

догляду за рослинами (грунтозахисне й екологічно безпечне оброблення земель на схилах, унесення добрив, засобів захисту рослин, диференційне вирощування культур).

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Польший А.М., Гуцал А.І., Дронова О.О. Грунтознавство: підручник. Одес. держ еколог. Університет. Одеса: Екологія, 2013. 668 с.
2. Шищенко П.Г. Принципы и методы ландшафтного анализа в региональном проектировании: монография. Киев: Фитосоциоцентр, 1999. 284 с.
3. Гофман К.Г. Экологическая оценка природных ресурсов. *Социалистическое природопользование: статьи*. М.: [б. и.], 1980. С. 97–107.
4. Мальчикова Д.С. Проблеми і перспективи використання зрошуваних земель Херсонської області. *Географія і сучасність: зб. наук. пр. НПУ ім. М.П. Драгоманова*. К.: Вид-во нац. пед. ун-ту ім. М.П. Драгоманова, 2002. Вип. 7. С. 138–145.
5. Пилипенко І.О., Мальчикова Д.С. Методики суспільно-географічних досліджень (на матеріалах Херсонської області). Херсон: ПП Вишемирський В.С., 2007. 112 с.

УДК 63.502:504.57

## ДЕСТРУКТИВНІ ВЛАСТИВОСТІ БІОСОРБЦІЙНИХ КОМПЛЕКСІВ ПІД ЧАС ЗНЕШКОДЖЕННЯ ПЕСТИЦИДІВ У ҐРУНТАХ

**Хохлов А.В.** – к.т.н., старший науковий співробітник,  
Інститут сорбції та проблем ендоекології Національної академії наук України  
**Хохлова Л.І.** – к.т.н., старший науковий співробітник,  
Інститут сорбції та проблем ендоекології Національної академії наук України  
**Титаренко М.В.** – м.н.с.,  
Інститут сорбції та проблем ендоекології Національної академії наук України

У статті висвітлено результати дослідження фізико-хімічних, сорбційних і деструктивних властивостей біосорбційних комплексів на основі рослинних композитів для відновлення ґрунтів, забруднених агрохімікатами (пестицидами). Вивчено процес деструкції пестицидів у забруднених ґрунтах у разі внесення мікроорганізмів-деструкторів із культуральною рідиною та іммобілізованих на сорбенті. Теоретично обґрунтовано й експериментально підтверджено, що комплексний підхід до детоксикації пестицидного забруднення ґрунтів – сорбція та мікробна деструкція – дає змогу підвищити ефективність і екологічність робіт з ремедіації.

**Ключові слова:** біоактивні сорбційні комплекси, мікробна біомаса, іммобілізація, мікроорганізми-деструктори, пестициди, деструкція.

**Хохлов А.В., Хохлова Л.І., Титаренко М.В. Деструктивные свойства биосорбционных комплексов при обезвреживании пестицидов в почвах**

В статье отражены результаты исследования физико-химических, сорбционных и деструктивных свойств биосорбционных комплексов на основе растительных композитов для восстановления почв, загрязненных агрохимикатами (пестицидами). Изучен процесс деструкции пестицидов в загрязненных почвах при внесении микроорганизмов-деструкторов с культуральной жидкостью и иммобилизованных на сорбенте. Теоретиче-

ски обосновано и экспериментально подтверждено, что комплексный подход к детоксикации пестицидного загрязнения почв – сорбция и микробная деструкция – позволяет повысить эффективность и экологичность работ по ремедиации.

**Ключевые слова:** биоактивные сорбционные комплексы, микробная биомасса, иммобилизация, микроорганизмы-деструкторы, пестициды, деструкция.

**Khokhlov A.V., Khokhlova L.I., Titarenko M.V. Destructive properties of biosorption complexes at detoxification of pesticides in soils**

The article reflects the results of a study of the physico-chemical, sorption and destructive properties of biosorption complexes based on plant composites for the restoration of soils contaminated with agrochemicals (pesticides). The process of destruction of pesticides in contaminated soils has been studied with the introduction of microorganisms-destroyers with a culture liquid and immobilized on a sorbent. It is theoretically grounded and experimentally confirmed that a comprehensive approach to detoxifying soil pesticide contamination – sorption and microbial destruction – makes it possible to improve the efficiency and environmental friendliness of remediation work.

**Key words:** bioactive sorption complexes, microbial biomass, immobilization, microorganisms-destroyers, pesticides, destruction.

**Постановка проблеми.** Однією з негативних проблем сучасності є забруднення біосфери хімічними сполуками, що використовуються в землеробстві. Важливе місце серед них займають хімічні засоби захисту рослин – пестициди. Накопичення пестицидів у ґрунті після функціонального застосування за призначенням, взаємодія їх із ґрунтовою мікрофлорою може бути вищою, ніж забруднення через викиди промислових підприємств. Хімічні елементи та їхні сполуки, потрапляючи у ґрунт, зазнають ряд перетворень, розсіюються або накопичуються в ньому. Ґрунт переважно виступає як накопичувач пестицидів, де вони розкладаються і звідки постійно переміщуються в рослини або навколишнє середовище, або як сховище, де деякі з них можуть існувати протягом багатьох років після внесення [1, с. 22–23; 2, с. 23–25]. Пестициди – тонкодисперсні речовини – у ґрунті схильні до численних впливів біотичного та небіотичного характеру, деякі визначають їхню поведінку, перетворення і, нарешті, мінералізацію. Тип і швидкість перетворень залежать від таких чинників: хімічної структури діючої речовини та її стійкості, механічного складу й будови ґрунтів, хімічних властивостей ґрунтів.

Актуальність розроблення методів екологічної ремедиції забруднених ґрунтів пов'язана із здатністю різних ремедіантів виконувати функцію оптимізації та відновлення природного стану ґрунтової системи, впливаючи на весь комплекс властивостей ґрунтів (біологічних, фізичних, фізико-хімічних). Тому ефективне використання новітніх методів очищення та ремедиції техногенно забруднених ґрунтів різного типу із застосуванням хімічно та біологічно модифікованих сорбентів мінерального й рослинного походження має забезпечити цільове виконання завдання детоксикації забруднення у ґрунтовій системі. Використання іммобілізованих на носіях мікробних клітин-деструкторів, що володіють високою деструктивною здатністю щодо ксенобіотиків, створення вискоєфективних біосорбційних комплексних препаратів, які мають широкий спектр окислення різних забруднювачів, – безсумнівно, новий, перспективний і складний напрям у відновленні порушених екосистем.

**Аналіз основних досліджень і публікацій.** Одним із шляхів вирішення проблеми очищення ґрунту від залишків пестицидів є пошук ґрунтових мікроорганізмів, здатних до їх розкладу. Адже провідну роль у розкладі пестицидів, як і інших ксенобіотиків, відіграють мікроорганізми. Мікроорганізми розкла-

дають величезну кількість сполук і беруть участь у процесах самоочищення ґрунтових екосистем. Перспективні методи ґрунтуються на використанні здатності мікроорганізмів перетворювати різні органічні сполуки на вуглекислий газ, воду і власну біомасу. У природі така переробка здійснюється багато років, завдяки чому відбувається кругообіг речовин [3, с. 80–88; 4, с. 100–106]. Максимального результату в біодеструктивних процесах можна досягти використовуючи окремі штами-деструктори або асоціації мікроорганізмів, виділені з ґрунтів, що тривалий час піддавалися впливу забруднювачів, і тому вони пристосувалися до виживання в нових умовах. Відомо, що мікроорганізми ґрунту розкладають від 10 до 70 % пестицидів [5, с. 3–9; 6, с. 120–135]. Природна мікрофлора виявляє унікальну властивість адаптуватися до токсичних і стійких до розкладання речовин. Завдяки цьому в разі біотехнологічної утилізації рідких і твердих промислових відходів або очищення ґрунтів не утворюються побічні продукти та не накопичуються шлами. Особливу актуальність руйнівна здатність мікроорганізмів отримала в останні десятиріччя у зв'язку зі зростаючою присутністю в біосфері стійких забруднювачів антропогенного походження [7, с. 60–65]. Тому на перший план виходить використання біоруйнуючої здатності мікроорганізмів для очищення навколишнього середовища від антропогенних забруднювачів. Природне очищення довкілля від забруднювачів органічного походження, таких як різного типу пестициди (хлор- і фосфоровмісні), здійснюється шляхом складних процесів у біоценозах, що вміщують асоціації мікроорганізмів. За допомогою сорбентів можливо виділити природну мікрофлору, що являє собою бактеріальні культури індивідуальних мікроорганізмів або їхні суміші, які здатні розкладати локалізовані на сорбенті забруднювачі. Сорбент є матрицею-носієм для іммобілізації бактеріальних культур.

**Постановка завдання.** Застосування для іммобілізації клітин сорбційних носіїв активних як до забруднювача, так і для мікроорганізмів-деструкторів ксенобіотиків (пестицидів) дає певні економічні й технічні переваги для відновлення забруднених ґрунтів. Розроблення принципів спільного використання сорбентів і мікроорганізмів-деструкторів для очищення ґрунту, забрудненого ксенобіотиками, встановлення параметрів одержання біосорбційного комплексу й технічних прийомів його застосування буде сприяти ефективному та якісному відновленню забруднених ґрунтів.

Для вирішення цієї проблеми доцільним є застосування сорбенту, що забезпечує швидку локалізацію забруднення, а мікроорганізми-деструктори, іммобілізовані на його поверхні, здатні здійснювати подальшу ремедіацію забрудненої території. Для виділення та концентрування бактеріальних клітин застосовують різні сорбенти, які адсорбують біомолекули та здатні розкладати забруднювач. Ефективний сорбент-носіє повинен бути нетоксичним, технологічним, мати спрямовану адсорбційну здатність, а головне – бути біосумісним.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Створення біосорбційних комплексів на основі носіїв різного походження та фізико-хімічних властивостей з іммобілізованими мікроорганізмами-деструкторами пестицидів потребує дослідження взаємозв'язку сорбційного зв'язування та деструктивної спроможності комплексу. Перспективним є застосування різноманітних сорбентів для виділення та іммобілізації культур МО-деструкторів пестицидів. Виділення мікроорганізмів, потенційних деструкторів хлор- і фосфоровмісних пестицидів здійснювали методом накопичувальних культур із ґрунтів (чорноземів), забруднених пестицидами такого типу, із зразків, відібраних із поля Кагарли-

цького району в межах діяльності агрофірми «Мир». Природна мікрофлора, адаптована до природних кліматичних умов, є стабільною та володіє синергізмом. Крім того, повернення мікробного комплексу в природне середовище надає йому селективні переваги. У присутності забруднювача (пестициду) у ґрунті шляхом вибіркового пригнічення виживають тільки найбільш стійкі до нього популяції. Експерименти проводили на мінеральному середовищі складу (г/л):  $K_2HPO_4$  – 0,5;  $NaNO_3$  – 0,5;  $(NH_4)_2SO_4$  – 0,5;  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$  – 0,2;  $CaCl_2 \cdot 2H_2O$  – 0,01;  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  – 0,01; у дистильованій воді. Як єдине джерело вуглецю та енергії використовували такі пестициди:

- 1 – Беганес – (фенмідіфам);
- 2 – Карібу – (трифлусульфурон-метил);
- 3 – Пірамін-Турбо –(хлорідазон);
- 4 – Нурел-Д –(хлортефіс циперметрин).

Кожен зразок забрудненого ґрунту вносили в качалочну колбу, що містила поживне середовище та пестицид, і в умовах перемішування за температури 25–30 °С проводили вирощування мікроорганізмів. Потім культуральну рідину (КР) пересівали у свіже середовище того ж складу та проводили повторне культивування за наявності пестициду. Після вирощування суміш мікробних клітин висівали на щільні поживні середовища (на основі агар-агару), які використовували в подальших дослідах для іммобілізації МО-деструкторів на поверхні сорбенту-носія.

Досліджено використання комплексного біосорбційного матеріалу, в якому застосовано в ролі носія мінеральні сорбенти (силікагель, бентоніт і каолін), вугілля та рослинні сорбенти (торф, подрібнена солома пшениці та вівса, буряковий жом). Вивчено структурно-сорбційні характеристики носія для іммобілізації мікроорганізмів-деструкторів пестицидів. Кращі структурні характеристики має мінеральний носій – силікагель. Але кращу поглинальну здатність до пестицидів мають носії на основі рослинної сировини.

Іммобілізація мікроорганізмів-деструкторів пестицидів на рослинному носії (подрібнена солома пшениці) активізує деструктивну здатність мікроорганізмів та у 8 разів перевищує, як порівняти з мінеральними сорбентами-носіями (рис. 1).

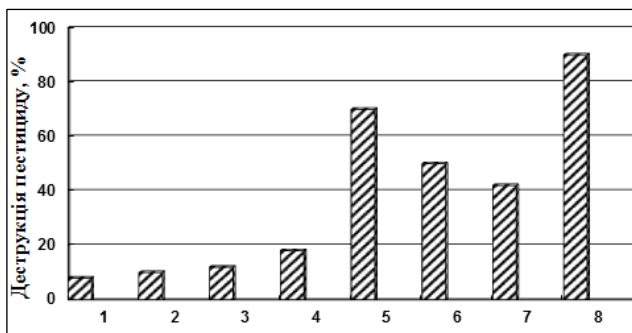


Рис. 1. Ефективність біодеструкції пестицидів у водному середовищі:  
 1 – мікроорганізми-деструктори (МОД) в культуральній рідині; 2 – МОД + силікагель; 3 – МОД + бентоніт; 4 – МОД + торф; 5 – МОД + солома пшениці;  
 6 – МОД + солома вівса; 7 – МОД + буряковий жом;  
 8 – МОД + солома пшениці + буряковий жом + торф

Вивчення здатності біосорбційного матеріалу (Агродетоксу) розкласти та знешкоджувати пестициди перевіряли в умовах лабораторної моделі. Контроль за ефективністю дії біосорбенту-детоксиканту здійснювали шляхом визначення залишкового вмісту пестициду у водному середовищі, на носії та у ґрунті. Дослідження проводили на модельних і реальних системах ґрунт – вода – пестициди. Найбільш ефективним сорбентом-носієм мікроорганізмів-деструкторів пестицидів є композит складу: солома пшениці подрібнена + торф + буряковий жом [8]. Кожна складова має свою функцію. Солома – активний поглинач органічного забруднювача, носій МО та джерело ферменту (лактоза); торф – консервант МО, джерело органічного постачання; буряковий жом – джерело полісахаридів та ефективний утримувач вологи, стимулює процеси біоокислення.

Досліджено взаємозв'язок сорбційного зв'язування та деструктивної спроможності комплексу. Між зовнішнім середовищем і кліткою в результаті іммобілізації останньої з'являється шар матеріалу носія, і обмін речовин клітина-середовище здійснюється через цей шар, де відбувається дифузійно-контрольований транспорт поживних речовин і відведення метаболітів.

Таблиця 1

**Деструктивна активність біосорбційного комплексу  
та мікроорганізмів-деструкторів у вільному стані відносно  
пестицидів (мг/л) у водному середовищі (модельні системи)**

Час від початку обробки	Вміст пестицидів у воді, мг/100г води			
	Мікроорганізми-деструктори у вільному стані (культуральна рідина)		Мікроорганізми-деструктори, іммобілізовані на сорбційному матеріалі (композиті)	
	хлорідазон	хлортефіс	хлорідазон	хлортефіс
Вихідний	50,0	30	50,0	30,0
через 10 днів	49,2	25	44,0	21,0
через 20 днів	44,0	21	35,0	18,0
через 30 днів	42,0	19	32,0	12,0
через 40 днів	38,0	18	24,0	8,0
через 50 днів	36,5	17,4	21,0	4,0
через 60 днів	34,5	16,2	18,1	2,0
через 80 днів	25,0	15,4	10,2	1,5
через 100 днів	24,0	15,0	4,2	0,9
через 120 днів	21,0	14,9	0,8	0,4

У табл. 1. наведені дані з розкладання пестицидів під дією МОД (мікроорганізмів-деструкторів) у вільному стані (культуральна рідина) та іммобілізованих на сорбційному композиті на прикладах модельних зразків ґрунту та водного середовища. Іммобілізовані культури МОД на носії-композиті мають клітинні титри  $10^6$ – $10^7$  кл/г. Іммобілізація МОД на функціональному сорбційному матеріалі збільшує метаболічну дію і ступінь деструкції забруднювача.

Дослідження ґрунтово-водних систем, забруднених пестицидами типу хлорідазон і хлортефіс методом високоефективної рідинної хроматографії, показали наявність декількох речовин-метаболітів пестицидів у процесі деструкції. Ідентифікація одержаних продуктів деструкції пестицидів і порівнян-

ня їхніх спектрів із спектрами відомих метаболітів показали їхню екологічну інертність.

**Висновки.** Наведені експериментальні дані свідчать, що створення біосорбційних комплексів, у яких мікроорганізми-деструктори закріплюються на носіях не інертних, а сорбційно активних до забруднювача та мікроорганізмів, активізує процеси біоочищення забруднених пестицидами середовищ.

Імобілізація біомолекул здійснюється або адсорбцією завдяки гідрофобній взаємодії, або шляхом створення ковалентного зв'язку. На поверхні носія обов'язково повинні бути присутні реакційно-функціональні групи, які забезпечують іммобілізацію бактеріальних клітин.

Визначена перспективність рослинних носіїв для розроблення біосорбційної технології очищення ґрунтів, забруднених пестицидами. Біосорбційний комплекс на основі композиту (солома пшенична – торф – буряковий жом) з іммобілізованими мікроорганізмами-деструкторами має значну деструктивну активність під час детоксикації пестицидів у ґрунтах.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Бублик Л.І., Ассасса В.Ф. Динаміка розпаду пестицидів. *Захист рослин*. 1999. № 12. С. 22–23.
2. Дезанов Г. О., Ткаченко С. И. Проблемки і можливі засоби захисту доквілля від токсичної дії заборонених та некондиційних пестицидів. *Екологічний вісник*. 2003. № 31. С. 23 – 25.
3. Благовещенская Г.Г., Духанина Т.М. Микробные сообщества почв и их функционирование в условиях применения средств химизации. *Агрoхимия*. 2004. № 2. С. 80–88.
4. Новожилов К.В., Петрова Т.М. Деградация пестицидов при их применении в интенсивном земледелии. *Агрoхимия*. 1991. № 3. С. 100–106.
5. Смірнов В.В., Патика В.П., Підгорський В.С. та ін. Мікробні біотехнології в сільському господарстві. *Агрoекологічний журнал*. 2002. № 3. С. 3–9.
6. Іутинська Г.О. Ґрунтова мікробіологія. К.: Арістей, 2006. 284 с.
7. Андреюк К.І., Іутинська Г.О., Антипчук А.Ф. та ін. Функціонування мікробних ценозів ґрунту в умовах антропогенного навантаження. К.: Обереги, 2001. 240 с.
8. Патент №88046 UA Біосорбційний матеріал деструктивного типу для очищення водних та ґрунтових середовищ від пестицидів. Хохлов А.В., Стрелко В.В., Хохлова Л.І. Опубл. 25.02.2014. Бюл. № 4.