

ОПТИМІЗОВАНА ТЕХНОЛОГІЯ ОТРИМАННЯ БІОДОБРІВ НА ОСНОВІ ОСАДІВ СТІЧНИХ ВОД

В.І. Крутякова¹, Н.В. Пиляк², О.М. Нікіпелова³

¹кандидат економічних наук

³доктор хімічних наук, професор

Інженерно-технологічний інститут «Біотехніка» НААН

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

e-mail: ¹valentina.krutyakova@gmail.com, ²nceb2017@gmail.com

³olena.nikipelova2020@gmail.com

ORCID: ¹0000-0002-6578-9524, ²0000-0002-5074-4011, ³0000-0003-3167-6970

Надійшла 01.11.2021

Мета. Розробити оптимізовану технологію виробництва біодобрив на основі осадів стічних вод (ОСВ) станцій біологічної очистки (СБО) «Південна» і «Північна» м. Одеса за участі мікроорганізмів із фосфатмобілізувальними властивостями. **Методи.** Узагальнення й аналіз матеріалів наукових досліджень щодо технологій виробництва біодобрив, розрахунковий метод співвідношення вуглець/азот у субстратах, які компостувалися, агрохімічні методи досліджень біодобрив. **Результати.** Оптимізована технологія отримання біодобрив передбачає компостування ОСВ із рослинними наповнювачами з включенням у технологічний процес нового біотехнологічного елемента — інтродукції нового штаму *Microbacterium barkeri* ЛП-1, який виділено із ОСВ СБО м. Одеса з підвищеними фосфатмобілізувальними властивостями, що дає можливість отримати ефективне біоорганічне добриво. **Висновки.** За результатами досліджень відпрацьовано оптимізовану технологію компостування твердих комунальних відходів із вуглецевмісними рослинними наповнювачами у вигляді твердих відходів сільськогосподарського виробництва (соломи пшениці озимої, лушпиння насіння сояшнику) із включенням у технологічний процес нового біотехнологічного елемента — інтродукції нового штаму *Microbacterium barkeri* ЛП-1 із підвищеними фосфатмобілізувальними властивостями, застосування якого дає змогу керувати процесами компостування відходів (прискорювати їх) і забезпечувати поліпшення якісних показників готового компосту.

Ключові слова: біоконверсія, органогенні відходи, вуглецевмісні рослинні наповнювачі, фосфатмобілізувальні мікроорганізми, органічне добриво.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202201-07>

Довгострокові внесення хімічних і органічних добрив значно впливають на якість і родючість ґрунту, в основному, за рахунок поліпшення доступності поживних речовин для рослин і мікроорганізмів. Дослідження [1] показали, що застосування органічних добрив значно збільшує мікробну біомасу

ґрунту і активність ґрунтових ферментів, тоді як неорганічні добрива здійснюють дещо менший вплив.

На відміну від мінеральних, органічні добрива вивільняють поживні речовини під час мінералізації поступово, впродовж усього вегетаційного періоду, не створюючи їх

надлишкової високої концентрації в ґрунтовому розчині. Обробіток ґрунту і вирощування сільськогосподарських культур супроводжуються значним зменшенням вмісту гумусу і особливо його мобільної частини. Сумарні втрати гумусу через мінералізацію й ерозію ґрунтів щорічно становлять 32–33 млн т, що еквівалентно 320–330 млн т органічних добрив [2]. За 30–50 років інтенсивного землеробства втрата гумусу сягла 25–30%. Під час систематичного застосування органічні добрива сприяють збагаченню ґрунту гумусом, підвищують його буферну ємність, сприяють розвитку корисної мікрофлори, поліпшують фізичні та фізико-хімічні властивості (структуру, вологоємність, ємність поглинання та ін.) [3, 4].

Органічні добрива можуть містити різноманітні складові рослинного походження — від свіжого або сушеного рослинного матеріалу до гною і підстилки та побічних продуктів сільського господарства. Вміст поживних речовин в органічних добривах істотно різниться залежно від вихідного матеріалу, а біорозкладні компоненти є кращими джерелами поживних речовин [5, 6].

В якості органічних добрив переважно використовують гній, компост, торф, сапропель, сидерати та неутілізовану сільськогосподарську продукцію [6–9].

Останнім часом набуває поширення отримання біоорганічних добрив за допомогою внесення корисних мікроорганізмів. Особливої уваги заслуговують технології компостування органічної речовини за участі селекціонованих мікроорганізмів, які дають можливість контролювати процес компостування відходів і робити його керованим [10–12]. Водночас отримані компости, крім належних агрохімічних показників, мають високий вміст агрономічно цінних мікроорганізмів, які, розвиваючись у ферментованому субстраті, продукують низку фізіологічно активних речовин, зокрема, і фітогормонів — природних регуляторів росту рослин [4].

Так, ученими-мікробіологами Інституту сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН запропоновано технологію біокомпостування гною великої рогатої худоби за використання

селекціонованої фосфатмобілізувальної бактерії *Pseudomonas putida* 17 [13] і місцевих фосфоритів, які можна використовувати для одержання сировини, збагаченої мобільними формами фосфору.

Проте останнім часом через значне зниження обсягів виробництва галузі тваринництва істотно скоротилося виробництво гною. Ця ситуація зумовила актуальність пошуку нових видів удобрювальних ресурсів. Увагу науковців і виробничників було спрямовано на місцеві сировинні ресурси, зокрема осаді стічних вод (ОСВ).

ОСВ — вторинні ресурси, які можуть використовуватися в сучасних біотехнологіях для отримання добрив [14–17].

Нині відомі різні технології отримання біодобрив на основі ОСВ. Базова технологія виробництва добрив на основі ОСВ [18] характеризується такими ознаками: виділення рідкого осаду (95–98% вологи) у процесі очищення міських стічних вод, зневоднення осаду стічних вод методом витримання на мулових майданчиках для зниження вологості до 60–70% та формування зневодненого ОСВ у бурт для компостування. Але базова технологія компостування ОСВ не забезпечує їх біологічне знезараження (у готових компостах можлива наявність збудників інфекційних і паразитарних захворювань та насіння бур'янів), а також не завжди забезпечує зв'язування і переведення рухомих форм хімічних забруднювачів (важких металів) у фіксований стан (адсорбцію). У зв'язку з цим через застосування некондиційних добрив порушується дотримання екологічних вимог щодо окультурення ґрунтів. Це може призводити до їх хімічного та біологічного забруднення і внаслідок цього — до зниження врожайності сільськогосподарських культур і погіршення якості продукції [19].

Відома також технологія, яка передбачає: виділення рідкого осаду (95–98% вологи) у процесі очищення міських стічних вод, зневоднення ОСВ методом витримання на мулових майданчиках для зниження вологості до 60–70%, формування зневодненого ОСВ у бурт для компостування, яка відрізняється від базової технології тим, що під час формування зневодненого осаду стічних вод у бурт для компостування

до нього додають відповідну масу адсорбенту, зокрема, агроперліту (фракція 2,5–5 мм) або вермикуліту (фракція 2–8 мм) і відповідну масу мінеральних добрив (азотних, фосфорних та калійних) [19]. Недоліком цієї технології є енергозатратність, трудомісткість і багатокомпонентність субстрату, що впливає на собівартість добрива. Крім того, для росту та розвитку мікроорганізмів потрібне збалансоване співвідношення вуглецю до азоту — 25:1, показники якого у цій технології відсутні.

Інша відома технологія включає змішування з подрібненою соломкою та добавкою 0,01% розчину гумату калію із подальшим компостуванням за примусової аерації. Надалі проводять розрахунок масової пропорції вихідних матеріалів для досягнення співвідношення вуглецю до азоту 25:1 та вологості 65% [20]. Недоліком є те, що застосування розчину гумату калію для підвищення поживних елементів не є обов'язковим, адже в ОСВ значна кількість мікроорганізмів різних еколого-трофічних груп, здатних за сприятливих умов, у процесі своєї життєдіяльності вивільнити з недоступних форм у доступні біофільні елементи (NPK).

Тому, враховуючи недоліки зазначених вище технологій, удосконалено спосіб одержання біоорганічного добрива на основі ОСВ із підвищеним умістом водорозчинних форм фосфору та елементів живлення.

Мета досліджень — розробити оптимізовану технологію виробництва біодобрив на основі ОСВ СБО «Південна» і «Північна» (м. Одеса) за участі мікроорганізмів із фосфатмобілізувальними властивостями.

Матеріали та методи досліджень. Об'єкти досліджень — ОСВ СБО «Південна» і «Північна» м. Одеса, компости на основі ОСВ із вуглецевмісними рослинними наповнювачами (соломою пшениці озимої, лущинням насіння соняшнику) за участі фосфатмобілізувальних бактерій *Microbacterium barkeri* ЛП-1.

Для компостування використано ОСВ СБО м. Одеса після 3-річного їх зберігання на мулових майданчиках.

Для оптимізації співвідношення вуглець/азот на рівні 25:1 відповідно варіантам дослідів до ОСВ СБО «Південна» і СБО «Північна» додавали солому пшениці озимої

або лущиння насіння соняшнику. У результаті в компостованих субстратах співвідношення компонентів ОСВ : солома та ОСВ : лущиння становило 1:1.

Оптимальне співвідношення компонентів субстрату для компостування розраховували за такою формулою [20]:

$$\frac{M1C1 + M2C2}{M1N1 + M2N2 + Mn} = 25, \quad (1)$$

де M1 — вага ОСВ, г; M2 — вага соломи або лущиння, г; C1 — уміст вуглецю в ОСВ,%; C2 — уміст вуглецю в соломі або лущинні,%; N1 — уміст азоту в ОСВ,%; N2 — уміст азоту в соломі або лущинні,%; Mn — маса мінерального добрива (за потреби).

У біодобривах визначали: масову частку органічної речовини — за ДСТУ 8454:2015; масову частку сухої речовини — за ГОСТ 26428-85; сумарну частку азоту та масову частку амонійного азоту — за ДСТУ 7911:2015; масову частку загального фосфору — за ДСТУ 4290-2004; масову частку загального калію — за ДСТУ 7949:2015. Уміст вуглецю та азоту в компонентах компостних сумішей (вихідні ОСВ, солома та лущиння насіння соняшнику) і готових компостах визначали за ДСТУ 4726:2007.

Контроль вологості субстрату здійснювали регулярним її виміром за допомогою ґрунтового вологоміра. Уміст волиги у зразках біодобрив визначали методом висушування проби в термостаті за температури +105°C до постійного сталого значення.

Фосфатмобілізувальні бактерії вирощували на живильному середовищі такого складу: меляса — 2%, кукурудзяний екстракт — 2, вода — 96%; рН 7,0.

Результати досліджень. Пропонована технологія виробництва біоорганічного добрива на основі ОСВ включає: додавання наповнювача органічного походження (соломи пшениці озимої або лущиння насіння соняшнику) і подальшого змішування, розрахунок співвідношення вуглецю до азоту — 25:1 із подальшим компостуванням, а після 2-місячного компостування субстрату з вологістю 60–70% додатково вноситься штам *Microbacterium barkeri* ЛП-1.

Під час виготовлення біоорганічного добрива обов'язковим є дотримання послідовних етапів та умов компостування. Технологія виготовлення біодобрив перед-

бачас: попереднє компостування ОСВ із рослинними наповнювачами; внесення до компостованої суміші *Microbacterium barkeri* ЛП-1; компостування за участі фосфатмобілізуючих бактерій *Microbacterium barkeri* ЛП-1.

Приготування якісного компосту відбувається за дотримання оптимального співвідношення С : N для проходження мінералізаційних процесів. Оптимальним співвідношенням цих елементів вважається 20 : 1–30 : 1 [21, 22]. Слід враховувати, що для росту і розвитку мікроорганізмів вуглецю потрібно більше, ніж азоту. Вуглець використовується мікроорганізмами як джерело енергії й елемент живлення, азот — лише як поживний елемент. Порушення співвідношень зумовлює сповільнення процесів деструкції складних органічних речовин навіть за незначних втрат азоту. За умов зменшення діапазону співвідношення розкладання прискорюється, але різко зростають втрати азоту [23–26].

Під час досліджень агрономічних показників ОСВ обох СБО м. Одеси встановлено: вони характеризуються незбалансованим співвідношенням вуглецю до азоту (співвідношення С : N на рівні 1,5 : 1 — СБО «Південна», 2,2 : 1 — СБО «Північна»). Одним із доступних джерел вуглецю майже для всіх регіонів України може бути солома пшениці озимої та лушпиння насіння соняшнику.

Для оптимізації співвідношення С : N на рівні 25 : 1 до попередньої ферментації ОСВ СБО м. Одеси після 3-річного витримування в мулових полях (40% вологи) змішували з соломою пшениці озимої або лушпинням насіння соняшнику в розрахованих кількостях. На 1 т ОСВ СБО «Південна» та «Північна» брали майже таку саму кількість соломи або лушпиння. Завдяки такому поєднанню зазначених складових відбувається максимальне розкладання компонентів органічного субстрату.

Отриманий субстрат укладають пошарово в бурти та витримують упродовж 2-х міс. для здійснення попередньої ферментації. Нижній і верхній шари — рослинні наповнювачі.

Початковий етап компостування є несприятливим для розвитку інтродукованого

бактеріального штаму. Це зумовлено такими причинами:

- пригніченням розвитку інтродукованого бактеріального штаму аміаком, який утворюється під час інтенсивного розкладання азотних сполук;
- зниженням забезпечення інтродукованих аеробних мікроорганізмів киснем, зумовленого насиченням субстрату вуглекислим газом, який вивільняється за мінералізації органічних речовин;
- нагріванням субстрату до температури від +60 до +70°C, що знижує життєдіяльність мезофільних мікроорганізмів.

Упродовж усього терміну компостування з певною регулярністю здійснюють перемішування компосту (раз у 2 тижні), що сприяє додатковому проникненню кисню в масу органічних складових, забезпечуючи їх швидше розкладання, таким чином, прискорюючи терміни компостування.

Вологість субстрату під час попередньої ферментації підтримують на рівні 60–70%.

Отже, після стадії попередньої ферментації, після 2-х міс. компостування (на 3-й місяць компостування) до компостованої суміші вносять суспензію фосфатмобілізуючих бактерій *Microbacterium barkeri* ЛП-1 із розрахунку 2 млн КУО/г сухого компосту. Суспензію фосфатмобілізуючих бактерій *Microbacterium barkeri* ЛП-1 до субстрату вносять із робочим розчином, що забезпечує рівномірний розподіл бактерій у субстраті. Рекомендована вологість субстрату після внесення суспензії — у межах 60–70%.

Отриманий субстрат укладають буртами висотою 1–1,5 м, шириною 1,5–2 м. Збільшення розмірів буртів недоцільне, оскільки призводить до саморозігріву компосту, що, своєю чергою, призводить до загибелі бактерій *Microbacterium barkeri* ЛП-1.

Компостовану суміш укривають поліетиленовою плівкою або іншим аналогічним матеріалом для запобігання втрат вологи й утворення кірки.

Компостування триває 4–5 міс. (залежно від пори року) з періодичним перемішуванням компостної маси 1 раз на 2 тижні (8 раз за весь період компостування). За великих об'ємів для цього можна використовувати

Агрохімічні показники органічних добрив на основі ОСВ СБО (м. Одеса)

Добриво	Вологість, %	Органічний вуглець, %	Органічна речовина, %	Форми, г/кг						
				рухомі				загальні		
				N _{NO₃}	N _{NH₄}	P _{PO₄}	K	P	K	N
ОСВ СБО «Південна»	19,32	11,2	19,3	1,710	0,01	0,043	0,24	9,8	3,31	31,0
ОСВ СБО Північна»	33,94	10,8	18,7	2,725	0,00	0,132	0,32	25,1	3,17	28,2
Субстрат: № 1	28,04	12,0	20,7	0,347	0,01	0,054	9,01	9,6	3,84	22,4
№ 2	45,74	18,0	31,1	4,755	0,52	0,940	3,48	19,0	9,84	37,5
№ 3	32,86	19,1	32,9	4,468	0,33	0,283	2,14	49,2	5,45	29,5
№ 4	45,60	18,0	31,0	1,875	0,28	0,313	2,65	30,5	6,54	32,8

Примітка: субстрат № 1 — ОСВ СБО «Південна» + солома + *M.b.*; субстрат № 2 — ОСВ СБО «Південна» + лушпиння + *M.b.*; субстрат № 3 — ОСВ СБО «Північна»+солома + *M.b.*; субстрат № 4 — ОСВ СБО «Північна» + лушпиння + *M.b.*

навантажувач, за допомогою якого маса кілька разів піднімається і опускається, що дає змогу наситити субстрат киснем. Але оптимальним є використання спеціальних технічних засобів — аераторів, або розворушувачів компосту (ВИК-200), які забезпечують максимальне надходження повітря, сприяють механічному руйнуванню соломи, регулюванню вологості субстрату та його максимальній однорідності, що істотно прискорює терміни компостування.

Необхідною умовою ефективного компостування є дотримання вологості субстрату на рівні 60–70%. Зменшення або збільшення вмісту вологи в компості призводить до неповної трансформації органічної речовини та зниження якості компосту. Вологість субстрату контролюють за допомогою ґрунтових вологомірів або гравіметричним методом.

Дотримання зазначених вище параметрів компостування сприяє активному розвитку не тільки інтродукованих фосфатмобілізувальних мікроорганізмів, а й розвитку представників окремих еколого-трофічних груп мікроорганізмів (амоніфікувальних бактерій — мікроорганізмів, що засвоюють переважно мінеральні форми азоту; стрептоміцетів; мікроміцетів і спорових

мікроорганізмів) [27]. Це забезпечує не лише деструкцію органічних речовин і функціональну спрямованість мікробіологічних процесів компостованих субстратів, а й збагачення підвищеним умістом водорозчинних форм фосфору та інших елементів живлення (таблиця). Як видно з даних таблиці, біодобрива на основі ОСВ характеризуються високоякісними агрохімічними показниками. Зокрема, у біодобривах на основі ОСВ № 2, № 3 та № 4 підвищуються загальні форми азоту на 20,9%, 4,6 і 16,3% відповідно; фосфору — на 93%, 96, 21,5% відповідно та калію — на 197%, 71,9, 106,3% відповідно (відносно контрольних варіантів ОСВ).

Така оптимізована технологія компостування ОСВ сприяє отриманню біодобрив, які, крім поживних елементів, містять значну кількість агрономічно корисних мікроорганізмів. Їх застосування поліпшить ґрунти агроценозів. Отже, застосування біодобрив на основі ОСВ, з одного боку, сприятиме вирішенню проблеми раціональної утилізації накопиченого на мулових майданчиках осаду, з другого — дасть змогу забезпечити землеробство доступними органічними добривами, про що свідчать результати дослідження.

Висновки

За результатами досліджень відпрацьовано оптимізовану технологію компостування осадів стічних вод (ОСВ) із вуглецевмісними рослинними наповнювачами у вигляді твердих відходів сільськогосподарського виробництва (соломи пшениці озимої, лушпиння насіння соняшнику) з включенням у технологічний процес нового біотехнологічного елемента — інтродукції нового штаму *Microbacterium barkeri* ЛП-1 із підвище-

ними фосфатмобілізувальними властивостями.

Застосування цього нового біотехнологічного прийому в оптимізованій технології біотермічної переробки компостних сумішей на основі ОСВ дає змогу забезпечувати поліпшення якісних агрохімічних показників готового компосту: загального азоту — від 22,4 до 37,5 г/кг; загального фосфору — від 9,6 до 49,2 г/кг; загального калію — від 3,84 до 9,84 г/кг.

Krutyakova V.¹, Pyliak N.², Nikipelova O.³

¹⁻³Engineering and Technological Institute «Biotechnology» of NAAS, 26 Mayatska doroha Str., Khlivodarske township, Biliaivskiyi district, Odesa oblast, 67667, Ukraine; e-mail: ¹valentina.krutyakova@gmail.com, ²nceb2017@gmail.com ³olena.nikipelova2020@gmail.com; ORCID: ¹0000-0002-6578-9524, ²0000-0002-5074-4011, ³0000-0003-3167-6970

Goal. To develop an optimized technology for the production of biofertilizers based on sewage sludge (SS) of biological treatment plants (BTP) "Pivdenna" and "Pivnichna" (Odessa) with the participation of microorganisms with phosphate-mobilizing properties. **Methods.** Generalization and analysis of research materials on biofertilizer production technologies, the calculation method of carbon/nitrogen ratio in composted substrates, agrochemical methods of biofertilizer research. **Results.** Optimized technology of producing biofertilizers involves composting SS with plant fillers with the inclusion in

the technological process of a new biotechnological element — the introduction of a new strain of *Microbacterium barkeri* LP-1, which was isolated from SS of BTP Odessa with high phosphate-mobilizing properties. **Conclusions.** According to the results of research, the optimized technology of composting of municipal solid waste with carbonaceous plant fillers in the form of solid waste from agricultural production (winter wheat straw, sunflower seed husk) with the inclusion of a new biotechnological element — the introduction of a new strain of *Microbacterium barkeri* LP-1 with phosphate-mobilizing properties in the technological process, which allows managing the processes of composting waste (accelerate them) and ensures the improvement of the quality of the finished compost.

Key words: bioconversion, organogenic waste, carbonaceous plant fillers, phosphate-mobilizing microorganisms, organic fertilizer.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovissnyk202201-07>

Бібліографія

1. Gaofei G., Zhaojun L., Fenliang F. et al. Soil biological activity and their seasonal variations in response to long-term application of organic and inorganic fertilizers. *Plant Soil*. 2010. 326 (1). P. 31–44. doi: 10.1007/s11104-009-0186-8

2. Русан В.М., Собкевич О.В., Юрченко А.Д. Організаційно-економічні інструменти державної аграрної політики в Україні: аналіт. доп. Київ: НІСД, 2012. 88 с.

3. Бомба М.Я. Біологічне землеробство: стан і перспективи розвитку. *Передгірне і гірське землеробство і тваринництво*. 2016. № 59. С. 9–18.

4. Ковальов Н.Г. Сучасні проблеми виробництва і використання органічних добрив. *Вісник ВНІМЖ*. 2013. № 2 (10). С. 82–101.

5. Скрильник Є.В., Бацула О.О. Відходи органічного походження: проблеми та перспективи їх

застосування. *Вісник аграрної науки*. 2006. № 4 (спецвипуск). С. 38–41.

6. Бульо В.С., Сорочинський В.В. Вплив гною, сидератів і соломи на гумусний стан ґрунту і відтворення його родючості. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2000. Вип. 42. С. 14–18.

7. Анисимова Т.Ю. Эффективность соломы и баланс питательных элементов в звене севооборота с люпином. *Агротехника*. 2002. № 5. С. 63–70.

8. Камінський В.Ф. Наукові основи оптимізації живлення рослин в сучасних системах землеробства. *Землеробство*. 2018. Вип.2. С.3–6.

9. Верниченко Л.Ю., Мишустин Е.Н. Влияние соломы на почвенные процессы и урожай сельскохозяйственных культур. *Использование соломы как органического удобрения*. Москва: Наука, 1980. С. 3–24.

10. Гаценко М.В., Волкогон В.В. Оптимізація вермикомпостування органіки, збагаченої фосфоритами, за участі фосфатмобілізувальних мікроорганізмів. *Мікробіологічний журнал*. 2010. № 3. С. 14–19.
11. Гаценко М.В., Луценко Н.В., Волкогон В.В. Роль фосфатмобілізувальних мікроорганізмів в оптимізації вермикомпостування органіки, збагаченої фосфоритами. *Основи формування продуктивності сільськогосподарських культур за інтенсивних технологій вирощування*: зб. наук. праць Уманського держ. ун-ту. Київ, 2008. С. 229–235.
12. Неклюдов А.Д., Федотов Г.Н., Иванкин А.Н. Интенсификация процесса компостирования при помощи аэробных микроорганизмов (обзор). *Прикладная биохимия и микробиология*, 2008. Т. 44. № 1. С. 9–23.
13. Штам бактерій *Pseudomonas putida* для одержання біоорганічного добрива: пат. 98052 Україна, МПК (2012.01) C12N 1/20 (2006/01), C05F 15/00, C05F 17/00, C12R 1/40 (2006.04). Гаценко М.В., Луценко Н.В., Волкогон В.В.; заявник і патентовласник Інститут сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН. № а201012764, заявл. 28.10.10; опубл. 10.04.12, бюл. № 7.
14. Дишлюк В.Є., Гаркавий С.І. Екологічно-гігієнічні аспекти застосування осадів стічних вод великих міст і промислових центрів України як нетрадиційних органічних добрив у землеробстві. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2020. Вип. 31. С. 3–15. doi: 10.35868/1997-3004.31.3-15
15. Паенк Т. Законодательство Европейского Союза в области утилизации осадков. *Водоснабжение и санитарная техника*. 2003. № 1. С. 37–41.
16. Долина Л.Ф., Машихина П.Б. Осадки сточных и питьевых вод: проблемы и решение. Днепропетровск: Континент, 2014. 211 с.
17. Крутякова В.И., Пиляк Н.В., Лобан Л.Л. Осадки сточных вод — ресурс для повышения плодородия почв. *Микробные биотехнологии: фундаментальные и прикладные аспекты*: сб. науч. тр. Минск: Беларуская навука, 2017. № 9. С. 378–385.
18. КНД 33-3.3-02-99. Технологічні та агро-екологічні нормативи використання осадів стічних вод міських очисних споруд в сільському господарстві. [Чинний від 1999-02-26]. Вид. офіц. Київ: Аграрна наука, 2000. 38 с.
19. Спосіб виробництва органо-мінерального добрива на основі осаду стічних вод для удобрення рослин сільськогосподарських культур: пат. № 114649 Україна; опубл. 10.03.2017, бюл. № 5.
20. Спосіб отримання компосту на основі осаду стічних вод: пат. Україна; № 102255 опубл. 26.10.2015, бюл. № 20.
21. Waksman S.A. *Soil microbiology*. London: Chapman & Hall, Limited. 1952. 356 p. doi: 10.1002/jpln.19540660213
22. Берестецкий О.А., Возняковская Ю.М., Доросинский Л.М. Биологические основы плодородия почвы. Москва: Колос, 1984. 287 с.
23. Ch'ng H.Y., Ahmed O.H., Kassim S., Ab Majid N. M. Co-composting of pineapple leaves and chicken manure slurry. *International J. Of Recycling of Organic Waste in Agricul ture*. 2013. V. 2. P. 2195–3228.
24. Huang G.F., Fang M., Wu Q T. et al. Co-composting of pig manure with leaves. *Environmental Technology*. 2015. V. 22. P. 1203–1212.
25. Li-li B., Tie-jun Y., Bin W. et al. Evaluation and comparison of composting rabbit manure mixed with mushroom residue and rice straw. *J. Agr. Sci. Tech*. 2013. V. 15. P. 1069–1081.
26. Eiland F., Klamer M., Lind A.M. et al. Influence of initial C/N ratio on chemical and microbial composition during long term composting of straw. *Microb Eco*. 2001. V. 41. № 3. P. 272–280.
27. Пиляк Н.В., Крутякова В.И., Дишлюк В.С. Еколого-мікробіологічна характеристика нових біодобрив на основі осадів стічних вод м. Одеса. *Агроекологічний журнал*. 2020. № 3. С. 86–95.