh // Naukovo-tekhnichnyi biuleten IBT i DNDKIVP ta KD. – 2014. – Vyp. 15, № 1. – S. 164-170.
- 39 Patsula O. I., Fetsiukh A. B., Buno L. V. Vykorystannia SALIX VIMINALIS L. dlia fitoremediatsii hruntiv, zabrudnennykh vazhkymy metallamy // Ekolohichni nauky. – Tom 2, № 1 (20), 2011. – S. 101-106.

Надійшла до редакції 12 листопада 2019 р.