УДК 63.502:504.57
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.3-42.10

ГРАНУЛЬОВАНИЙ СОРБЦІЙНИЙ КОМПОЗИТ НА ОСНОВІ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ ДЛЯ ДЕТОКСИКАЦІЇ ПЕСТИЦИДІВ У ГРУНТАХ

Хохлов А.В.[1], **Гомеля М.Д.**[2], **Хохлова Л.Й.**[1]
[1]Інститут сорбції та проблем ендоекології Національної академії наук України
вул. Генерала Наумова, 13, 03164, м. Київ
[2]Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
пр. Перемоги, 37, 03056, м. Київ
techsorb@ukr.net, lkhokhlova@ukr.net, m.gomelya@kpi.ua

У статті висвітлено результати досліджень фізико-хімічних, сорбційних та деструктивних властивостей відносно перисцентних пестицидів біологічно модифікованих сорбентів на основі рослинних матеріалів. Детоксикація накопичених пестицидів у грунтах сприяє їх відновленню, підвищенню продуктивності отримання високоякісної та екологічно безпечної аграрної продукції. Використанням природної, екологічно чистої сировини розроблено активний сорбційний композит-детоксикант деструктивного типу для знешкодження пестицидів різного хімічного складу. Для створення комплексного біосорбційного матеріалу запропоновано композит на основі подрібненої соломи пшениці, що активно поглинає пестициди активізує деструктивну дію композиту, завдяки ферменту (жовта лактаза) та є носієм мікроорганізмів- деструкторів пестицидів; торф консервант мікроорганізмів та ксеропротектор, джерело органічного постачання; багаса цукрової тростини – джерело полісахаридів та ефективний утримувач вологи (1/5), містить пектинові речовини що стимулює процеси біоокислення. Комплекс природних мікроорганізмів, що були виділені з ґрунтів, забруднених пестицидами, здатні ефективно розкладати пестициди різного хімічного складу та перисцентності. При мікробіологічному аналізі одержаної культури мікроорганізмів встановлено, що основними видами є Sporocytophaga myxococcoides, Sorangium cellulosum, Cellvibriomixtus, Trichoderma viride, а також супутні їм гетеротрофні бактерії Pseudomonas fluorescens, Bac. megaterium.

Досліджено процес деструкції пестицидів на забруднених ґрунтах та у водному середовищі при внесені мікроорганізмів-деструкторів у вигляді культуральної рідини та іммобілізованих на рослинному композиті. Показано, що сорбент-носій МО повинен мати спрямовану адсорбційну здатність щодо пестицидів та бути біосумісним. Проведені дослідження показали взаємозв'язок між сорбційним зв'язуванням пестицидів типу **Бетанес** (діюча речовина – фенмедифам, десмедифам, етофумезат), **Карібу** (діюча речовина – трифлусульфурон-метил) біосорбційним композитом і подальшою деструкцією сорбованих пестицидів мікроорганізмами-деструкторами, що іммобілізовані на поверхні носія. Встановлені оптимальні параметри сорбції клітин МО-. Іммобілізовані клітини мікроорганізмів-деструкторів на сорбційному носії (композит солома пшенична-торф-багаса) мають клітинні титри в межах від 10^4 до 10^7 кл/г (25–30 мг біомаси на 1 г сорбенту). Внесення такого біососорбційного детоксиканту прискорює процес розкладу пестицидів в рідкому середовищі в 7 разів, в чорноземному грунті в 5–6 разів. Іммобілізація мікроорганізмів-деструкторів (МОД) пестицидів на рослинному носії активізує деструктивну здатність мікроорганізмів. Показано, що гранулювання композиту поліпшує рівномірну дію складових біосорбційного матеріалу та деструктивну активність мікробіологічної компоненти, вихідний матеріал набуває необхідні параметри твердості, термостійкі. *Ключові слова:* пестициди, композит-детоксикант, мікроорганізми, іммобілізація, біосумісність, деструктивна активність.

Granular sorption composite based on vegetable raw materials for desiccation of pesticides in soils. Khokhlov A., Gomelya M., Khokhlova L.

The article reflects the results of studies of the physicochemical, sorption and destructive properties of biologically modified sorbents based on plant materials in relation to periscent pesticides. Detoxification of accumulated pesticides in soils helps to restore soils, increase productivity and obtain high-quality and environmentally friendly agricultural products. Using natural, environmentally friendly raw materials, an active sorption composite-detoxicant of a destructive type has been developed for the neutralization of pesticides of various chemical compositions. To create a complex biosorption material, a composite based on crushed wheat straw is proposed, which actively absorbs pesticides, activates the destructive effect of the composite, thanks to the enzyme (yellow lactase) and is a carrier of pesticide-degrading microorganisms; peat microbial preservative and xeroprotectant, source of organic supply; Sugar cane bagasse is a source of polysaccharides and an effective moisture retainer (1/5), containing pectin substances that stimulate biooxidation processes. The complex of natural microorganisms isolated from pesticide-contaminated soils is able to effectively decompose pesticides of different chemical composition and persistence. Microbiological analysis of the resulting culture of microorganisms revealed that the main species are Sporocytophaga myxococcoides, Sorangium cellulosum, Cellvibriomixtus, Trichoderma viride, as well as associated heterotrophic bacteria Pseudomonas fluorescens, Bac. Megaterium. It has been shown that the MO sorbent-carrier should have a directed adsorption capacity for pesticides and be biocompatible. The conducted studies have shown the relationship between the sorption binding of pesticides such as **Betanes** (active substance – phenmedipham, desmedipham, ethofumesate), **Caribou** (active substance – triflusulfuron-methyl) biosorption composite and the subsequent destruction of sorbed pesticides by degrading microorganisms immobilized on the surface of the carrier. The optimal parameters of sorption of MO- cells were established. Immobilized cells of microorganisms-destructors on a sorption carrier (composite wheat straw-peat-bagasse) have

cell titers ranging from 10^4 to 10^7 cells/g (25–30 mg of biomass per 1 g of sorbent). The introduction of such a biososorption detoxicant accelerates the decomposition of pesticides in a liquid medium by 7 times, in the chernozem soil by 5–6 times. Immobilization of microorganisms-destructors (MOD) of pesticides on a plant carrier activates the destructive ability of microorganisms. It is shown that the granulation of the composite improves the uniform action of the components of the biosorption material and the destructive activity of the microbiological component, the source material acquires the necessary stiffness parameters, heat-resistant. *Key words:* pesticides, detoxifying composite, microorganisms, immobilization, biocompatibility, destructive activity.

Постановка проблеми. Забруднення біосфери хімічними сполуками, що використовуються в землеробстві є однією з негативних проблем сучасності. Важливе місце серед них займають хімічні засоби захисту рослин – пестициди. Хімічні елементи та їхні сполуки потрапляючи в грунт зазнають ряд перетворень, розсіюються або накопичуються в ньому. Пестициди надійно захищають врожай від усіляких загрозливих факторів і в землеробстві без них ніяк не обійтися. Але це дуже токсичні речовини і при нераціональному використанні їх залишки, що накопичуються у ґрунті та продуктах рослинництва, здатні завдати значної шкоди. Пестициди забруднюють ґрунт не властивими йому сполуками, пригнічують його біологічну активність, породжують небезпеку порушення складу популяцій біоценозів і пригнічення корисної фауни ґрунту. Спеціальними дослідженнями було показано, що в деяких регіонах небезпека забруднення грунтів, внаслідок хімізації землеробства, накопичення пестицидів у ґрунті після функціонального застосування за призначенням, взаємодія їх з ґрунтовою мікрофлорою може бути вищою, ніж забруднення за рахунок викидів промислових підприємств. Хімічні елементи та їхні сполуки потрапляючи в грунт зазнають ряд перетворень, розсіюються або накопичуються в ньому. Накопичуючись в ґрунті, пестициди забруднюють його, зменшуючи родючість. Виникнення популяцій шкідників, стійких до пестицидів; спричинюють небезпеку масової появи мутацій, що порушують генетичну чистоту високопродуктивних сортів, погіршують якість сільськогосподарської продукції, породжуючи небезпеку інтоксикації тварин і людини. Грунт в основному виконує роль накопичувача пестицидів, де вони розкладаються і звідки постійно переміщуються до рослин і навколишнього середовища, та деякі з них можуть існувати протягом багатьох років після застосування. На пестициди в ґрунті впливають зовнішні фактори, що визначають їх поведінку, перетворення і, нарешті, мінералізацію. Тип і швидкість перетворення залежать від: хімічної структури діючої речовини та її стійкості, складу та хімічних властивостей ґрунтів. Грунт, забруднений пестицидами, становить реальну небезпеку для здоров'я людей та навколишнього середовища.

Методи очищення від пестицидів залежвть від рівня забруднення ґрунтів залишковими кількостями пестицидів та для різних регіонів мають специфічні відмінності. Впровадження новітніх технологій очищення та відновлення забруднених агрохімікатами грунтів мають першорядне значення для економічного і соціального розвитку країни.

Актуальність досліджень. Актуальним для детоксикації ґрунтів. забруднених пестицидами різного хімічного складу є створення біосорбційних комплексів широкого спектру дії на основі рослинної сировини та природниого консорціуму мікроорганізмів-деструкторів. Встановлено, що в ґрунтах діють механізми, які призводять до трансформації техногенних потоків, зв'язування ксенобіотиків в малорухомі і недоступні для рослин форми. Проте, діють ці механізми в певних межах. Тому екологічна ситуація, що обумовлена техногенним впливом на ґрунти, може змінюватися від сприятливої до катастрофічної.

Перспективним напрямком є створення біосорбційних композитів, в яких мікроорганізми-деструктори закріплюються на носіях не інертних, а сорбційно-активних до забруднювача та мікроорганізмів. Створення таких комплексних композитів на основі екологічних рослинних сорбентів-носіїв з іммобілізованими мікроорганізмами-деструкторами пестицидів природного походження потребує дослідження взаємозв'язку сорбційного зв'язування та деструктивної спроможності комплексу. Отже, проведення досліджень по розробці і застосуванню на практиці активного сорбційного композиту-детоксиканту з рослинної сировини для очищення грунту від пестицидів є надзвичайно важливо. Біосорбційні композити на основі рослинних сорбційних матеріалів та адаптованої природної асоціації мікроорганізмів – деструкторів перспективні для знешкодження пестицидного забруднення грунтів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Для зменшення пестицидного навантаження в господарствах вдосконалюється технологія застосування засобів захисту рослин, запроваджується більш економне і раціональне їх використання. Зокрема, стрічкове внесення гербіцидів на 20% зменшує витрати препаратів, різко зменшує забруднення ними ґрунтів і водоймищ. Впроваджуються осередкові і стрічкові способи оприскування. Для очистки ґрунтів, забруднених фосфорорганічними і метилкарбаматними інсектицидами та фенокси- і динітроаніліновими гербіцидами на рівнях, що не перевищують 20 мг/кг, перспективним є спосіб компостування ґрунту разом із залишками рослин, опалим листям [1–2]. В даний час розроблені численні способи отримання сорбентів, застосування яких дозволяє повертати в природний обіг очищений ґрунт. Ефективність застосування сорбентів для очищення забруднених ґрунтів визначається головним чином їх сорбційною активністю. У літературі представлені [3–4] різні сорбенти з рослинної сировини (мох,

відходи хвої, тирса, гідролізний лігнін і ін.), що дозволяють очищати ґрунт від різних екотоксикантів

З метою відновлення ґрунтів та детоксикації накопичених в них пестицидів все більшого поширення набуває застосування біотехнологічних методів, що передбачають інтродукцію в природні екосистеми мікроорганізмів-деструкторів пестицидів. В низці робіт [5–6] підкреслюється важливе значення ґрунтових мікроорганізмів в розкладанні пестицидів. Доведено, що практично всі хімічні сполуки, що застосовуються як пестициди, утилізуються мікроорганізмами. Виділено значну кількість штамів грибів, бактерій, актинобактерій та водоростей, що перетворюють ці речовини до нетоксичних сполук. Переваги використання біологічних методів дезактивації пестицидів над фізико-хімічними обумовлені тим, що мікроорганізми мінералізують пестициди та інші продукти органічного синтезу в природному циклі кругообігу речовин без негативного впливу на екосистему. Розроблено та застосовуються [7–8] рідкі мікробні препарати для знешкодження пестицидів у ґрунті . Метод біодеградації забруднювача шляхом використання мікроорганізмів-деструкторів, як у вільному стані, так й іммобілізованих на поруватому носії, є найбільш доцільним для зниження рівня забруднення ґрунтів. Відомим є засіб очищення ґрунтів від пестицидів застосуванням деструктивного мікробного препарату на основі суміші біологічно активного ґрунту та соломи [9]. Іммобілізація мікробних клітин-деструкторів забруднення на поверхні сорбційного носія підвищує ефективність біотехнологічних процесів. Метод адсорбції на поверхні сорбенту є одним з найбільш простих та поширених засобів іммобілізації мікробних клітин. Перспективними сорбентами для використання їх як носія мікробних клітин є вуглецеві сорбенти, як окремо, так і в комплексі з певними мінеральними та рослинними сорбційними матеріалами.

Залучення нових типів сорбентів з відновлюваної сировини, зокрема сільськогосподарських відходів, з метою отримання біоактивних сорбентів для детоксикації забруднення в грунтах актуально як в науковому, так і практичному відношенні. Сорбенти-носії повинні володіти високою хімічною стійкістю, механічною міцністю та достатньою проникністю для субстратів, біологічною сумісністю та технологічністю.

Для створення біосорбційного комплексу застосовується асоціація мікроорганізмів-леструкторів пестицидів. Здатність одного окремо взятого мікроорганізму розкладати ту чи іншу органічну сполуку лімітується індивідуальним генетичним комплексом. Метаболічні можливості природної популяції значно вищі, ніж окремо взятого мікроорганізму. Сукупна діяльність консорціуму мікроорганізмів дає змогу довести до повної мінералізації будь-які органічні сполуки, що не може зробити популяція одного виду мікроорганізмів [10–11]. Актуальним для детоксикації ґрунтів. забруднених пестицидами різного хімічного складу є створення біосорбційних комплексів широкого спектру дії на основі матеріалів рослинного походження та природниого консорціуму мікроорганізмів-деструкторів. Створення біосорбційних композитів, в яких мікроорганізми-деструктори закріплюються на рослинних носіях не інертних, а сорбційно-активних до забруднювача та мікроорганізмів має переваги.

Мета роботи. Дослідження фізико-хімічних, сорбційних та деструктивних (щодо перисцентних пестицидів) властивостей біологічно модифікованих сорбційних композитів на основі рослинної сировини для очищення ґрунтів від забруднення пестицидами. Детоксикація накопичених пестицидів у грунтах з метою їх відновлення, підвищення продуктивності та отримання високоякісної та екологічно безпечної аграрної продукції. Використанням природної, екологічно чистої сировини розроблено активний сорбційний композит-детоксикант деструктивного типу для знешкодження пестицидів різного хімічного складу.

Матеріали та методи досліджень. Пошук оптимальних методів аналізу пестицидів – одна з найважливіших проблем аналітичної хімії. З сучасних позицій до них, в першу чергу, відносяться капілярна газова хроматографія (ГХ), високоефективна рідинна хроматографія (ВЕРХ), тонкошарова хроматографія (ТШХ) і капілярний електрофорез (КЕ). Ці методи мають високу розділяючу здатність, що необхідно при аналізі багатокомпонентних зразків, і високу чутливість, що дозволяє визначати пестициди на рівні концентрацій 1 мкг/дм^3 і нижче. У проведенні досліджень було застосовано метод високоефективної рідинної хроматографії як найбільш ефективний метод аналізу.

Виділення мікроорганізмів-деструкторів пестицидів, здійснювали методом накопичувальних культур з ґрунтів (чорноземів), забруднених пестицидами, із зразків, відібраних з поля діяльності агрофірм, де тривалий час застосовували пестициди. Крім того, як було зазначено, внесення мікробного комплексу в природне середовище надає йому селективних переваг. Відомо, що в 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; $MgSO_4$ $7H_2O$ – 0,2; $CaCl_2$ $2H_2O$ – 0,01; $FeSO_4$ $7H_20$ – 0,01; в дистильованій воді. Як єдине джерело вуглецю та енергії використовували пестициди: «Бетанес»(Україна) (діюча речовина – фенмедифам, десмедифам, етофумезат); «Карібу» (Україна) (діюча речовина трифлусульфурон-метил).

Кожен зразок забрудненого ґрунту вносили в колбу, що містила поживне середовище та пестицид, і в умовах перемішування при температурі 25–30 °С проводили вирощування мікроорганізмів.

Надалі культуральну рідину (КР) пересівали в свіже середовище того ж складу та проводили повторне культивування в присутності пестициду. Після вирощування суміш мікробних клітин висівали на щільні поживні середовища (на основі агар-агару), які використовували в подальших дослідах для іммобілізації мікроорганізмів-деструкторів (МОД) на поверхні сорбенту-носія.

Біодеструктивну спроможність сорбційного композиту з іммобілізованими мікроорганізмами-деструкторами пестицидів контролювали за зниженням концентрації забруднюючої речовини (пестициду) та накопиченням біомаси в системі. Сиру біомасу визначали після осадження клітин центрифугуванням. Після центрифугування відмитих клітин визначали суху біомасу.

Виклад основного матеріалу. Для створення комплексного біосорбційного матеріалу запропоновано композит на основі: подрібненої соломи пшениці, що активно поглинає пестициди, активізує деструктивну дію композиту завдяки ферменту (жовта лаказа) та є носієм мікроорганізмів- деструкторів пестицидів; торф – консервант мікроорганізмів та ксеропротектор, джерело органічного постачання; багаса цукрової тростини – джерело полісахаридів та ефективний утримувач вологи (1/5), містить пектинові речовини що стимулює процеси біоокислення. Комплекс природних мікроорганізмів, що були виділені з ґрунтів, забруднених пестицидами, здатні ефективно розкладати пестициди різного хімічного складу та перисцентності.

Окремі представники мікробного консорціуму мали різну здатність до розкладання пестицидів на різних стадіях дозрівання культури, що забезпечує стабільну ефективність препарату протягом тривалого часу. Експериментально при мікробіологічному аналізі одержаної культури мікроорганізмів (МО) встановлено, що основними видами МО є Sporocytophaga myxococcoides, Sorangium cellulosum, Cellvibrio mixtusgenomic, Trichoderma viride, а також супутні їм гетеротрофні бактерії Pseudomonas fluorescens, Bacillus megaterium. Сорбційна здатність носія відносно мікробної культури дуже важлива при створені біосорбційного комплексу та визначається адсорбційною взаємодією між біоносієм та біокультурою. Одним з важливих параметрів процесу іммобілізації, що характеризує можливість функціонуванню іммобілізованих клітин в умовах підвищеної гідродинамічної дії, є міцність їх утримання на поверхні носія. Констатовано, що на рослинному сорбенті більше 70% клітин мікроорганізмів знаходилися в іммобілізованому стані на поверхні носія.

Проведені дослідження фізико-хімічних, сорбційних та детоксикувальних (щодо пестицидів) властивостей біологічно модифікованих сорбентів на основі рослинних матеріалів. Біосорбційний комплекс ефективний як детоксикант пестицидів повинен мати сорбційну активність до забруднювача і мікроорганізмів, адаптованих до цього забруднювача. Композит складу: солома пшениці – торф – багаса цукрової тростини, має задовільну поглинальну здатність до пестицидів (табл. 1).

Такий композит з рослинної сировини є біосумісним. Біомаса наносилася на рослинний матеріал при такому співвідношенні компонентів, мас.%:

композиція рослинних речовин	90–95;
мікробна складова	5–10.

Як показали дослідження, доповнення системи мінеральними поживними речовинами (азот – 1,5–2,0 г/кг композиту; фосфор – 1,5–2,0 г/кг композиту; калій – 2,0–3,5 г/кг композиту) підвищує деструктивну активність композиту. Іммобілізовані клітини мікроорганізмів-деструкторів на композиті – носії мають клітинні титри в межах від 10^4 до 10^7 кл/г.

Дослідження процесу деструкції пестицидів вивчались на забруднених ґрунтах та у водному середовищі при внесені мікроорганізмів-деструкторів у вигляді культуральній рідини та іммобілізованих на сорбційному композиті. Об'єктом дослідження були отриманні нами біоактивні композиційні сорбенти, виготовлені із перерахованих вище складових в різних пропорціях та згідно технологічнмх прийо-

Таблиця 1

Структурно-сорбційні характеристики сорбційної матриці для іммобілізації мікроорганізмів-деструкторів пестицидів

Найменування показника	Носій на основі рослинної сировини			
	солома пшениці	торф	багаса	Сорбційний композит
Гідрофільність, %	35–40	15–30	35–45	26–31
Гідрофобність, %	60–70	70–80	55–70	59–81
Поглинання пестициду, мг/г	0,08–0,13	0,09–0,12	0,2–0,6	0,15–0,18
Сорбційна обмінна ємність, мг-екв/г	3,1–4,6	2,8–3,0	3,2–4,2	2,2–3,2
Питома поверхня, $м^2/г$	50–55	60–70	50–60	43–54
Об'єм пор по воді, $см^3/г$	0,05–0,06	0,06–0,09	0,05–0,08	0,02–0,03
Об'єм пор по бензолу, $см^3/г$	0,07–0,09	0,08–0,12	0,06–0,09	0,03–0,05

мів обробки. Відомо, що пестициди розкладаються гетеротрофними мікроорганізмами в процесі їх життєдіяльності. Для цього їм необхідний енергетичний матеріал і основні джерела живлення у вигляді органічних і мінеральних сполук, а також відповідні фізико-хімічні умови середовища. У структурі вуглецевого живлення гетеротрофних мікроорганізмів, що входять до складу консорціуму, основне місце займають цукри – продукти гідролізу соломи, що сприяє збільшенню чисельності мікроорганізмів, що використовують ці речовини в якості косубстрата для деструкції пестициду. Крім того солома пшениці запропонована нами у своєму складі містить фермент- жовту лакказу, який посилює ефективність біодеструкції пестициду. Поряд зі змінами видового різноманіття мікроорганізмів, зазначеними при внесенні соломи і біологічно активного торфу, спостерігається збільшення на 3 порядки титру мікроорганізмів, що володіють здатністю до деструкції пестициду.

Проведені дослідження підтвердили ефективність використання біосорбційних композитів для очищення середовищ від агрохімікатів (пестицидів). Внесення такого біососорбційного детоксиканту прискорює процес розпаду пестицидів в рідкому середовищі (табл. 2) в 7 разів, в чорноземному грунті в 5–6 разів (табл. 3). Дослідження (лабораторні, вегетаційні) проводили на пестицидах, що використовуються в Україні. А саме **Бетанес** (гербіцид), **Карібу** (високоефективний післясходовий гербіцид).

Одержаний біосорбційний композит гранулювали. Гранулювання поліпшує рівномірну дію складових біосорбційного матеріалу та деструктивну активність мікробіологічної компоненти, покращуються фізичні і механічні властивості матеріалу. Гранульовані матеріали не порошать при внесенні до грунту, знижуються втрати при транспортуванні, зберіганні. і внесенні, менш схильні до злежування при зберіганні. Отримані композиційні сорбенти представляли собою гранули сферичної форми сірого кольору.

Головні висновки. Обгрунтовано перспективність застосування біоактивованих сорбційних композитів на основі рослинної сировини. Гранульований біосорбційний композит-детоксикант комплексної дії ефективний для знешкодження в грунтах пестицидів з високим рівнем перисцентності. Біосорбційні композити на основі рослинних матеріалів екологічні та ефективні для детоксикації пестицидів різного хімічного складу. Природна мікрофлора адаптована до кліматичних умов, є стабільною та володіє синергізмом. Повернення мікробного комплексу в природне середовище надає йому селективні переваги. Іммобілізація мікроорганізмів-деструкторів на поверхні сорбційної матриці підсилює деструктивну дію мікроорганізмів та стійкість їх деструктивної здатності.

Гранулювання забезпечує отримання якісного однорідного (гомогенного) і очищенного від включень матеріалу та технологічність при застосуванні препарату. Вихідний матеріал набуває необхідні параметри твердості, термостійкі і ін. Такий біосорбційний композит конкурентно здатний в природних умовах.

Таблиця 2

Деструктивна активність біосорбційного композиту та мікроорганізмів-деструкторів у вільному стані відносно пестицидів (концентрація пестициду – мг/л) у водному середовищі

Час від початку обробки	Мікроорганізми-деструктори у вільному стані		Біосорбційний композит	
	Бетанес	Карібу	Бетанес	Карібу
Контроль	50	30	50	30
Через 10 днів	42	26	37	22
Через 20 днів	38	21	35	18
Через 30 днів	36	19	31	13
Через 40 днів	38	18	22	8
Через 50 днів	34	17	22	4
Через 60 днів	32	16	17	3
Через 80 днів	31	15	11	1,5
Через 100 днів	23	15	3.9	0,8
Через 120 днів	17	13	0,7	0,3

Таблиця 3

Розкладання пестицидів (Бетанес, Карібу) у грунтах під дією біосорбційного композиту (% від вихідної концентрації)

Проба	Бетанес		Карібу	
	Через 10 діб	Через 60 діб	Через 10 діб	Через 60 діб
Контроль	0	0	0	0
Чорнозем	10	69	16	79
Глинистий грунт	24	66	15	61
Супіщаний грунт	36	84	14	57
Підзолистий грунт	44	53	13	79

Література

1. Мірошниченко А. М. Земельне право України: підруч. / А. М. Мірошниченко. [2-ге вид., допов. і перероб.]. К. : Алерта; ЦУЛ. 2011. 678 с.
2. С. М. Сухарев, С. Ю. Чундак, О. Ю. Сухарева. Технологія та охорона навколишнього середовища. Львів : Новий Світ. 2007. 254 с.
3. О. В.Тертична, І.М. Городиська. Оцінка впливу забруднення стійкими пестицидами на формування мікробіоценозу ґрунту. *Науковий вісник Національного аграрного університету.* Київ. 2006. Вип. 100. С. 281–287.

4. Беляев Е. Ю., Беляева Л. Е. Использование растительного сырья в решении проблем защиты окружающей среды. *Химия в интересах устойчивого развития*. 2000. 8. С. 763–772.
5. Морозов, Н.В. Органические субстраты растительного происхождения и их использование для биостимуляции процессов микробиальной очистки. Н.В. *Вестник 111 НУ*. 2010. 4. С. 82–86.
6. Mohan, D., Sarswat, A., Ok, Y. S., and Pittman, C.U. 2014. Organic and Inorganic Contaminants Removal from Water with Biochar, a Renewable, Low Cost and Sustainable Adsorbent-A Critical Review. *Bioresource Technology.* 160. P. 191–202, doi.org/10.1016/j.biortech.2014.01.12010.1186/s40064-016-2932
7. Wyszkowska J. 2002.Microbiological properties of soil contaminated with the herbicide Treflan 480 EC. *Polish J. Natur. Sei.* 10(1). P. 71–77.
8. D. P. Oliver, R. S. Kookana, R. Salama [et al.]. 2003. Land use effects on sorption of pesticides and their metabolites in sandynsoils. Atrazine and two metabolites, deethylatrazine and deisopropylatrazine, and prometryne. *Australian J. of Soil Research*. 41(5). P. 861–874.
9. Ampoorter E, De Schrijver A, De Frenne P, Hermy M, Verheyen K. 2011. Experimental assessment of ecological restoration options for compacted forest soils. *Ecol En.* 37.11. P. 1734–1746.
10. Barrios E. 2007. Soil biota, ecosystem services and land productivity. *Ecol Econ.* 64. 2. P. 269–285.
11. Baumann K, Dignac MF, Rumpel C, Bardoux G, Sarr A, Steffens M, Maron P.A. 2013. Soil microbial diversity affects soil or-ganic matter decomposition in a silty grassland soil. *Biogeochemistry* 114. (1–3). P. 201–212.
12. Beketov MA, Kefford BJ, Schäfer RB, Liess M. 2013. Pesticides reduce regional biodiversity of stream invertebrates. *Proc Natl Acad Sci* .110(27). P. 11039–11043.