

УДК 631.86/87:631.95

© 2021

## ЗАСТОСУВАННЯ ДОБРИВ НА ОСНОВІ ОСАДІВ СТІЧНИХ ВОД ДЛЯ ДОДАТКОВОГО ФОСФОРНОГО ЖИВЛЕННЯ РОСЛИН

В.І. Крутякова<sup>1</sup>, О.М. Нікіпелова<sup>2</sup>, Н.В. Пиляк<sup>3</sup>

<sup>1</sup>кандидат економічних наук

<sup>2</sup>доктор хімічних наук, професор

Інженерно-технологічний інститут «Біотехніка» НААН

вул. Маяцька дорога, 26, смт Хлібодарське Біляївського р-ну Одеської обл., 67667, Україна

e-mail: <sup>1</sup>valentina.krutyakova@gmail.com, <sup>2</sup>olena.nikipelova2020@gmail.com,

<sup>3</sup>nceb2017@gmail.com

ORCID: <sup>1</sup>0000-0002-6578-9524, <sup>2</sup>0000-0003-3167-6970, <sup>3</sup>0000-0002-5074-4011

Надійшла 29.06.2021

**Мета.** Обґрунтувати застосування добрив на основі осадів стічних вод (ОСВ) із метою підвищення родючості ґрунтів та урожайності сільськогосподарських культур за рахунок додаткового фосфорного живлення. **Методи.** Польовий дослід — для визначення ефективності нових видів біодобрив на основі ОСВ, математико-статистичний — для аналізу і оцінки достовірності отриманих результатів. **Результати.** В останні десятиріччя відмічається спад галузі тваринництва, що відповідно відбилося на зниженні виробництва органічних добрив і, як наслідок, погіршення родючості ґрунтів та зниження продуктивності землеробства. Така ситуація привела до пошуку нових видів удобрювальних ресурсів та розроблення ефективних заходів підвищення у їхньому складі доступних для рослин сполук фосфору. Такими є осади стічних вод. Одним із перспективних напрямів вирішення проблеми збагачення ґрунтів доступними сполуками фосфору для рослин може бути компостування ОСВ міських очисних споруд. Результатом компостування є доступний органічний продукт за участі фосфатмобілізувальних мікроорганізмів, який можна використовувати у сільськогосподарському виробництві. **Висновки.** Показано перспективність застосування в якості нетрадиційних органічних добрив — ОСВ та компостів на їх основі — у підвищенні врожайності сільськогосподарських культур. Так, за основного внесення досліджуваних видів нетрадиційних органічних добрив на основі ОСВ станцій біологічної очистки (СБО) «Південна» та «Північна» (м.Одеса) з рослинними наповнювачами (солома пшениці озимої, лушпиння насіння соняшнику) під кукурудзу на зерно забезпечується підвищення врожайності культури на 31,6 – 50,0%.

**Ключові слова:** компостування, осади стічних вод, агроценози, нетрадиційні органічні добрива, сільськогосподарське виробництво, родючість ґрунту, врожайність.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202111-03>

За останні десятиріччя в сільському господарстві України відбулися значні зміни в землеробстві: порушилися сівозміни,

зменшилися в кілька разів дози внесення добрив, спростилася технологія вирощування сільськогосподарських культур. Процес

формування родючості ґрунтів залежить від низки чинників: геохімічного впливу материнської породи, типу рослинності, кліматичних особливостей регіону, антропогенного впливу, мікробіологічної активності [1]. За таких умов одним із дієвих прийомів підвищення інтенсивності землеробства може бути використання сучасних біологічних засобів збереження родючості ґрунтів.

Важливим фактором оптимізації умов живлення сільськогосподарських культур в органічному землеробстві є органічні добрива, внесення яких сприяє активації ґрунтової мікрофлори; а після їх мінералізації ґрунт насичується живильними речовинами, які використовуються рослинами [2].

Мікроорганізми можуть зіграти потенційну роль у стійкому сільськогосподарському виробництві, завдяки своїй здатності стимулювати ріст рослин і підвищувати стійкість до біотичних і абіотичних стресів, відновлювати забруднені ґрунти, переробляти живильні речовини, управляти родючістю ґрунту [3].

Рациональне використання мікробіологічних факторів у землеробстві дає можливість значно підвищити потенційну та ефективну родючість ґрунтів. Ґрунтові мікроорганізми відповідальні за більшу частину біологічної активності (60–80%), яка пов'язана з процесами регулювання кругообігу поживних речовин і розкладання органічної речовини [4–7]. Мікроорганізми опосередковують 80–90% всіх процесів, що відбуваються в ґрунті. Вони створюють сприятливі умови для проростання насіння і росту кореневої системи культурних рослин, що дуже важливо для отримання високого врожаю [8]. Рослини виділяють у ґрунт велику кількість різних хімічних сполук, які формують склад мікроорганізмів у навколишньому середовищі [9]. Наявність мікроорганізмів у ґрунті залежить від його хімічного складу, вологості, рН і структури [10].

Обробіток ґрунту впливає на хімічні та фізичні параметри ґрунту і, отже, на його біологічні властивості. Тому надзвичайно важливо оцінювати різноманітність і мікробіологічну активність ґрунту щодо технології його обробітку [11].

Цінність ґрунту як основного засобу сільськогосподарського виробництва визна-

чається його родючістю. Фосфор, який бере участь у всіх життєвоважливих процесах, є одним із основних елементів, що визначає нормальне функціонування біосфери, вирізняється високою реакційною здатністю. Забезпечення рослин фосфором залежить від його концентрації в ґрунтового розчині, здатності ґрунту підтримувати концентрацію фосфору в розчині на певному рівні та швидкості переходу фосфат-іонів із твердої фази ґрунту в рідку [11].

Запаси валового фосфору в метровому шарі ґрунтів України становлять від 2,5 — 3,8 т/га у дерново-підзолистих супіщаних і піщаних ґрунтах Полісся до 20 — 23 т/га у чорноземах типових важкосуглинкових і чорноземах звичайних легкоглинистих Лісостепу і Степу [12].

У колообігу фосфору мікробіота ґрунту відіграє важливу роль, оскільки має здатність розчиняти навіть такий стійкий фосфоровмісний мінерал, як фторопатит [13]. Проте реальне значення для рослин має мікробіологічна мобілізація фосфору в ґрунті у межах ризосферної зони, де існує градієнт руху поживних речовин із ґрунту до коренів.

Незважаючи на численні механізми мобілізації фосфору, вміст рухомих форм його сполук у ґрунті є низьким. Це пов'язано з розвитком хемосорбції і його біологічного поглинання [14]. Доступність для рослин фосфору в перший рік внесення добрив у ґрунт становить від 10 до 30%, а в цілому за кілька років — не більше 60%. Це зумовлено здатністю оксидів кальцію, заліза, алюмінію та інших елементів, а також глинистих мінералів не тільки зв'язувати іони фосфору, а й утримувати їх .

Мобілізувати фосфор з важкорозчинних сполук заліза, алюмінію і кальцію здатні мікроорганізми багатьох видів [15]. Недоступні для рослин сполуки фосфору можуть переводити у розчинний стан різні види мікроорганізмів, але найпоширеніша ця здатність — серед представників родів *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Mycobacterium*, *Penicillium*, *Aspergillus*.

Органічні добрива — один з основних постачальників органічної речовини в ґрунт, містять у собі значну кількість біогенних елементів, і, передусім, азоту, фосфору, кальцію, магнію, низку мікроелементів.

Тому застосування всіх видів органічних добрив — важливий шлях поліпшення балансу поживних речовин у ґрунті [16, 17].

Дослідження автора [18] засвідчили позитивний вплив органо-мінеральних добрив на вміст у чорноземі типовому як активних мінеральних форм фосфатів, так і органічного фосфору.

У результаті компостування рослинної сировини (ячмінна солома) мікробіологічними зразками впродовж 6 міс. можна отримати органічне добриво з умістом органічної речовини не менше 70%, азоту за сухою речовиною не менше 2,8%, фосфору — не менше 2,3%, калію — не менше 1,6% [19]. Найбільше накопичення гумусу відзначено під впливом компосту (курячий послід + солома) — 0,19 т/га, найменше — під впливом компосту (курячий послід + лушпиння соняшнику) — 0,10 т/га [20].

Авторами [21] розроблено технологічні основи виробництва нових видів органо-мінеральних добрив із переважним використанням пташиного посліду, які забезпечують підвищення врожайності сільськогосподарських культур та охорону довкілля від забруднення патогенною мікрофлорою й гельмінтами.

Показано [22], що використання мікроорганізмів для поліпшення розчинності фосфору в ґрунті може зменшити залежність від хімічних добрив у рослинництві і, таким чином, підвищити стійкість.

В останні десятиріччя увагу наукової і технічної громадськості було направлено на місцеві сировинні ресурси, а саме — до ОСВ.

На території України кількість накопиченого осаду перевищує 5 млрд. т, до яких щороку додається ще 3 млн. т нових ОСВ [16]. Зокрема, по м. Одеса, на СБО «Південна» та «Північна» утворюється від 11 тис. м<sup>3</sup>/рік до 21 тис. м<sup>3</sup>/рік рідких ОСВ. Крім того, за минулі роки не утилізовано до 50 тис. т ОСВ різної вологості.

У нашій країні осад як добриво використовується дуже мало, що зумовлено трудомісткістю робіт, пов'язаних з транспортуванням і внесенням рідких мас з одного боку і санітарно-епідеміологічними обмеженнями з іншого. Тому для більшості СБО є доволі перспективним метод утилізації осадів у якості органічних добрив [16].

Використання ОСВ переслідує дві основні екологічні цілі: коловорот поживних речовин і альтернативне використання залишків замість їх поховання на санітарних звалищах або скидання на поверхню вод.

Розробку біотехнологічних процесів утилізації органічних відходів, які забезпечать організацію ефективних, безвідходних і природоохоронних технологій, пов'язано з глобальною проблемою накопичення відходів.

Одним із найперспективніших способів переробки ОСВ є їх компостування. Цей спосіб дає змогу за короткий строк отримати органічне добриво з високим умістом поживних речовин у доступній для рослин формі.

Для компостування механічно зневоднених або підсушених на мулових майданчиках ОСВ застосовують різні технології: у штабелях і траншеях на майданчиках, у біобарабанах та ферментаторах тощо. Під час вибору технології компостування обов'язково враховують витрати на впровадження і рівень складності цієї технології. За результатами досліджень, найбільш економічно вигідними технологіями обробки ОСВ є компостування у валках і тунельне компостування [23].

Окупність технології компостування забезпечується за рахунок продажу компосту, як дешевої альтернативи іншим органічним і мінеральним добривам. При компостуванні використовується 100% осаду і не утворюються побічні продукти, які не потребують подальшої утилізації.

Результати досліджень компосту, отриманого з сільськогосподарських відходів і ОСВ, показали відповідність критеріям якості для використання в сільському господарстві [15]. Було вивчено вплив додавання тирси, компостованої з ОСВ та пшеничною соломою, на проростання насіння [24].

Останнім часом набуває поширення отримання біоорганічних добрив у результаті внесення корисних мікроорганізмів. Особливої уваги заслуговують технології компостування органічної речовини за участі спеціальних селекціонованих мікроорганізмів, які дають можливість контролювати процес і робити його керованим [25, 26]. Мікроорганізми на всіх стадіях компостування забезпечують ферментацію органічної

речовини. Загалом компостування — це динамічний мікробіологічний процес, у якому бере участь більше 2 тис. видів бактерій і не менше 50-ти видів грибів.

Одним із перспективних є мікробіологічне добриво на основі біогумусу, отримане методом вермикомпостування органічної речовини із використанням дощових черв'яків і наступним внесенням до біогумусу мікроорганізмів [27].

Вченими-мікробіологами Інституту сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН запропоновано технологію біокомпостування гною великої рогатої худоби (ВРХ) за використання селекціонованої фосфатмобілізуювальної бактерії *Pseudomonas putida* 17 [28] та місцевих фосфоритів, яку можна використовувати для одержання сировини, збагаченої мобільними формами фосфору.

Осад після компостування має зберігатися на спеціальних майданчиках з твердим (бетонованим) покриттям у штабелях висотою 1,5–2,0 м та масою не більше 500 т [2]. Осад, який планується використовувати як органо-мінеральне добриво, має містити: органічної речовини не менше 4,0%, валових форм азоту, фосфору та калію — 1,0; 0,6 та 0,1% відповідно; зольність не більше 6,0% у перерахунку на суху речовину [16].

Один із перспективних напрямів використання ОСВ — біоконверсія органогенних відходів — отримання доступної органічної сировини (компосту) за участі фосфатмобілізуювальних мікроорганізмів. Для збільшення в компостній масі вмісту вуглецю під час компостування ОСВ використовують спеціальні добавки — наповнювачі (подрібнену кору дерев, тирсу, листя, солому, торф та інші органічні речовини) [29].

Авторами [30] отримано біодобрива за технології компостування ОСВ СБО «Північна» та «Південна» м. Одеса (після 3-річного зберігання на мулових майданчиках) із рослинними наповнювачами (солома пшениці озимої та лушпиння насіння сояшнику) за участі штаму фосфатмобілізуювальних мікроорганізмів *Microbacterium barkeri* ЛП-1 (*M. b.*), який уперше виділено із ОСВ СБО «Південна» м. Одеса та задепоновано у Депозитарії Інституту мікробіології і вірусології імені Д.К. Заболотного

Національної академії наук України за реєстраційним номером — ІМВ В-7691.

**Мета досліджень.** Обґрунтувати застосування добрив на основі осадів стічних вод із метою підвищення родючості ґрунтів та урожайності сільськогосподарських культур за рахунок додаткового фосфорного живлення.

**Матеріали і методи.** Лабораторно-аналітичні дослідження нетрадиційних органічних добрив (ОСВ), нових видів біодобрив на основі ОСВ (компости), ґрунту і рослинної продукції (зерно) проводили відповідно до чинних нормативних документів і методик вимірювання.

**Результати досліджень.** Проведено оцінку ефективності нових біодобрив на основі ОСВ СБО «Південна» та «Північна» м. Одеса з рослинними наповнювачами за участі *M.b.* при вирощуванні кукурудзи на зерно в умовах Південного степу України.

Встановлено, що за основного внесення всіх досліджуваних видів органічних добрив (ОСВ та компости на їх основі) під кукурудзу на зерно забезпечується підвищення врожайності культури. Однак найбільш високі показники врожайності культури відмічено за внесення добрив на основі ОСВ, отриманих за інокуляції продуктивним штамом із фосфатмобілізуювальними властивостями. Середня врожайність за 3 роки досліджень (2017–2019 рр.) при застосуванні ОСВ СБО «Південна» становить 5,2 т/га зерна проти 4,5 т/га у контрольному варіанті (без добрив), що формує приріст на рівні 15,6%, при застосуванні ОСВ СБО «Північна» врожайність становить 5,5 т/га, що на 20,9% більше контрольного варіанта (без добрив). Але найвищі середні показники врожайності культури забезпечило застосування добрив на основі ОСВ за участі фосфатмобілізуювальних мікроорганізмів, за якого підвищується врожайність кукурудзи на 31,6% (добриво на основі ОСВ СБО «Південна» з соломою + *M.b.*), 33,0% (добриво на основі ОСВ СБО «Південна» з лушпинням + *M.b.*) і на 48,4% (добриво на основі ОСВ СБО «Північна» з соломою + *M.b.*), 50,0% (добриво на основі ОСВ СБО «Північна» з лушпинням + *M.b.*) по відношенню до контролю (без добрив).

**Урожайність кукурудзи на зерно (польовий дослід) залежно від застосування різних видів органічних добрив (середнє за 2017–2019 рр.), т/га**

№	Варіант досліджу	Урожайність кукурудзи на зерно, т/га					
		2017 р.	2018 р.	2019 р.	Середнє за 3 роки	Приріст до контролю	
						т/га	%
1	Без добрив	3,81	6,81	3,02	4,55	–	–
2	ОСВ СБО «Південна»	3,90	8,40	3,49	5,26	0,71	15,6
3	ОСВ СБО «Північна»	4,50	8,60	3,40	5,50	0,95	20,9
4	Компост ОСВ СБО «Південна» + солома + <i>M.b.</i> , C:N=25:1	5,06	9,10	3,80	5,99	1,44	31,6
5	Компост ОСВ СБО «Південна» + лушпиння + <i>M.b.</i> , C:N=25:1	5,03	9,30	3,82	6,05	1,5	33,0
6	Компост ОСВ СБО «Північна» + солома + <i>M.b.</i> , C:N=25:1	4,95	11,40	3,90	6,75	2,2	48,4
7	Компост ОСВ СБО «Північна» + лушпиння + <i>M.b.</i> , C:N=25:1	4,84	11,80	3,80	6,81	2,26	50,0
	Середнє	4,58	9,34	3,60	5,84	–	–
	Sx, т/га	0,20	0,66	0,12	0,31	–	–
	V, %	11,59	18,64	8,81	13,90	–	–
	S, т/га	0,53	1,74	0,32	0,81	–	–
	НІР <sub>05</sub> т/га	0,64	2,11	0,38	0,98	–	–

Статистичний аналіз урожайності залежно від різних варіантів удобрення кукурудзи свідчить про середній ( $V=8,81\div 11,59\%$ ) та високий ( $V=18,64\%$ ) рівень варіабельності показників за роками досліджень.

У середньому за 2017–2019 рр. у середньостиглого гібрида Піонер при величині коефіцієнта варіації ( $V$ ) — 13,9% урожайність

знаходилась у межах ( $\bar{X} \pm S_x$ )  $5,84 \pm 0,31$  т/га при середньому квадратичному відхиленні ( $S$ ) — 0,81.

Статистичні характеристики врожайності були дещо вищими у 2018р.: ( $\bar{X} \pm S_x$ )  $9,34 \pm 0,66$  т/га при  $V=18,64\%$ , за таких умов культура краще реагує на варіанти удобрення.

### Висновки

Для підвищення врожайності сільськогосподарських культур та родючості ґрунтів найважливіше місце відводиться органічним добривам. Це пов'язано з тим, що вони не тільки збагачують ґрунт усіма елементами живлення, а й поліпшують його властивості. Проте через знищення галузі тваринництва виробництво гною поступово звелось нанівець. Ця ситуація спонукає до пошуку нових видів місцевих удобрювальних ресурсів — ОСВ.

Одна із головних умов формування високої врожайності сільськогосподарських культур — забезпечення нормального

рівня фосфорного живлення. Ґрунтова мікробіота приймає активну участь у мобілізації важкорозчинних фосфатів, позитивно впливає на рослини, покращуючи їх фосфорне живлення, ріст, розвиток та продуктивність. Тому використання біоконверсії ОСВ з фосфатмобілізуючими мікроорганізмами — перспективний напрям отримання біодобрив.

Так, встановлено, що за основного внесення найбільш високі показники врожайності кукурудзи на зерно було отримано при застосуванні добрив на основі ОСВ за участі штаму фосфатмобілізуючих

мікроорганізмів *Microbacterium barkeri* ЛП-1 та становлять 31,6% (добриво на основі ОСВ СБО «Південна» з соломою + *M.b.*), 33,0% (добриво на основі ОСВ СБО «Пів-

денна» з лушпинням + *M.b.*) і на 48,4% (добриво на основі ОСВ СБО «Північна» з соломою + *M.b.*), 50,0% (добриво на основі ОСВ СБО «Північна» з лушпинням + *M.b.*).

**Krutiakova V.<sup>1</sup>, Nikipelova O.<sup>2</sup>, Pyliak N.<sup>3</sup>**

*Engineering and Technology Institute «Biotechnika» of NAAS, 26 Maiatska doroha Str., Khlibodarske village, Biliaiv district, Odesa oblast, 67667, Ukraine; e-mail: <sup>1</sup>valentina.krutyakova@gmail.com, <sup>2</sup>olena.nikipelova2020@gmail.com, <sup>3</sup>nceb2017@gmail.com; ORCID: <sup>1</sup>0000-0002-6578-9524, <sup>2</sup>0000-0003-3167-6970, <sup>3</sup>0000-0002-5074-4011*

**Application of fertilizers based on sewage sludge for additional phosphorus nutrition of plants**

**Goal.** To substantiate the use of fertilizers based on sewage sludge (SS) to increase soil fertility and crop yields through additional phosphorus nutrition. **Methods.** Field experiment — to determine the effectiveness of new types of bio-fertilizers based on SS, mathematical — to analyze and evaluate the reliability of the results. **Results.** In recent decades, there has been a decline in the livestock industry, which in turn has affected the decline in the production of organic fertilizers and, as a consequence, the deterioration of soil fertility and reduced agricultural productivity. This situation has led to the search for new types of fertilizer resources and

the development of effective measures to increase the composition of phosphorus compounds available to plants. These are sewage sludge. One of the promising areas for solving the problem of soil enrichment with available phosphorus compounds for plants may be the composting of SS in urban treatment plants. The result of composting is an available organic product with the participation of phosphate-mobilizing microorganisms, which can be used in agricultural production. **Conclusions.** The prospects of using non-traditional organic fertilizers — SS and composts based on them — in increasing crop yields are shown. Thus, the main application of the studied types of non-traditional organic fertilizers based on SS of biological treatment plants (BTP) "Pivdenna" and "Pivnichna" (Odessa) with vegetable fillers (winter wheat straw, sunflower seed husk) under corn for grain yield provided an increase of yield ability of crop by 31.6–50.0%.

**Key words:** *composting, sewage sludge, agrocenoses, organic fertilizers of different origins, microbial grouping, agricultural production, soil fertility, yield.*

**DOI:** <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202111-03>

**Бібліографія**

1. Волкогон В.В., Дімова С.Б., Волкогон К.І., Борулько Р.О., Бердніков О.М. Вплив мікробних препаратів на засвоєння культурними рослинами поживних речовин. *Вісник аграрної науки*. 2010. № 5. С. 25–28.  
2. Das S. K., Banabehari Jana. Pond Fertilization Regimen. *Journal of Applied Aquaculture*, March 2003. 13 (1–2). P. 35–66. doi: 10.1300/J028v13n01\_03  
3. Rashid M.H., Kamruzzaman M., Haque A.N.A., Krehenbrink M. Soil Microbes for Sustainable Agriculture. *Sustainable Management of Soil and Environment*. 03 October 2019. P. 339–382.  
4. Gang Chena, Honglong Zhub, Yong Zhangc. Soil microbial activities and carbon and nitrogen fixation. *Research in Microbiology*. V. 154. Is. 6. July–August 2003. P. 393–398. doi: 10.1016/S0923-2508(03)00082-2  
5. Патица В.П., Омелянець Т. Г., Гриник І.В., Петриченко В.Ф. Екологія мікроорганізмів. Київ: Основа, 2007. 192 с.  
6. Birkhofer K., Schoning I., Alt F., Herold N., Klamer B., et al. General relationships between abiotic soil properties and soil biota across spatial scales and different land-use types. *PLoS One*.

2012. 7(8). e43292.  
7. Elke Jurandy, Bran Nogueira Cardoso, Rafael Leandro Figueiredo Vasconcellos et al. Soil health: looking for suitable indicators. What should be considered to assess the effects of use and management on soil health? *Sci. agric. (Piracicaba, Braz.)*. 2013. V.70. Is.4. Piracicaba July/Aug. doi: 1590/S0103-90162013000400009  
8. Максiшко Л.М., Малик О.Г., Назiрняк Т.Б. та ін. Біодобриво як продукт утилізації гною методом метанового бродиння і перспективи його використання. *Вісник ЛНУВМБТ ім. С.С. Гжицького*. 2015. Т. 17. № 3(63). С. 403–410.  
9. Karolina Furtak, Grządziel J., Gałazka A. et al. Analysis of Soil Properties, Bacterial Community Composition, and Metabolic Diversity in Fluvisols of a Floodplain Area. *Sustainability*. 2019. V. 11(21). 3929.  
10. Karolina Furtak, Anna Maria Gajda. Activity and Variety of Soil Microorganisms Depending on the Diversity of the Soil Tillage System. In book: *Sustainability of Agroecosystems*, Publisher: IntechOpen, August 2018. P. 45–61, doi:10.5772/intechopen.72966  
11. Wolińska A., Szafranek-Nakonieczna A.,

Zielenkiewicz U. et al. Quantified characterization of soil biological activity under crop cultivation. *Journal of Advances in Biology*. 2016. Is. 8(3). P. 1655–1665.

12. Носко Б.С. Сучасні проблеми фосфору в землеробстві і шляхи їх розв'язання. *Вісник аграрної науки*. 2017. № 6. С. 5–12.

13. Holger Kirchmann, Gunnar Börjesson, Thomas Kätterer et al. From agricultural use of sewage sludge to nutrient extraction: A soil science outlook. *Ambio*. Mar. 2017. Is. 46(2). P. 143–154. doi:10.1007/s13280-016-0816-3. Epub 2016 Sep 20

14. Bhavisha Sharma, Abhijit Sarkar, Pooja Singh et al. Agricultural utilization of biosolids: A review on potential effects on soil and plant grown. *Waste Manag.* Jun. 2017. Is. 64. P. 117–132. doi: 10.1016/j.wasman.2017.03.002

15. Paula Alvarenga, Clarisse Mourinha, Márcia Farto et al. Sewage sludge, compost and other representative organic wastes as agricultural soil amendments: Benefits versus limiting factors. *Waste Management*. Jun. 2015. V. 40. Is. 40. P. 44–52. doi:10.1016/j.wasman.2015.01.027. Epub 2015 Feb 21

16. Ковальов М.М., Супрягіна Н.П., Медведєва О.В. Використання осадів стічних вод як органічного добрива та шляхи мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище. *Наук. запіски*. Кіровоград: КНТУ, 2013. Вип. 13. С. 43–45.

17. Камінський В.Ф., Гадзало Я.М., Сайко В.Ф. та ін. Землеробство XXI століття — проблеми та шляхи вирішення. За ред. чл.-кор. НААН, проф. В.Ф. Камінського. Київ: ВП «Едельвейс», 2015. С. 41–42.

18. Скрильник Є.В. Вплив органіко-мінеральних добрив на агрохімічні та фізико-хімічні показники чорнозему типового. *Вісник ХНАУ*. 2009. № 1. С. 137–141.

19. Скрильник Є.В., Кутова А.М., Гетманенко В.А. та ін. Вплив систем удобрення на органічну речовину та агрохімічні показники чорнозему типового. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2019. № 88. С. 74–78.

20. Скрильник Є.В., Максименко Н.В., Рижкова Я.С. та ін. Агроекологічне обґрунтування технології переробки та застосування осадів стічних вод. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2020. № 33. С. 133–144.

21. Волкогон В.В., Деркач С.М., Дімова С.Б. та ін. Біокомпостування органічного субстрату

на основі пташиного посліду за інтродукції асоціації грибів *Trichoderma harzianum* 128. *Агроекологічний журнал*. 2018. № 1. С. 108–115.

22. Bala Rathinasabapathi, Xue Liu, Yue Cao et al. Phosphate-solubilizing Pseudomonads for improving crop plant nutrition and agricultural productivity. *Crop Improvement Through Microbial Biotechnology*. 2018. P. 363–372.

23. Чеботько К.О. Технології приготування органіко-мінеральних добрив на основі осадів стічних вод. *Наук. вісн. нац. аграр. ун-ту*. 2000. № 26. С. 85–87.

24. Hassiba Kebibeche, Omar Khelil, Mourad Kacem, Meriem Kaid Harche. Addition of wood sawdust during the co-composting of sewage sludge and wheat straw influences seeds germination. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2019 Jan 30. Is. 168. P. 423–430. doi: 10.1016/j.ecoenv.2018.10.075. Epub 2018 Nov 3.

25. Терещенко Н.Н. Эколого-микробиологические аспекты вермикомпостирования. Новосибирск: СО РАСХН. 2003. 116 с.

26. Гаценко М.В., Волкогон В.В. Оптимізація вермикомпостування органіки, збагаченої фосфоритами, за участі фосфатомобілізувальних мікроорганізмів. *Мікробіологічний журнал*. 2010. № 3. С. 14–19.

27. Горова А.І., Скворцова Т.В., Лисицька С.М., Павличенко А.В. Еколого-гігієнічна оцінка мікробіологічних та агрохімічних властивостей вермикомпосту як органічного добрива. *Гігієна населених місць*. 2013. 61. С. 130–138.

28. Пат. №98052 Україна, МПК (2012.01) C12N 1/20 (2006/01), C05F 15/00, C05F 17/00, C12R 1/40 (2006.04). Штам бактерій *Pseudomonas putida* для одержання біоорганічного добрива. М.В. Гаценко, Н.В. Луценко, В.В. Волкогон; заявник і патентовласник Інститут сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН. № а201012764; заявл. 28.10.10; опубл. 10.04.12, бюл. № 7.

29. Wang I.Y., Stavnikova O., Tay S.T. et al. Biotechnology of intensive aerobic conversion of sewage sludge and food waste into fertilizer. *Water Sci. Technol.* 2004. Is. 38(10). P. 147–154.

30. Пуляк Н.В., Крутякова В.І., Дишлюк В.С. Еколого-мікробіологічна характеристика нових біодобрив на основі осадів стічних вод очисних споруд м. Одеса. *Агроекологічний журнал*. 2020. № 3. С. 86–95.