



Р. М. Гречаник¹, М. С. Мальований², І. С. Тимчук², У. З. Сторощук²

¹ Департамент екології та природних ресурсів Львівської ОДА, м. Львів, Україна

² Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів, Україна

ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ І КАПСУЛЬОВАНИХ ПЕТ НА АГРОЕКОСИСТЕМИ БІОЛОГІЧНОЇ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ПОРУШЕНИХ ЗЕМЕЛЬ

Оцінено вплив мінеральних добрив, капсульованих відходами поліетиленгерафталату (ПЕТ), на агроєкосистеми біологічної рекультивациі порушених земель. Встановлено, що для цілей біологічної рекультивациі можуть бути використані ефективні мінеральні добрива, які забезпечують збалансоване і постійне впродовж вегетаційного періоду живлення рослин – капсульовані добрива. Перспективним методом капсулювання є використання для створення капсули модифікованого ПЕТ. Досліджено вплив добрив, капсульованих модифікованим ПЕТ, на зміну рН ґрунту, вмісту елементів живлення в ґрунті та активність мікроорганізмів ґрунту в системі "ґрунт – добриво – рослина". Як базове добриво використано нітроаммофоску NPK 16:16:16. Дослідження виконано на темно-сірому опідзоленому глеюватому легкосуглинковому ґрунті. Досліджено 3 варіанти: контроль, гранульоване та капсульоване добриво. Проаналізувавши загальну зміну кислотності ґрунту у системі "ґрунт – добриво – рослина", з'ясовано, що на початкових етапах після внесення добрив капсульоване добриво створює слабший вплив на зміну кислотності ґрунту порівняно із гранульованим, а отже, не так агресивно впливає на ґрунтову мікрофлору та рослинний покрив. Дослідженнями щодо вивільнення основних елементів живлення з добрив встановлено, що у варіантах із капсульованими добривами на 60-ту добу досліду P₂O₅ вивільнилося на 10 мг/кг ґрунту більше; K₂O – на 13 мг/кг ґрунту більше; кількість NO₂ – на 11,2 мг/кг ґрунту більше, ніж у гранульованому добриві. Це пояснюють тим, що на початкових етапах гранульоване добриво швидше розчинялося і вивільняло велику кількість поживних елементів, які не змогли повною мірою засвоїтися рослинами. Надмірна їх кількість виводилась системою поливу за межі кореневої системи рослин. У капсульованих добривах процес вивільнення тривав повільніше, що забезпечило ефективніше засвоєння елементів живлення, із меншим негативним впливом на довкілля. За результатами дослідження впливу добрив на мікробіологічну активність ґрунту встановлено, що підвищена норма внесення капсульованих мінеральних добрив, яка становила у перерахунку 1000 кг/га, не завдала шкоди загальній та азотфіксувальній мікрофлорі ґрунту та позитивно вплинула на кількість мікроорганізмів. Динаміка часової зміни логарифму чисельності азотфіксувальної мікрофлори ґрунту в системі "ґрунт – добриво – рослина" у всіх варіантах описується однотипною залежністю, хоча найвищий приріст азотфіксувальної мікрофлори виявлено у разі застосування капсульованих добрив.

Ключові слова: капсульоване добриво; біологічна рекультивациія; елементи живлення; кислотність ґрунту; мікрофлора.

Вступ / Introduction

Біологічна рекультивациія є обов'язковою операцією відновлення порушених земель (зокрема звалищ і полігонів твердих побутових відходів) і проводиться після закінчення технічної рекультивациії. Згідно з [1], етап біологічної рекультивациії триває чотири роки й охоплює такі роботи: добір асортименту багаторічних трав, підготування ґрунту, сівбу і догляд за посівами. Родючі землі для створення рекультивациійного шару завозять автотранспортом на закриті полігони ТПВ з місць тимчасового складування ґрунту або інших можливих

місць їхнього утворення. Перспективним є використання замість родючих земель субстратів, синтезованих із використанням органічних відходів, природних сорбентів тощо [11]. Необхідною умовою є гарантоване засвоєння нових площ культурами, які використовуються для рекультивациії, за допомогою ефективних мінеральних добрив, які забезпечують збалансоване і постійне впродовж вегетаційного періоду живлення рослин. На нашу думку, ця ціль може бути забезпечена використанням капсульованих мінеральних добрив, швидкість вивільнення із яких елементів живлення є регу-

Інформація про авторів:

Гречаник Руслан Мар'янович, канд. с.-г. наук, директор. Email: rugrech@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-8830-361X>

Мальований Мирослав Степанович, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри екології та збалансованого природокористування. Email: mmal@lp.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0002-3868-1070>

Тимчук Іван Степанович, канд. с.-г. наук, доцент, кафедра екології та збалансованого природокористування. Email: i.s.tymchuk@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-9344-3035>

Сторощук Уляна Зіновівна, аспірант, кафедра екології та збалансованого природокористування. Email: uliana.z.storoshchuk@lpnu.ua; <https://orcid.org/0000-0001-7417-0588>

Цитування за ДСТУ: Гречаник Р. М., Мальований М. С., Тимчук І. С., Сторощук У. З. Оцінювання впливу мінеральних добрив і капсульованих пет на агроєкосистеми біологічної рекультивациії порушених земель. Науковий вісник НЛТУ України. 2022, т. 32, № 2. С. 40–44.

Citation APA: Grechanik, R. M., Malovanyy, M. S., Tymchuk, I. S., & Storoshchuk, U. Z. (2022). Evaluation of the effect of mineral fertilizers, encapsulated pet, on agroecosystems of biological reclamation of disturbed land. *Scientific Bulletin of UNFU*, 32(2), 40–44. <https://doi.org/10.36930/40320206>

льованою [9]. У разі їх використання в технології біологічної рекультиваци зменшуються втрати розчинних елементів живлення рослин в навколишнє середовище, підвищується ефективність їх засвоєння рослинами, збільшується термін дії добрив, а отже – кількість операцій внесення буде мінімізована. Перспективним методом капсулювання є використання для створення капсули модифікованого поліетилентерефталату (ПЕТ) [6].

Саме тому завданням цих досліджень є оцінювання впливу мінеральних добрив, капсульованих ПЕТ, на агрокосистеми біологічної рекультиваци порушених земель. Зокрема, досліджували вплив таких добрив на зміну рН ґрунту, вмісту елементів живлення в ґрунті та активність мікроорганізмів ґрунту.

Об'єкт дослідження – процес біологічної рекультиваци порушених земель.

Предмет дослідження – вплив мінеральних добрив, капсульованих ПЕТ, на агроекотичні характеристики рекультивацийного шару.

Мета роботи – дослідити вплив добрив, капсульованих модифікованим ПЕТ, на зміну рН ґрунту, вмісту елементів живлення в ґрунті та активність мікроорганізмів ґрунту.

Для досягнення зазначеної мети визначено такі *основні завдання дослідження*: дослідити вплив капсульованих мінеральних добрив (порівняно із гранульованими) на зміну рН ґрунту в процесі вегетації, встановити динаміку вивільнення елементів живлення із капсульованих мінеральних добрив, встановити вплив на мікрофлору ґрунту гранульованих і капсульованих мінеральних добрив.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. На сучасному етапі дедалі актуальнішою стає проблема синтезу мінеральних добрив, швидкість вивільнення із яких елементів живлення була б регульованою. У цьому разі зменшуються втрати розчинних елементів живлення рослин в навколишнє середовище, підвищується ефективність їх засвоєння рослинами, збільшується термін дії добрив, а отже – кількість агротехнічних операцій внесення буде мінімізована. Це важливо для агротехнологій вирощування сільськогосподарських культур, але особливо актуально для технологій біологічної рекультиваци. Адже саме для біологічної рекультиваци важливим є гарантоване засвоєння нових площ культур, які використовуються для рекультиваци, максимально можлива ефективність використання добрив, мінімальна кількість операцій їх внесення.

Важливим аспектом є підвищення ефективності використання добрив, а отже, і зменшення забруднення навколишнього середовища незасвоєними елементами живлення. Кореневою системою сільськогосподарських культур засвоюється тільки частина добрив, у таких межах: азотних сполук – 50-60 %; калійних – 50-60 %; фосфорних – 10-25 % [4]. Більшість мінеральних добрив є солями, які в період значної кількості опадів швидко розчиняються у воді, мають властивість до міграції у ґрунті, особливо під час їх внесення та у вегетаційному періоді [9]. Забруднення навколишнього середовища відбувається внаслідок розчинених добрив, які вимиваються із ґрунтового середовища під час атмосферних опадів. Збільшується концентрація нітратів у поверхневих і ґрунтових водах, підвищується процес евтрофікації водойм, який зумовлює цвітіння води.

Перспективним методом вивільнення у ґрунтовий розчин із частинки добрива елементів живлення є покриття частинок мінерального добрива капсулами (капсульовані мінеральні добрива). Капсули, які покривають гранули добрива, проникні для водних розчинів та води. Вони пролонгують вивільнення елементів живлення в ґрунтового середовище [8]. Це сповільнення визначається переважно товщиною та складом капсули. У разі, коли капсули непроникні, але здатні до біорозкладу в ґрунтовому середовищі, вміст гранули вивільняється у ґрунтового середовище в міру цього біорозкладу. Для цього варіанта вивільнення регулюється не інтенсивністю розчинення гранули мінерального добрива, а початком біорозкладу капсули [4].

Перспективним способом підвищення доступності капсульованих мінеральних добрив для застосування їх у масовому сільськогосподарському виробництві є використання полімерних відходів та вдосконалення технології нанесення покриття [9]. Полімерні відходи промислового походження переробляються, зазвичай, безпосередньо на підприємствах. Водночас, побутові полімерні відходи практично повністю потрапляють на полігони ТПВ. Використання як матеріалу капсули в процесах капсулювання мінеральних добрив полімерних відходів дасть змогу, з одного боку, забезпечити конкурентну ціну та ширше застосування капсульованих добрив, а з іншого боку, дасть змогу вирішити проблему утилізації пластмасових відходів, неконтрольоване накопичення яких у навколишньому середовищі створює істотну екологічну небезпеку [7].

Як перспективний полімерний відхід було [5] досліджено модифікований поліетилтерефталат (ПЕТ). Перспективність використання для рекультиваци добрив, капсульованих ПЕТ, визначається такими аспектами:

- забезпечувати відповідну інтенсивність вивільнення компонентів мінерального живлення;
- бути безпечними для довкілля – після вивільнення компонентів добрива матеріал оболонки для уникнення забруднення ґрунтового середовища полімерами повинен бути певною мірою знешкодженим.
- повинні мати організовану систему збирання для забезпечення безперервності запасів сировини для виробництва капсульованих добрив.

Оптимальним є використання модифікованих відходів ПЕТ із покращеною розчинністю, що відіграє вирішальну роль у процесі створення плівкотвірної композиції та нанесення покриття на гранули мінеральних добрив. Для капсулювання застосовано відомий спосіб модифікування, який полягає у здійсненні реакції алкоглізу ПЕТ із використанням диетиленгліколю [3].

Матеріали та методи дослідження. Дослідження впливу мінеральних добрив, капсульованих ПЕТ, на агроекотичні характеристики рекультивацийного шару виконували на темно-сірому опідзоленому глеюватому легкосуглинковому ґрунті. Для досліджень використовували гранульовану нітроамофоску NPK 16:16:16 та нітроамофоску, капсульовану модифікованим ПЕТ із покриттям, маса якого становила 10 % від маси добрив.

Дослідження щодо вивчення зміни рН ґрунту залежно від застосування різних видів добрив виконано для системи "ґрунт – добриво – рослина". Визначення рН ґрунтового розчину виконано згідно з [2]. Як рослину, яка набуває застосування в технологіях біологічної рекультиваци, використали райграс пасовищний (пажитниця багаторічна) *Lolium perenne*.

Для визначення чисельності мікроорганізмів у ґрунті застосовували метод висівання ґрунтових суспензій на агаризовані поживні середовища. Для цього 1 г ґрунту вносили у колбу зі 100 мл стерильної водопровідної води, колбу збовтували впродовж 10 хв. Після осадження частинок ґрунту (через 30 с) 1 мл суспензії перенесли в пробірку з 9 мл стерильної водопровідної води. Вміст ретельно перемішували, 1 мл суспензії перенесли у другу пробірку з 9 мл стерильної води і так до отримання потрібної концентрації. Потім 0,1 мл водної суспензії з кожної пробірки наносили на поверхню чашки Петрі з поживним середовищем і добре розтирали шпателем. Чашки Петрі перенесли у термостат за температури 30 °С на 7 діб. Після цього підраховували кількість колоній із врахуванням розведення. Для визначення чисельності загальної мікрофлори використовували поживний агар, а для азотфіксувальної мікрофлори – агаризоване середовище Ешбі такого складу (г/л): маніт – 20; K_2HPO_4 – 0,2; $MgSO_4 \times 7H_2O$ – 0,2; $NaCl$ – 0,2; K_2SO_4 – 0,1; $CaCO_3$ – 5; агар – 20.

Результати дослідження та їх обговорення / Research results and their discussion

Результати досліджень впливу внесення різних видів добрив на рН ґрунту наведено на рис. 1.

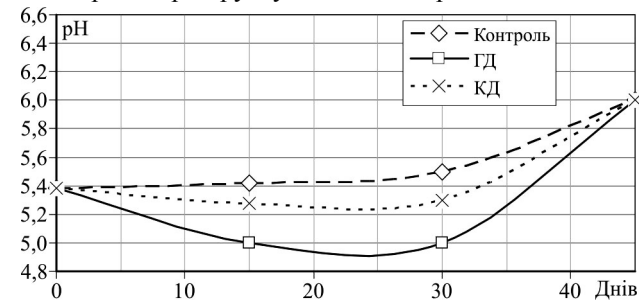


Рис. 1. Зміна рН ґрунту в системі "ґрунт – добриво – рослина" під впливом гранульованих і капсульованих мінеральних добрив / Change of soil pH in the system "soil – fertilizer – plant" under the influence of granulated and encapsulated mineral fertilizers

За результатами досліджень встановлено, що у разі використання добрив рН ґрунту знижується, що пов'язується із вивільненням елементів живлення із добрив. Проте для гранульованого добрива через "залпове" розчинення гранули зниження рН більше і динаміка його зміни більш різка. Для капсульованого добрива, в якому елементи живлення вивільняються пролонговано, це зниження рН не таке значуще. У варіантах з капсульованим добривом зміна була меншою на 0,1-0,2 порівняно із гранульованим мінеральним добривом. На 45-ту добу дослідження рН ґрунту у всіх варіантах вирівнявся внаслідок життєдіяльності рослин.

Отже, проаналізувавши загальну зміну кислотності ґрунту у системі "ґрунт – добриво – рослина", з'ясовано, що на початкових етапах після внесення добрив капсульоване добриво створює слабший вплив на зміну кислотності ґрунту порівняно із гранульованим, а отже, не так агресивно впливає на ґрунтову мікрофлору та рослинний покрив.

Для росту і розвитку рослини рекультивацийного шару важливе значення має своєчасне забезпечення їх елементами живлення. Адже надмірна кількість елементів живлення може призвести до токсикації рослини, а недостатня їх кількість призведе до сповільнення

росту й розвитку рослини. Ми виконали дослідження вивільнення основних елементів живлення з добрив, таких як P_2O_5 , K_2O , NO_2 у системі "ґрунт – добриво – рослина". Результати досліджень наведено в табл. 1.

Табл. 1. Вивільнення елементів живлення у системі "ґрунт – добриво – рослина", мг/кг ґрунту / Release of nutrients in the system "soil – fertilizer – plant", mg/kg soil I

Варіант досліджу	P_2O_5			K_2O			NO_2		
	0 діб	30 діб	60 діб	0 діб	30 діб	60 діб	0 діб	30 діб	60 діб
Контроль		154	128		51	40		134	113,2
ГД	144	244	153	55	132	52	123	143	117,6
КД		227	163		96	65		140	128,8

На початкових етапах дослідження просте гранульоване добриво вивільняє більшу кількість елементів живлення. Так, у варіанті з гранульованим добривом на 30-ту добу досліджу P_2O_5 вивільнилося на 17 мг/кг ґрунту більше, ніж із капсульованого добрива; K_2O – на 36 мг/кг ґрунту більше, ніж із капсульованого добрива; вивільнена кількість NO_2 із гранульованого добрива була на 3 мг/кг ґрунту більша, ніж із капсульованого.

Після 60-ти діб кількість вивільнених елементів живлення значно змінилася у варіантах застосування капсульованого добрива і була більшою, ніж у простому гранульованому добриві. У варіанті з капсульованим добривом на 60-ту добу досліджу P_2O_5 вивільнилося на 10 мг/кг ґрунту більше; K_2O – на 13 мг/кг ґрунту більше; кількість NO_2 – на 11,2 мг/кг ґрунту більше, ніж у гранульованому добриві. Це пояснюють тим, що на початкових етапах гранульоване добриво швидше розчинялося і вивільняло велику кількість поживних елементів, які не змогли повною мірою засвоїтися рослинами. Надмірна їх кількість вивелася системою поливу за межі кореневої системи рослин. А в капсульованому добриві процес вивільнення тривав повільніше, що забезпечило краще засвоєння елементів живлення.

Ми дослідили динаміку зміни кількості мікрофлори ґрунту під впливом гранульованих і капсульованих мінеральних добрив для перевірки гіпотези про те, що добрива не чинять шкідливого впливу на мікрофлору ґрунту. Вивчали вплив добрив на мікроорганізми у системі "ґрунт – добриво – рослина". У дослідженнях відтворювали режими розпушування та поливу рослин, що практикують в тепличних умовах. Температурний режим був на рівні 15-18 °С. Було відібрано досліджуванний ґрунт у горщики для внесення 2 видів добрив нормою у перерахунку 1000 кг/га і насіння райграсу пасовищного.

Результати досліджень наведено на рис. 2 і 3 та у табл. 2. За результатами, наведеними в табл. 2, будували логарифмічні залежності кількості загальної та азотфіксувальної мікрофлори від тривалості досліджень (див. рис. 2 і рис. 3).

Табл. 2. Зміна чисельності мікроорганізмів у системі "ґрунт – добриво – рослина", КУО/1 г ґрунту / Change in the number of microorganisms in the system "soil – fertilizer – plant", CFU/1 g soil

Варіант досліджу	Загальна кількість мікрофлори			Азотфіксувальна мікрофлора		
	0 діб	30 діб	60 діб	0 діб	30 діб	60 діб
Контроль (без добрив)	3×10^8	7×10^7	5×10^6	2×10^5	2×10^6	3×10^5
ГД		2×10^7	9×10^6		5×10^6	2×10^5
КД		2×10^7	8×10^7		8×10^6	5×10^5

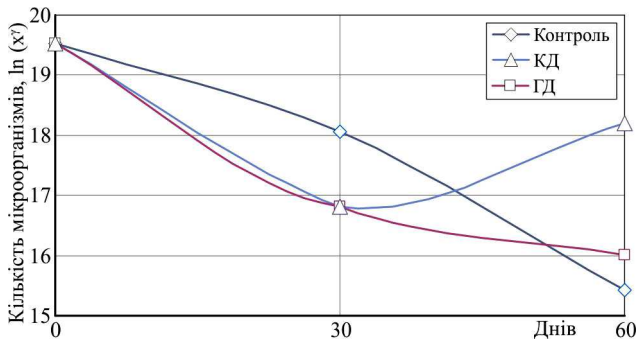


Рис. 2. Логарифмічна залежність зміни загальної чисельності мікрофлори ґрунту в системі "ґрунт – добриво – рослина" / Logarithmic dependence of the change in the total number of soil microflora in the system "soil – fertilizer – plant"

Отримані результати свідчать про те, що на початковому етапі дослідження в усіх варіантах відбулося зменшення загальної чисельності мікрофлори ґрунту. На 60-ту добу дослідження чисельність загальної мікрофлори ґрунту в контролі й у варіанті з гранульованим добривом зменшились до 5×10^6 і 9×10^6 КУО/1 г ґрунту. На варіантах з капсульованим добривом вона збільшилася і становила 8×10^7 КУО/1 г ґрунту. Отже, дослідження показало, що найкраще проявило себе застосування капсульованого добрива, яке забезпечило найбільше зростання загальної чисельності мікрофлори ґрунту в системі "ґрунт – добриво – рослина".

Логарифмічну залежність зміни чисельності азотфіксуючої мікрофлори ґрунту в системі "ґрунт – добриво – рослина" від тривалості досліджень зображено на рис. 3.

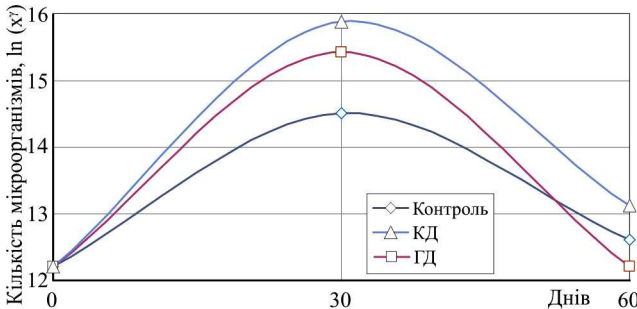


Рис. 3. Логарифмічна залежність зміни чисельності азотфіксуючої мікрофлори ґрунту в системі "ґрунт – добриво – рослина" / Logarithmic dependence of the change in the number of nitrogen-fixing soil microflora in the system "soil – fertilizer – plant"

З врахуванням на зазначене вище, встановлено, що динаміка часової зміни логарифму чисельності азотфіксуючої мікрофлори ґрунту в системі "ґрунт – добриво – рослина" у всіх варіантах описується однотипною залежністю, хоча найвищий приріст азотфіксуючої мікрофлори спостерігається у разі застосування капсульованих добрив.

Отже, внаслідок проведеного дослідження отримано такі *основні результати*: досліджено вплив добрив, капсульованих модифікованим ПЕТ, на зміну рН ґрунту, вмісту елементів живлення в ґрунті та активність мікроорганізмів ґрунту.

Наукова новизна отриманих результатів дослідження – вперше досліджено вплив капсульованих мінеральних добрив на зміну рН ґрунту, вивільнення елементів живлення та розвиток мікрофлори ґрунту в системі "ґрунт – добриво – рослина", де як рослина використано райграс пасовищний (пажитниця багаторіч-

на) – одна із поширених культур біологічної рекультиваци порушених земель.

Практична значущість результатів дослідження – отримано результати, які засвідчують перспективність використання капсульованих мінеральних добрив у технологіях біологічної рекультиваци: порівняно із гранульованими добривами зменшується вплив залпового розчинення елементів живлення рослин на рН ґрунту, досягається пролонгованість вивільнення елементів живлення із добрив, зменшується негативний вплив добрив на розвиток мікробіоти ґрунту.

Висновки / Conclusions

Дослідженнями зміни кислотності ґрунту у системі "ґрунт – добриво – рослина" встановлено, що на початкових етапах дослідження капсульоване добриво має слабший вплив на зміну кислотності ґрунту порівняно із гранульованим, а отже, не так агресивно впливає на мікрофлору ґрунту і рослинний покрив, з часом цей вплив нівелюється.

Дослідженнями з вивільнення основних елементів живлення з добрив встановлено, що у варіантах з капсульованими добривами на 60-ту добу дослідження P_2O_5 вивільнилося на 10 мг/кг ґрунту більше; K_2O – на 13 мг/кг ґрунту більше; кількість NO_2 – на 11,2 мг/кг ґрунту більше, ніж у гранульованому добриві. Це пояснюють тим, що на початкових етапах гранульоване добриво швидше розчинялося і вивільняло велику кількість поживних елементів, які не змогли повною мірою засвоїтися рослинами. Надмірна їх кількість виводилась системою поливу за межі кореневої системи рослин. У капсульованих добривах процес вивільнення тривав повільніше, що забезпечило ефективніше засвоєння елементів живлення, з меншим негативним впливом на довкілля.

Дослідженнями впливу добрив на мікробіологічну активність ґрунту встановлено, що підвищена норма внесення капсульованих мінеральних добрив, яка становила у перерахунку 1000 кг/га, не завдала шкоди загальній та азотфіксуючій мікрофлорі ґрунту та позитивно вплинула на кількість мікроорганізмів. динаміка часової зміни логарифму чисельності азотфіксуючої мікрофлори ґрунту в системі "ґрунт – добриво – рослина" у всіх варіантах описується однотипною залежністю, хоча найвищий приріст азотфіксуючої мікрофлори спостерігається у разі застосування капсульованих добрив.

References

1. DBN V.2.4-2-2005. (2005). Polihony tverdykh pobutovykh vidkhodiv. Osnovni polozhennia proektuvannia. [In Ukrainian].
2. DSTU ISO 10390-2001. (2001). Iakist runtu. Viznachannia pH. [In Ukrainian].
3. Gak, V. S., & Kuduykov, Yu. P. (2005). Izuchenie protsessa pere-eterifikatsii polietilentereftalata dietilenglikolem. *Voprosy himii i himicheskoy tehnologii*, 6, 133–135. [In Russian].
4. Kazumi, Hiraga, Ikuo, Taniguchi, Shousuke, Yoshida, Yoshiharu, Kimura, & Kohei, Oda_ (2019). Biodegradation of waste PET EMBO Rep (2019)20. <https://doi.org/10.15252/embr.201949365>
5. Malovanyy, M. S., Synelnikov, S. D., Nagurskiy, O. A., Soloviy, K. M., & Tymchuk, I. S. (2020). Utilization of sorted secondary PET waste – raw materials in the context of sustainable development of the modern city. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 907 (2020) IOP Publishing, 1–5. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/907/1/012067>

6. Nagursky, O., Malovanyy, M., Sinelnikov, S., Tymchuk, I., & Krylova, G. (2020). Studying the properties of granulated ANP fertilizer encapsulated with PET-based shell. *Environmental problems*, 5(1), 35–38. <https://doi.org/10.23939/ep2020.01.035>
7. Nagursky, O., Krylova, H., Vasiichuk, V., Kachan, S., Dziurakh, Yu., Nahursky, A., & Paraniak, N. (2022). Safety Usage of Encapsulated Mineral Fertilizers Based on Polymeric Waste. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 23(1), 156–161. <https://doi.org/10.12912/27197050/143139>
8. Rusyn, I., Malovanyy, M., Tymchuk, I., & Synelnikov, S. (2020). Effect of mineral fertilizers encapsulated with zeolite and polyethylene terephthalate on the soil microbiota, pH and plant germination. *Ecological Questions*, 32(1), 1–12. <https://doi.org/10.12775/EQ.2021.007>
9. Synelnikov, S., Malovanyy, M., Nahursky, O., Luchyt, L., Petrushka, K., Tymchuk, I., & Stokalyuk, O. (2020). Theoretical and practical aspects of the efficiency of application of mineral fertilizers encapsulated with polyethylene terephthalate. *Environmental problems*, 5(2), 95–101. <https://doi.org/10.23939/ep2020.02.095>
10. Synelnikov, S., Soloviy, K., Malovanyy, M., Tymchuk, I., & Nahursky, O. (2019). Improvement of environmental safety of agricultural systems as a result of encapsulated mineral fertilizers implementation. *Environmental problems*, 4(4), 222–228. <https://doi.org/10.23939/ep2019.04.222>
11. Tymchuk, I., Malovanyy, M., Shkviirko, O., & Yatsukh, K. (2021). Sewage Sludge as a Component to Create a Substrate for Biological Reclamation. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 22(4), 229–237. <https://doi.org/10.12912/27197050/137863>
12. Tymchuk, I., Malovanyy, M., Shkviirko, O., Zhuk, V., Masikeyvych, A., & Synelnikov, S. (2020). Innovative creation technologies for the growth substrate based on the man-made waste – perspective way for Ukraine to ensure biological reclamation of waste dumps and quarries. *International Journal of Foresight and Innovation Policy*, 14(2/3/4), 248–263. <https://doi.org/10.1504/IJFIP.2020.111239>
13. Zaharenko, V. A. (2000). Mirovyie tendentsii proizvodstva i ispolzovaniya mineralnykh udobreniy. *Agrohimiya*, 5, 14–15. [In Russian].

R. M. Grechanik¹, M. S. Malovanyy², I. S. Tymchuk², U. Z. Storoshchuk²

¹ Department of Ecology and Natural Resources of Lviv Regional State Administration, Lviv, Ukraine

² Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

EVALUATION OF THE EFFECT OF MINERAL FERTILIZERS, ENCAPSULATED PET, ON AGROECOSYSTEMS OF BIOLOGICAL RECLAMATION OF DISTURBED LAND

The paper presents the research of the effect of mineral fertilizers of different types both granular and encapsulated on agroecosystems created within the technologies of biological reclamation of disturbed land. Based on the analysis of the impact of mineral fertilizers on agroecosystems, the prospects for using encapsulated fertilizers were demonstrated. The use of this type of fertilizers can reduce the loss of soluble plant nutrients in the environment, increase the efficiency of plant uptake, and extend the shelf life of fertilizers. The number of fertilizing operations is also minimized. Consequently, we propose to use a modified PET to produce a capsule. Modifications were made to increase plastic solubility in organic solvents. Therefore, diethylene glycol was used as a reagent. Research on the effect of fertilizers on the change of soil pH confirmed the positive impact of consular fertilizers compared to granular ones. The following three variants were studied: control, granular and encapsulated fertilizer. The research was carried out in the system "soil – fertilizer – plant" where nitroammophoska was used as granular fertilizer and base fertilizer for granulation, and also perennial ryegrass (ryegrass, winter ryegrass, or ray grass) *Lolium perenne* was applied as a typical plant for reclamation technologies. The analysis of the system pH change dynamics showed that encapsulated fertilizer has had a lower impact on soil pH than granulated fertilizer. This is due to the "volley" release of nutrients from the granular fertilizer during dissolution. Research of the release of nutrients from both types of fertilizer has confirmed more extended action of the encapsulated fertilizer. The increased rate of encapsulated fertilizer is revealed not to inhibit the microbiological activity of the soil and have a positive effect on the total amount of microflora. This was confirmed by the logarithmic dependence of the change in the total number of microorganisms in the soil with different types of fertilizers. A higher increase in nitrogen-fixing microflora was observed in encapsulated fertilizers than in granular ones.

Keywords: encapsulated fertilizer; bioremediation; batteries; soil acidity; microflora.