

Малиновський В.В.

ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет»
Українського державного університету науки і технологій

Міміна Н.Б.

ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет»
Українського державного університету науки і технологій

ТЕХНОЛОГІЯ ОТРИМАННЯ ПОКРАЩУВАЧА ҐРУНТУ ШЛЯХОМ АЕРОБНОГО КОМПОСТУВАННЯ

Теоретично показано, що систематичне застосування інтенсивних технологій землеробства суттєво скорочує родючий шар ґрунту, знижується біорізноманіття, поширюються ґрунтові хвороби та інші. В статті розкрито технологію промислового аеробного компостування відходів тваринництва, а саме підстилкового гною великої рогатої худоби (ВРХ). Наведено тип технологічного устаткування для формування буртів та проведення аеробного компостування в виробничих умовах на відкритому майданчику. Проаналізовано результати біохімічної складової отриманого компосту з двох типів субстратів у різному співвідношенні: гній великої рогатої худоби, підстилкова солома, додавання верхнього болотяного торфу. Розроблена блок-схема необхідних технологічних операцій для отримання покращувача ґрунту аеробним компостуванням відходів тваринництва. Визначено експериментально (за 56 діб) кількість фаз процесу аеробного компостування (сушіння, аерація, аерація з внесенням вологи) обраної сировини при постійному контролі параметрів технологічного процесу (склад, температура, вологість, рН). З'ясовано, що сформовані бурти субстратів для отримання зрілого компосту потребували різну кількість основних операцій: компост з субстрату №1 було отримано за виконанням 6 аерацій, тоді як для компосту з субстрату №2 знадобилося 8 аерацій; субстрат №2 із включенням торфу на відміну з субстратами №1 в процесі компостування потребував внесення більшої кількості вологи (4 та 3 внесення відповідно) для підтримання оптимальних умов аеробного компостування. Показано, що кожна додаткова операція в промислових обсягах суттєво впливатиме на собівартість кінцевого продукту. Встановлено, що компост отриманий із субстрату підстилкового гною з додаванням верхнього торфу майже в 8,75 разів більше за вмістом K_2O від компосту отриманого з підстилкового гною великої рогатої худоби, інші показники (масова частка органічної складової, N , P_2O_5 , K_2O) прийнятні і не мають суттєвих відмінностей. Визначені біохімічні показники одержаного компосту показують можливість його використання як покращувача мікробіоти ґрунту в залежності від потреб рослин та ґрунту що втрачає (чи втрапив) свою родючість.

Ключові слова: аеробне компостування, компост, ґрунт, компостування гною, компостування торфу, органічні відходи, переробка відходів тваринництва, органічні добрива, покращувач ґрунту, мікробіота ґрунту.

Постановка проблеми. Потреба людства постійно збільшується в їжі, що призводить до збільшення дефіциту у площях вирощування культур з необхідністю максимальної віддачі родючості ґрунтів. Щоб задовольнити сучасні виклики у технологіях обробки ґрунту аграрії рухаються в напрямку інтенсивного землеробства: застосування великої кількості гербіцидів, стимуляторів росту рослин, препаратів для їх захисту від шкідників та хвороб. В наслідок систематичного застосування інтенсивних технологій землеробства родючий шар ґрунту суттєво скорочується та має наступні зміни: зменшується водопроникність; погіршується повітряний

режим; знижується біорізноманіття, стійкість до ерозії та дефляції; зникає вода утримуюча здатність; погіршується доступність та знижується кількість поживних речовин для рослин; поширюються ґрунтові хвороби, які передаються рослинам, тваринам, людям та інше.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Гній – це основне органічне добриво у всіх зонах країни, яке являє собою суміш твердих і рідких виділень сільськогосподарських тварин з підстилкою і без неї. У гної містяться всі поживні речовини, необхідні рослинам, і тому його називають повним добривом. Якість гною залежить від виду тварин, складу кормів, кількості і якості підстилки, спо-

собу накопичення й умов зберігання. Залежно від способів утримання худоби розрізняють гній підстилковий (твердий), одержуваний при утриманні худоби на підстилці, і безпідстилковий (напіврідкий, рідкий). Підстилковий гній містить близько 25% сухої речовини й близько 75% води, 0,5% азоту, 0,25% фосфору, 0,6% калію й 0,35% кальцію. До його складу входять також необхідні для рослин мікроелементи, зокрема марганець, бор, мідь, цинк, молібден на ін. [1]. Як в багатьох країнах світу так і в Україні заборонено вносити в ґрунт необроблений гній. Побічні продукти тваринного походження, що належать до категорії II, повинні бути використані для виробництва органічних добрив або покращувачів ґрунту, оброблені або перероблені одним або кількома конкретними способами [2]. Внесення необробленого гною призводить до негативних наслідків, а саме: збільшення кількості патогенних мікроорганізмів (збудників захворювання рослин, людей та тварин); зростання бур'янів (збільшується застосування гербіцидів, що винищує біорозмаїття ґрунту) [3–5]; засолення ґрунтів і погіршення їх структури (щонайбільше у регіонах з недостатньою кількістю опадів) [6–7]; призводить до мінералізації органічної речовини самого ґрунту та зменшенню доступності поживних речовин для рослин [8–9]; додавання занадто великої кількості гною може призвести до вимивання нітратів, витоку поживних речовин, надмірного вегетативного росту та, для деяких добрив, до пошкодження сіллю. А використання свіжого гною там, де вирощують продовольчі культури, створює ризик зараження хвороботворними патогенами [10]; азот у гної не доступний для зростаючих рослин відразу, оскільки велика його частина може бути зв'язана в органічних формах. Органічний азот стає доступним для рослин лише після того, як ґрунтові мікроорганізми розкладають органічні сполуки, перетворюючи вивільнений N на NH_4 , що відбувається протягом кількох років [10].

У більшості країн світу на рівні законодавства прийняті рішення щодо обробки гною, основною метою яких є знезараження побічних продуктів тваринництва. Одним з методів обробки гною та інших органічних відходів тваринництва є компостування. Зараз використовують три основних методи компостування: анаеробне, аеробне, вермікультивування. Для дослідження обрано аеробне компостування підстилкового гною ВРХ, що представляє собою процес який протікає за оптимальними показниками рівня кисню, вологи та температури. Отже актуальним є одержання покращувача ґрунту багатим на гумус, що містить

найбільш стабільні органічні сполуки, біомасу мікроорганізмів і продукти хімічної взаємодії цих компонентів.

Постановка завдання. Дослідити процес аеробного компостування підстилкового гною ВРХ з додаванням верхового торфу для одержання покращувача ґрунту.

Виклад основного матеріалу. Експеримент проводили на відкритому майданчику та сировинній базі фермерського господарства України ПП «ЕВРОСЕМ», Київська область Переяслав-Хмельницький район, с. Мала Каратуль. Технічну та технологічну підтримку проведення дослідження забезпечила компанія ТОВ «О.П.Є.». В технології аеробного компостування використовувалась спеціальна техніка: самохідний аератор BACHHUS A30, який забезпечував такі функції як сушіння, змішування, подрібнення, насичення киснем, зволоження субстратів та рівномірне внесення біопрепаратів; телескопічні навантажувачі DIECI Agri Star 30.7 та Manitu MLT X735; тягач CLAAS XERION 5000 із діжкою для води на 8 тон. Аналіз змін в субстратах аеробного компостування визначали в польових умовах візуально, замірами основних показників температури робили з використанням біметалевого термометра для компосту TFA 192008; для вимірювання кислотності і вологості використовували аналізатор ґрунту ZD-05 (РН 3–8; RH: 10–80%); перевірку показників рН робили з допомогою індикаторних смужок на рН 4,0–7,5 JTP pH Indicator Strips (125.2C); аналіз хімічного складу початкового субстрату та зрілого компосту здійснювали за ДСТУ ISO 10012:2005.

Виклад основного матеріалу. Об'єктом дослідження є підстилковий гній – складна полідисперсна система, яка включає тверді, рідкі і газоподібні речовини. Склад гною залежить від виду тварин, складу спожитих ними кормів, кількості і якості підстилки, способу накопичення й умов зберігання. Залежно від способів утримання худоби розрізняють гній підстилковий (твердий), одержуваний при утриманні худоби на підстилці, і безпідстилковий (напіврідкий, рідкий). Підстилкова посічена солома з місця утримання худоби підприємства, верховий торф. Утримання ВРХ здійснювалось в критих корівниках від 1000 т на рік. Дослідження технології виробництва покращувача мікробіоти ґрунту шляхом аеробного компостування проводили на відкритому майданчику виробництва ПП «ЕВРОСЕМ» Переяслав-Хмельницького району, Київської області (рис. 1а). Верховий торф із часткою мінеральної речовини

(зольністю) від 35% до 50% видобували поруч із селом Ташань, Переяслав-Хмельницького району, Київської області України (рис. 1б).

Підстилковий гній вивозили на місце тимчасового зберігання відкритого компостувального майданчика. Лінійні параметри формування (рис. 3а) та вага експериментальних буртів для аеробного компостування наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Наповнення бурту сировиною	A	B	C	Початкова вага бурта т
	м	м	м	
Субстрат № 1	3,0	1,2	40,5	58,0
Субстрат № 2	3,0	1,2	57,0	72,0

Після накопичення достатнього обсягу (більше 1000 т) сировини для субстратів сформовано два експериментальні бурти (рис. 2) з двох типів субстратів під дослідження.

Для порівняльного аналізу якості одержаного компосту (базового), як покращувача мікробіоти ґрунту сформовано субстрати з додаванням різних складників: твердий гній ВРХ, який включає в себе тверду фракцію (солома, екскременти) та рідку фракцію (сеча, вода), верховий торф, домішки (мікробіофіти). Складові субстратів закладених на аеробне компостування наведені в таблиці 2.

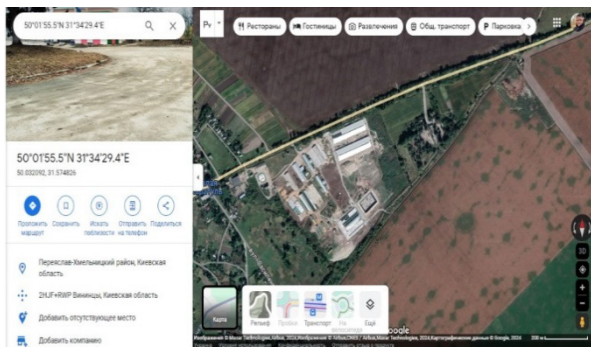
Таблиця 2

Склад сформованих субстратів на аеробне компостування

Найменування	Складові субстратів, %	
	Гній ВРХ	Верховий торф
Субстрат № 1	100	-
Субстрат № 2	90	10

Технологічний контроль процесу аеробного компостування для отримання стабільного стану компосту, здійснювали протягом 56 діб за блок-схемою (рис. 3). Необхідними умовами для запуску процесу аеробного компостування підстилкового гною ВРХ на відкритому майданчику є, температура (середня температура навколишнього середовища у місті проведення досліду не нижче +10°C), вологість у субстраті (від 45% до 65%), рН, співвідношення С:N. Для оптимального перебігу активного розвитку мікроорганізмів в процесі компостування важливе значення має вуглецево-азотний баланс (співвідношення С:N) у компостованому субстраті. Оптимальним є співвідношення від 20:1 до 30:1. Якщо азоту мало процес розкладання сповільнюється, якщо багато виникає неприємний запах.

На початку експерименту середньодобова температура повітря складала +26°C, показники рН двох типів субстратів 10:1 та 15:1, що є можливими умо-

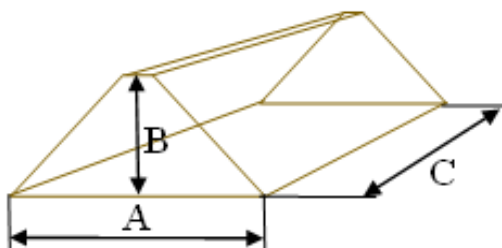


а)



б)

Рис. 1. Загальний вигляд обраної місцевості для проведення експерименту: а) майданчик для відкритого компостування; б) процес видобування верхового торфу



а)



б)

Рис. 2. Закладання експериментальних буртів: а) схема лінійних параметрів буртів; б) сформований під компостування бурт

вами для запуску процесу аеробного компостування на відкритому майданчику. Оптимальний діапазон вологості 56,9% мав субстрат № 2, а субстрат № 1 з вологістю 71,7% потребував додаткової операції з сушіння, яка виконується перемішуванням (самохідним аератором ВАСKHUS А30) щодо попередження в субстраті активізації анаеробних процесів.

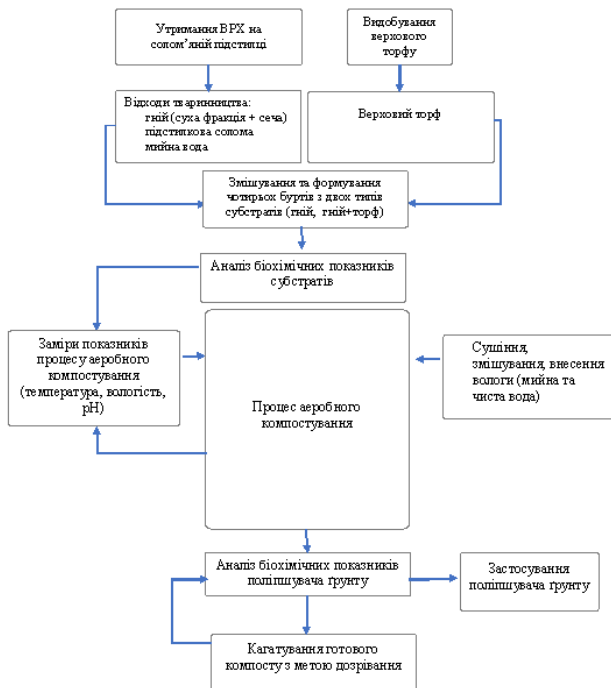


Рис. 3. Блок-схема процесу аеробного компостування

Досліджений біохімічний склад сформованих субстратів (табл. 3) за співвідношенням C:N = 10:1 (субстрат № 1), C:N = 15:1 (субстрат № 2) достатній для впровадження промислового процесу аеробного компостування на відкритому майданчику. Вміст кількості ікро та макроелементів в складі субстратів обумовлена біохімічними показниками складових кормової бази та питної води, що використовувалась в раціоні тварин.

Першим проведено активне та рівномірне збагачення киснем субстратів (аерація) самохідним аератором ВАСKHUS А30. В ході компостування аератор виконує важливі функції, а саме сушіння (внесення вологи), подрібнення, змішування сировини, рівномірний розподіл бактерій які переводять азот з активної форми в стабільну, пов'язану гумусними кислотами по всьому об'єму буртів, зменшення температури в пікових показниках термофільної фази. Закономірність проведення етапів аерацій та внесення води обумовлено показниками замірів основних параметрів субстратів: температура, вологість та рН (рис. 5).

Таблиця 3

Результати дослідження субстратів на біохімічний склад

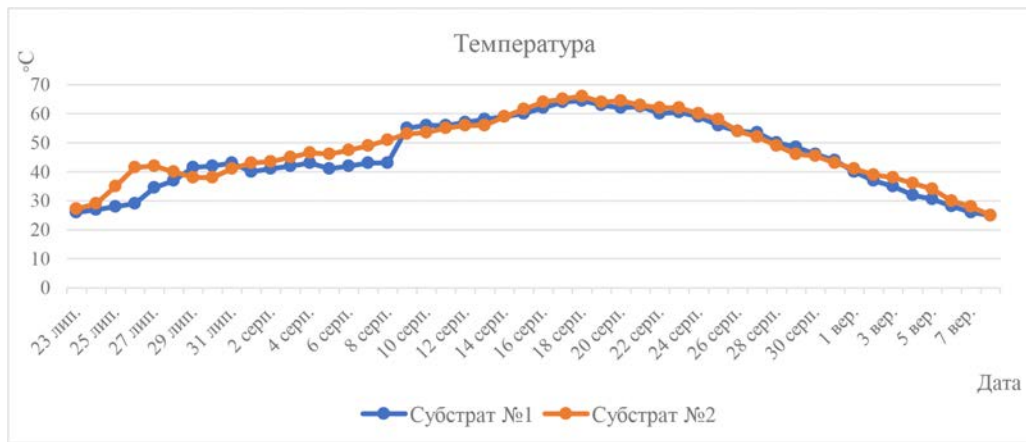
Показники	Субстрат № 1	Субстрат № 2
	Фактичний вміст, г/кг	Фактичний вміст г/кг
Масова частка сухої речовини	283,00	430,10
Масова частка органічної речовини	615,00	410,00
Загального вуглецю	272,30	153,00
N	7,6	4,5
P ₂ O ₅	3,7	1,7
K ₂ O	9,9	6,6
Cu	0,0138	0,0538
Fe	4,675	9,325
Zn	0,0887	0,0894
Co	0,002	0,0024
Ni	0,0041	0,0023
Mn	0,277	0,327
Pb	0,00101	0,00088
Cd	0,001	0,0016
Cr	0,04049	0,03421
Співвідношення C:N	10:1	15:1
Кислотно-лужний баланс, рН	9,20	8,80

Впродовж 56 діб проведення досліджень процесу аеробного компостування виконано різна кількість аерацій буртів: 6 аерацій бурта з субстрату № 1, та 8 аерацій бурта з субстрату № 2; кількість аерацій з внесенням води теж була різна – 3 внесення в бурт субстрату №1 та 4 внесення в бурт субстрату № 2. Всі операції виконувались з метою підтримання оптимального мікроклімату для розвитку колоній бактерій та мікроміцетів субстратів для повноцінного проходження основних фаз компостування. Температура та вологість за межами оптимальних діапазонів (40–60°C, 50–60% вологості) або низький рівень кисню знижують біологічну активність мікроорганізмів; високий рівень вологості зменшує кількість кисню, а низький рівень вологості може призвести до підвищення рівня температури.

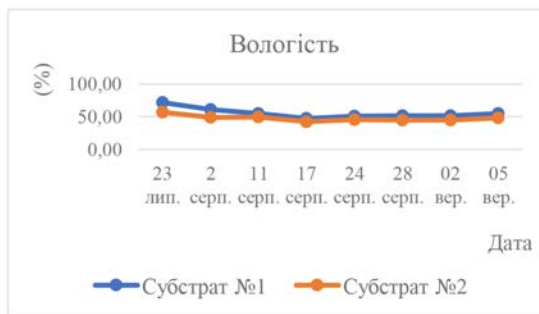
На початковому етапі аеробного компостування формування буртів із субстратів та проведення першої аерації, температура підвищується (рис. 6 а) первинно в другому бурті (вище 45°C), що обумовлено розкладанням субстрату термофільними мікроорганізмами (актиноміцети, гриби та найпростіші). В субстратах №1, 2 на



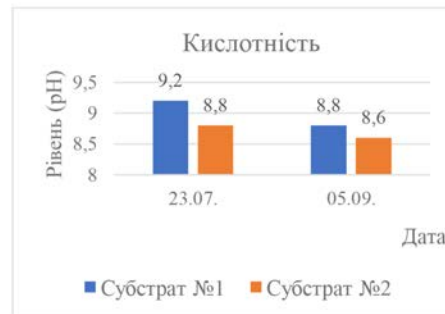
Рис. 4. Етапи дослідження аеробного компостування: а) аерація субстрату самохідним аератором BASKHUS A30; б) вимірювання показників субстрату (температура, вологість, рН)



а)



б)



в)

Рис. 5. Параметри показників субстрату в процесі аеробного компостування: а) температура, б) вологість, в) кислотність

12 добу проведено другу аерацію. Температурні показники субстрату № 2 (із включенням верхового торфу) почали поступово зростати тоді як показники субстрату № 1 ще п'ять діб тримали температуру в діапазоні від 40°C до 45°C. Відносна вологість субстрату № 1 знизилась досягнувши оптимальних для аеробного компостування показників в діапазоні 50%–60%. З 17 по 21 добу у субстратах № 1 та № 2 перехід в тер-

мофільну фазу зі зростанням температури від 57°C до 65°C та з 56°C до 66°C відповідно на 25 добу. Четверту аерацію буртів проведено із внесенням води (основна мета сповільнення процесу стрімкого зросту температури підвищення зольності компосту). Зростання температури в бурті субстрату № 2 не сповільнилась, тому було проведено додаткової п'ятої аерації без додавання води. Отже, термофільна фаза субстратів № 1 та

№ 2 протікали 16 діб, що є достатнім для повноцінного знезараження органіки в процесі аеробного компостування, після чого фіксуємо нормальний перехід в мезофільну фазу. Для повноцінного проходження основних фаз аеробного компостування необхідним є проведення процесів (сушіння, внесення вологи, насичення киснем, подрібнення складових субстратів) що сприяють підтриманню оптимального мікроклімату та розвитку колоній бактерій мікроміцетів субстратів (рис. 6). Проведено лабораторні дослідження хімічного складу готового компосту (табл. 4).

Таблиця 4

Біохімічні показники компосту

Основні показники	Компост одержаний з сировини:	
	Субстрат № 1	Субстрат № 2
	Фактичний вміст, г/кг	Фактичний вміст, г/кг
Масова частка органічної речовини	450	450
N	8,4	8,1
P ₂ O ₅	5,2	4,5
K ₂ O	14,4	12,6
Кислотно-лужний баланс, рН	8,8	8,6

Основними показниками для агрокомпаній проведеного дослідження виробництва покращувача мікробіоти ґрунту є: біохімічні показники (масова частка органічної складової; діючої речовини N, P₂O₅, K₂O; рівень рН); економічні показники (кількість операцій, об'єм внесення води). Масова частка органічної речовини 45% в компості отриманого з двох типів субстратів має однаково високий показник, бо саме органічна складова і є основою для відновлення біорозмаїття та родючості ґрунту.

Висновки. Проведено теоретичний аналіз умов і засобів технології промислового аеробного

компостування на відкритому майданчику. Експериментально (за 56 діб) визначено кількість фаз аеробного компостування (сушіння, аерація, аерація з внесенням вологи) обраної сировини при постійному контролі параметрів технологічного процесу (склад, температура, вологість, рН). Для отримання покращувачів мікробіоти ґрунту кожен з субстратів потребував різну кількість основних операцій. Компост з субстрату №1 було отримано за виконанням 6 аерацій, тоді як для компосту з субстрату № 2 знадобилося 8 аерацій. Субстрат № 2 із включенням торфу у зрівнянні із субстратами № 1 в процесі компостування потребував внесення більшої кількості вологи (4 та 3 внесення відповідно) для підтримання оптимальних умов аеробного компостування, що у свою чергу збільшує витрати на виготовлення покращувача ґрунту. Отже, кожна додаткова операція в промислових обсягах суттєво впливає на собівартість кінцевого продукту. Компост з субстрату № 2 (з включенням торфу) має більш високі показники по наявності діючої речовини (N, P₂O₅, K₂O), що є дуже важливим для розрахунків норм внесення добрив в залежності від типів культур та стану ґрунту обраного для посіву поля.

Фінансування. Це дослідження не отримало зовнішнього фінансування.

Подяки. ПП «ЕВРОСЕМ» за надання сировини, необхідної техніки, та можливості проведення наукового дослідження на виробничій ділянці свого підприємства.

ТОВ «О.П.С.» за надане обладнання, та проведення необхідних операцій в технологічному процесі промислового аеробного компостування на відкритому майданчику.

Асоціації «Компосту» за консультації та підтримку щодо технологічного процесу.

Конфлікт інтересів. Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Список літератури:

1. Лагутенко О.Т. Навчальне видання агроекологія «Екологічні аспекти використання добрив у землеробстві, розділ VII, с. 91.
2. ЗАКОН УКРАЇНИ про побічні продукти тваринного походження, не призначені для споживання людиною. Розділ III, Стаття 15., п.1
3. Bernal M.P., Alburquerque J.A., Moral R., Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review, *Bioresource Technology*, Volume 100, Issue 22, 2009, P. 5444-5453.
4. Marilyn C. Erickson, Jean Liao, Li Ma, Xiuping Jiang, Michael P. Doyle, Inactivation of Salmonella spp. in cow manure composts formulated to different initial C:N ratios, *Bioresource Technology*, Volume 100, Issue 23, 2009. P. 5898-5903.
5. Wichuk, Kristine & Tewari, Jalpa & McCartney, Daryl. Plant Pathogen Eradication During Composting: A Literature Review. *Compost Science & Utilization*. 19.4, 2013. P. 244-266.
6. Tognetti, Celia & Mazzarino, Maria & Laos, Francisca. Cocomposting biosolids and municipal organic waste: Effects of process management on stabilization and quality. *Biology and Fertility of Soils*. 2007. P. 387-397.

7. Hepperly, Paul, et al. "Compost, manure and synthetic fertilizer influences crop yields, soil properties, nitrate leaching and crop nutrient content." *Compost Science & Utilization* 17.2, 2009. P. 117-126.

8. Mengchun Gao, Fangyuan Liang, An Yu, Bing Li, Lijuan Yang, Evaluation of stability and maturity during forced-aeration composting of chicken manure and sawdust at different C/N ratios, *Chemosphere*, Volume 78, Issue 5, 2010. P. 614-619.

9. Nieder, Rolf, and Jörg Richter. "C and N accumulation in arable soils of West Germany and its influence on the environment-Developments 1970 to 1998." *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 163.1, 2000. P. 65-72.

10. Mahr S., University of Wisconsin, Madison. Using Manure in the Home Garden. <https://hort.extension.wisc.edu/articles/using-manure-in-the-home-garden/>

Malynovskyi V.V., Mitina N.B. TECHNOLOGY OF GETTING SOIL IMPROVER BY AEROBIC COMPOSTING

Theoretically, it has been shown that the systematic application of intensive agricultural technologies significantly reduces the fertile soil layer, destroys biodiversity, spreads soil diseases, and so on. The article discloses the technology of industrial aerobic composting of animal husbandry waste, namely cattle manure. The type of technological equipment for the formation of sides and carrying out aerobic composting in production conditions on an open site is given. The results of the biochemical composition of the obtained compost from two types of substrates in different proportions were analyzed: cattle manure, bedding straw, and the addition of upland swamp peat. A block diagram of the necessary technological operations for obtaining a soil improver by aerobic composting of livestock waste has been developed. The number of phases of the aerobic composting process (drying, aeration, aeration with the introduction of moisture) of the selected raw materials was determined experimentally (in 56 days) with constant control of the parameters of the technological process (composition, temperature, humidity, pH). It was found that the formed sides of the substrates required different number of basic operations to obtain mature compost: compost from substrate No. 1 was obtained by performing 6 aerations, while compost from substrate No. 2 required 8 aerations; substrate No. 2 with the inclusion of peat, in contrast to substrates No. 1, in the composting process required the introduction of a larger amount of moisture (4 and 3 introductions, respectively) to maintain optimal conditions for aerobic composting. It is shown that each additional operation in industrial volumes will significantly affect the cost price of the final product. It was established that the compost obtained from the substrate of litter manure with the addition of top peat is almost 8,75 times higher in K_2O content than compost obtained from the litter manure of cattle, other indicators (mass fraction of the organic component, N, P_2O_5 , K_2O) are acceptable and not have significant differences. The determined biochemical indicators of the obtained compost show the possibility of its use as an improver of soil microbiota depending on the needs of plants and soil that is losing (or has lost) its fertility.

Key words: aerobic composting, compost, soil, manure composting, peat composting, organic waste, livestock waste processing, organic fertilizers, soil improver, soil microbiota.