

© О.С. Ковров¹, А.А. Гетта¹, В.В. Федотов¹, В.Ю. Грунтова¹, А.Д. Баланюк¹
¹Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

ПЕРСПЕКТИВИ ФІТОРЕКУЛЬТИВАЦІЇ ДЕГРАДОВАНИХ ЗЕМЕЛЬ КОМПОЗИТНИМИ БІОГУМУСОВИМИ БРИКЕТАМИ

© O. Kovrov¹, A. Hetta¹, V. Fedotov¹, V. Gruntova¹, A. Balaniuk¹
¹Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

PROSPECTS FOR PHYTORECOLTIVATION OF DEGRADED LANDS BY COMPOSITE BIOHUMUS BRIQUETTE

Мета. Дослідження процесу вермікультивування, як процесу переробки органічних відходів каліфорнійськими черв'яками виду *Eisenia fetida* та обґрунтування оптимального складу композитної суміші біогумусових брикетів для потреб фіторекультивування деградованих земель.

Методика дослідження базується на теоретичному аналізі технологій вермікультивування, лабораторних досліджень щодо впливу температури та вологості на ріст популяції черв'яків та продукції біогумусу; вегетаційних експериментах з використанням багатокомпонентних біогумусових сумішей з насінням дикорослих злаків для фіторекультивування і забруднених земель.

Результати дослідження. Досліджено процес росту біомаси черв'яків виду *Eisenia fetida* та накопичення біогумусу у часі залежно від температури середовища. Наведено результати лабораторних біоіндикаційних експериментів з композитними брикетами, що складаються з біогумусу, суглинку та насіння диких злаків. Проведено вегетаційні дослідження на комплексних багатокомпонентних сумішах для аналізу ефективності пророщування насіння дикорослих злаків вівсюга пустого (*Avena fatua*) та стоколосу безостого (*Brōmus inērmis*) для рекультивування земель. Встановлено, що оптимальна вологість, при якій спостерігався найбільший вихід біомаси вермікультури, становить 60–70 %, а температурний діапазон варіює в межах 20–30°C.

Наукова новизна. Встановлено, що найбільш оптимальне для ростових показників рослин співвідношення біогумусу та суглинку у складі композитних брикетів становить 20:30 і 30:20 за масою, що дозволяє обґрунтовувати робочі суміші фітомеліорантів для технологій біологічної рекультивування земель.

Практичне значення. Застосування продуктів вермікультивування допомагає підвищити родючість ґрунту, зменшуючи потребу у синтетичних добривах. Виконані лабораторні дослідження свідчать про перспективність використання біогумусу у вигляді композитних брикетів в практиці фіторекультивування деградованих та забруднених земель.

Ключові слова: вермікультивування, каліфорнійський черв'як *Eisenia fetida*, біогумус, композитний брикет, дикорослі злаки.

Вступ. Збереження родючості ґрунтів є одним з ключових напрямів рекультивування і відновлення наземних екосистем відповідно до стратегічних цілей сталого розвитку [1].

Сучасним способом біологічної рекультивування є використання продукту життєдіяльності червоних каліфорнійських черв'яків, а саме біогумусу. Вермікультивування є відомим напрямом утилізації різноманітних органічних

відходів. Черв'яків можна вирощувати як у відкритих, так і закритих приміщеннях. При цьому, в процесі переробки черв'яками 1 т сухого гною отримується до 600 кг біогумусу з вмістом 25–40% гумусових речовин. Останні 400 кг органічних поживних речовин трансформуються в 100 кг біомаси живих черв'яків.

Вермікультування (від лат. *Vermes* – черв'як), як перспективний напрямок біотехнології дозволяє вирішити на біологічній основі низку екологічних і господарських проблем суспільства: утилізацію органічних відходів, підвищення родючості ґрунту, одержання високоякісного екологічно чистого органічного добрива, збільшення виробництва якісної сільськогосподарської продукції тощо [2].

Біомаса черв'яків містить 17–23% сухої речовини і в сухій речовині: протеїну 60–80%, вуглеводів – 17, ліпідів – 6–9, мінеральних солей – 15, азотистих екстрактивних речовин – 7–16%, багато ферментів, вітамінів, мікроелементів, що дозволяє використовувати її як джерело повноцінного білка для збалансування раціонів сільськогосподарських тварин [3].

У біогумусі акумульована велика кількість макро- і мікроелементів, є ростові речовини, вітаміни, антибіотики, амінокислоти і корисна мікрофлора. Він гідрофільний, має високу водостійкість, вологоємність, механічну міцність, відсутнє насіння бур'янів. Біогумус може утримувати до 70% води і в 15–20 разів ефективніший за будь-яке органічне добриво [4].

Агрохімічні властивості біогумусу мають такі показники: вологість 45,8–55,2 %; вміст органічної речовини 44,8–54,2 %; гумусу 9,7–12,3 %; кислотність (рН) 7,2–8,0; загального азоту 1,8–3,1 %; фосфору (P₂O₅) 1,3–2,6 %; калію (K₂O) – 1,6–3,8 % [5].

Використання композитних біогумусових брикетів дає можливість прискорити відновлення техногенних ландшафтів до природного стану в технологіях фітореємедіації, сприяти біорізноманіттю та відновленню стабільної екологічної системи [6].

Метою роботи є дослідження процесу вермікультування, як процесу переробки органічних відходів каліфорнійськими черв'яками виду *Eisenia fetida* та обґрунтувати склад композитної суміші біогумусових брикетів для фітореємедіації деградованих земель.

Для досягнення зазначеної мети були поставлені такі задачі:

1. Дослідити умови росту черв'яків виду *Eisenia fetida* і процес утворення біогумусу і ефективність його використання для композитних фітомеліоративних сумішей.

2. Провести вегетаційні дослідження на комплексних багатокомпонентних сумішах для аналізу ефективності пророщування насіння дикорослих злаків, зокрема вівсяга пухлого (*Avena fatua*), та стоколоса безостого (*Brōmus inērmis*).

3. Обґрунтувати технологічні рішення стосовно виготовлення і застосування біогумусових брикетів вермікультування для рекультивації земель.

Для вирішення поставлених завдань використані наступні методи дослідження: науковий пошук за літературними та електронними джерелами – при оцінці природного стану земель після проведення гірничих робіт; аналіз

діяльності верміферм та переробки органічних відходів за допомогою черв'яків виду *Eisenia fetida*; вегетаційний метод – лабораторний метод вивчення рослин, що полягає у вирощуванні їх в судинах на багатокомпонентних сумішах; методи статистичного аналізу.

Виклад основного матеріалу дослідження. Інтенсивність фізіологічних і біохімічних процесів в організмі черв'яків знаходиться в прямій залежності від температури місця існування, вологості органічного субстрату, рН середовища та інших другорядних чинників.

Температура і рН. В лабораторних умовах проводились дослідження життєвого циклу черв'яків з урахуванням впливу найбільш вагомих екологічних факторів, зокрема вологості субстрату та температури. Культивування виконувалось у пластикових ємностях розмірами 45x25x12 см, а субстратом для вирощування черв'яків було обрано опале листя з лісопаркової зони м. Дніпро (рис. 1, а). В процесі життєдіяльності продукували біогумус (рис. 1, б), маса якого вимірювалась протягом тестового періоду.



Рис. 1. Субстрат для культивування *Eisenia fetida* (а) та продукт – біогумус (б)

Встановлено, що найбільш сприятлива температура, при якій *Eisenia fetida* зростає з максимальною швидкістю і зберігає високу активність, становить 20–30°C. Для виду *Eisenia andrei* температура повинна бути +18-28°C [7]. Вплив температури на збільшення ваги *Eisenia fetida* представлено на рис. 2.

Результати досліджень виявили пряму залежність швидкості росту вермікультури та продукції біогумусу від вологості середовища при постійній температурі 25°C. Вплив температури на продукцію маси біогумусу черв'яків *Eisenia fetida* показано на рис. 3.

Вологість. Оптимальною величиною вологості органічного субстрату вважають 60–80 %. У випадку прогресуючого підсихання спостерігається переміщення черв'яків у більш вологі зони. Якщо вміст вологи у ґрунті тривалий період нижчий за 30–35 %, чисельність черв'яків знижується, хоча вони можуть втратити без шкоди 50–60 % води від маси тіла.

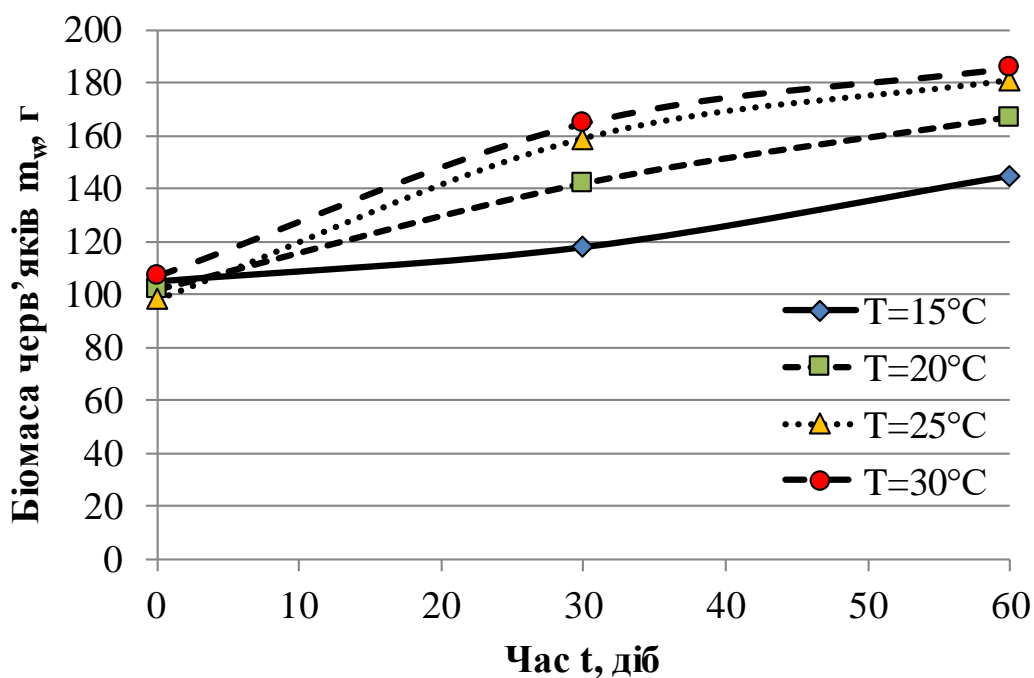


Рис. 2. Вплив температури на біомасу *Eisenia fetida*

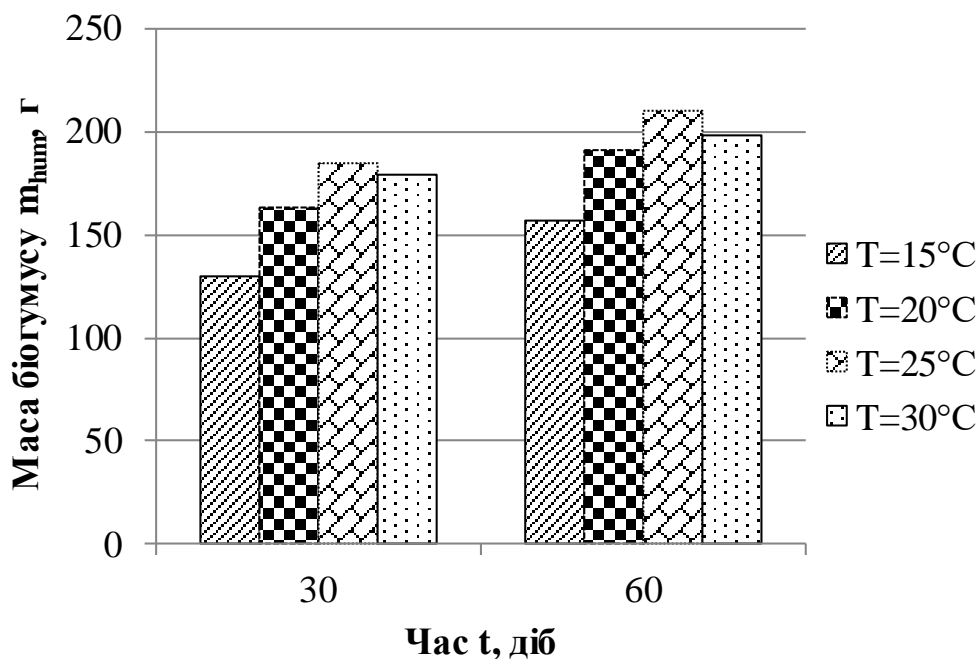


Рис. 3. Вплив температури на продукцію маси біогумусу

При вологості ґрунту 22 % черв'яки гинуть протягом тижня. При вирощуванні дощових черв'яків в лабораторних умовах їхня максимальна маса та плодючість досягається при вологості субстрату 70–85 %, бо ця величина близька до вмісту води у тілі дощового черв'яка.

Кислотність (pH). Оптимальним для черв'яків є нейтральне середовище з $pH = 7,0$. Допускається використання субстрату з pH від 6,2 до 8,0. Черв'яки можуть загинути, якщо реакція середовища кисла ($pH \leq 5,5$) або сильно лужна ($pH \geq 8,5$).

В лабораторних умовах були виконані дослідження щодо потенціалу застосування продуктів вермікультивування для фіторекультивації порушених земель. Основна ідея досліджень полягала у визначенні оптимального складу композитних біогумусових сумішей для фіторемедіації земель. Композитні суміші (табл. 1) складались з трьох інгредієнтів (табл. 1): жовто-бурі суглинки, біогумусова суміш (продукт вермікультивування) і насінний матеріал дикорослих рослин сімейства Злаків, зокрема вівсюга (*Avena fatua*), та стоколоса безостого (*Brōmus inērmis*).

Таблиця 1

Склад композитних біогумусових брикетів

Номер зразка	Інгредієнти, г		
	Біогумусова суміш	Суглиниста суміш	Насіння
№ 1	0	50	2
№ 2	10	40	2
№ 3	20	30	2
№ 4	30	20	2
№ 5	40	10	2
№ 6	50	0	2

В результаті вегетаційних експериментів визначено найбільш доцільні співвідношення складових композитних біогумусових сумішей для використання в технологіях рекультивації деградованих земель. Так, у зразках 3 і 4 насіння проросло активніше порівняно з іншими зразками, що свідчить про те, що визначене співвідношення компонентів (20:30 і 30:20 за масою) було найбільш оптимальним для ростових показників рослин (рис. 4). Склад композитних брикетів та результати ростового тесту з аналізом кількості проростків, маси коренів та зеленої маси, представлені в табл. 2.

Таблиця 2

Склад композитних брикетів та результати ростового тесту

Номер зразка	Склад суміші композитного брикету, г			Результати ростового тесту		
	Біогумусова суміш	Суглиниста суміш	Насіння	Кількість проростків, шт	Маса коренів, г	Зелена маса, г
№ 1	0	50	2	5	0,29	1,12
№ 2	10	40	2	17	0,52	8,24
№ 3	20	30	2	46	2,78	39,1
№ 4	30	20	2	52	3,59	51,1
№ 5	40	10	2	26	1,07	32,1
№ 6	50	0	2	24	0,76	21,2

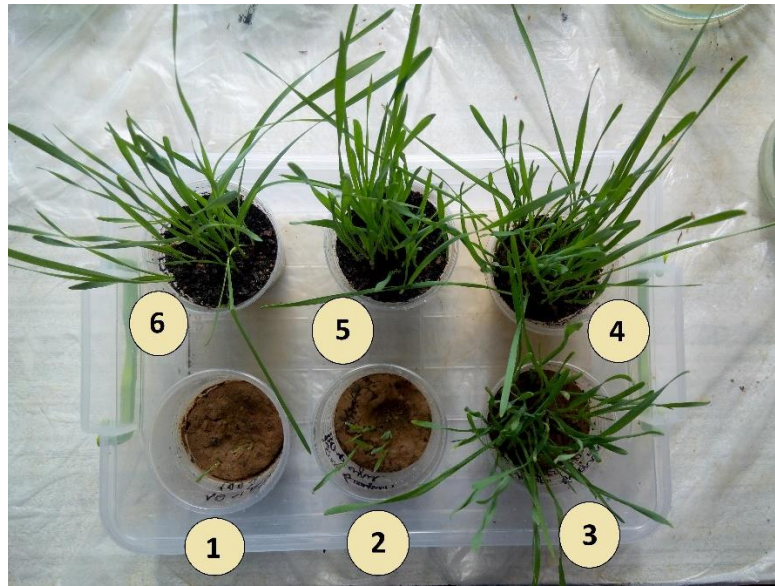


Рис. 4. Результати вегетаційного тесту

Графіки залежності зеленої маси та маси коренів до кількості проростків показані на рис. 5 та 6.

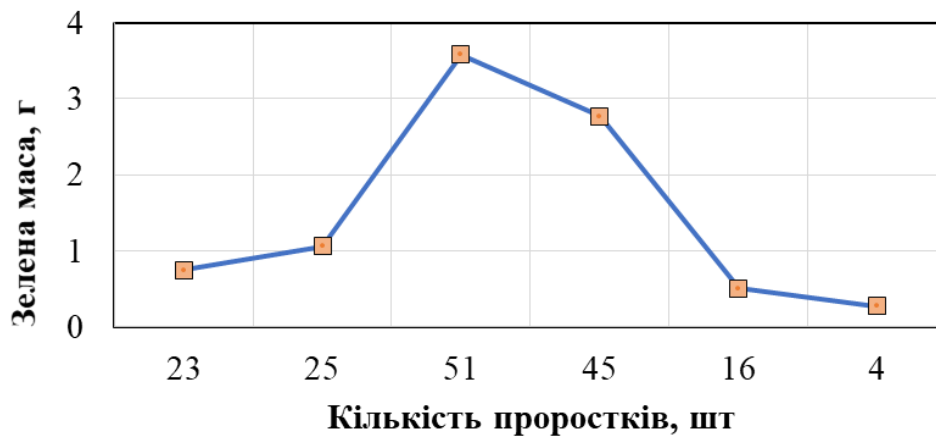


Рис. 5. Залежність зеленої маси до кількості проростків

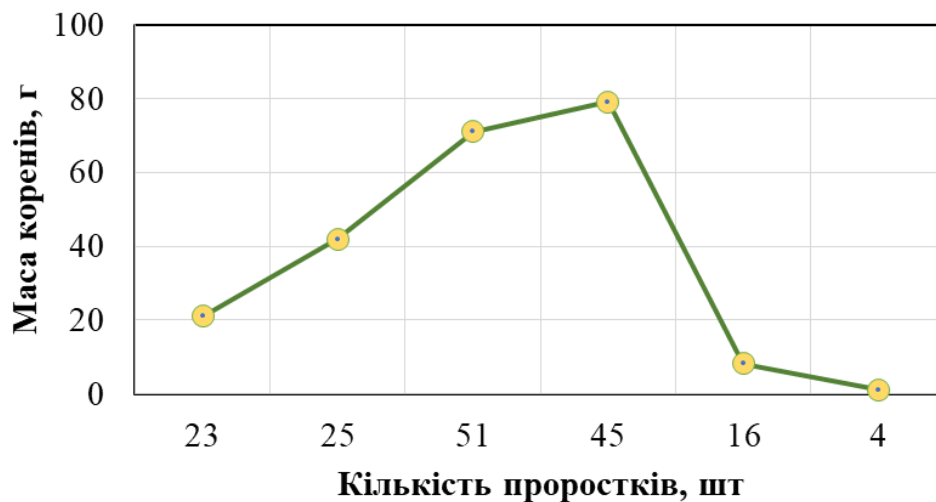


Рис. 6. Залежність маси коренів до кількості зеленої маси

Аналізуючи результати вегетаційного тесту можна зробити висновок, що застосування суто суглинків для рекультиваційних заходів є недоцільним через низький вміст поживних речовин, що обмежує потенціал фіторе mediaції порушених земель. Тому, застосування композитних біогумусових сумішей з помірним вмістом гумінової фракції дає оптимальний результат в ростових тестах.

Висновки. Вегетаційні тести свідчать про доцільність використання біогумусу вермікультивування у вигляді композитних сумішей для фіторе mediaції порушених земель.

Наукова новизна отриманих результатів пов'язана з перспективою застосування біогумусового продукту вермікультивування у складі композитних сумішей з суглинком та насінням дикорослих злаків для фіторекультивації земель. При цьому, найбільш оптимальне співвідношення біогумусу та суглинку у складі композитних брикетів становить 20:30 і 30:20 за масою, що дозволяє обґрунтувати робочі суміші фітомеліорантів.

Практичне значення отриманих результатів полягає у визначенні способу фіторекультивації з використанням біогумусових брикетів з насінням стійких дикорослих злаків, що допоможе поліпшити стан та продуктивність порушених земель, забезпечити механічну стабільність, що важливо для закріплення схилів, довготривалий і ефективний захист поверхні схилів від водної і вітрової ерозії.

Отримані результати дають підставу для розвитку запропонованого методу фіторекультивації порушених і забруднених земель з використанням дикорослих видів злаків для створення піонерних рослинних угруповань, що є ефективним попереднім етапом біологічного відновлення ландшафту.

Disclaimer / Дисклеймер

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.

Фінансується Європейським Союзом. Однак висловлені погляди та думки належать лише авторам і не обов'язково відображають погляди Європейського Союзу чи Європейського виконавчого агентства з освіти та культури (EACEA). Ні Європейський Союз, ні орган, що надає гранти, не можуть нести за них відповідальності.

Перелік посилань

1. Панас, Р.М. (2005). *Рекультивація земель*. Новий світ.
2. Сендецький, В.М., Колісник, Н.М., & Мельник, І.П. (2010). *Спосіб одержання біологічного стимулятора росту рослин «Вермійодіс»* (Патент 55998 Україна, МПК7 A01N59/00).
3. Сендецький, В.М. (2009). Еколого-агрохімічне обґрунтування переробки органічних відходів агропромислового комплексу в біодобриво «Біогумус» методом вермікультивування. *Агроекологічний журнал*, 3, 295–297.
4. Ковров, О.С., & Колісник, К.В. (2023). Біологічна рекультивація гірничопромислових земель біогумусовими матеріалами. *Міжнародна науково-технічна конференція «MININGMETALTECH 2023 – Гірничо-металургійний комплекс: інтеграція бізнесу, технологій та освіти»*, 29–30 листопада 2023 року, 196–199. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-361-3-144>.

5. Кулик, А.П., & Гармаш, С.М. (2000). Технологія переробки відходів сільськогосподарського виробництва. *Новини Українського товариства інженерів та механіків*, 2(1, 2), 55–56.
6. Kovrov, O., Klimkina, I., & Kodachenko, L. (2019). Justification of the method for phytoremediation of degraded and contaminated lands by composite vermicompost briquettes. *Technology Audit and Production Reserves*, 5(3(49)), 28–32. <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2019.183078>
7. Харитонов, Н.Н., Кулік, О.П., Гармаш, С.Н., & Мельничук, Т.М. (2003). Дослідження ефективності біогумата – продукту переробки рослинних відходів вермікультурою *Eisenia foetida*. *Питання хімії та хімічної технології*, 4, 128–130.

ABSTRACT

Purpose. The study of the processing of organic waste by California worms of the *Eisenia fetida* species is presented, and the optimal content of the composite mix of biohumus briquettes for the needs of phytoremediation of degraded and contaminated lands is substantiated.

The methods are based on a theoretical analysis of vermiculture technologies, laboratory studies on the influence of temperature and humidity on the growth of the worm population and biohumus production; vegetation experiments using multicomponent biohumus mixtures with yellow-brown loams and seeds of wild cereals for phytorecultivation of degraded and contaminated lands.

Findings. The growth process of the biomass of the *Eisenia fetida* worms and the accumulation of biohumus over the time depending on the environment temperature were studied. The results of the laboratory bioindication experiments with composite briquettes consisting of biohumus, loam and seeds of wild cereals are presented. Vegetation experiments were carried out on complex multi-component mixtures to analyze the germination efficiency of seeds of wild cereals like *Avena fatua* and *Brōmus inērmis* for the purpose of technogenic lands reclamation. It was established that the optimal moisture of the biohumus substrate, at which the highest yield of vermiculture biomass was observed, is 60–70%, and the temperature range varies within 20–30°C.

The originality. It was established that the most optimal ratio of biohumus and loam in the content of composite briquettes for plant growth is 20:30 and 30:20 by mass, which makes it possible to substantiate the working mixtures of phytomeliorants for degraded lands biological reclamation technologies.

Practical implementation. The use of vermiculture products helps increase soil fertility, reducing the need for synthetic fertilizers. The performed laboratory studies show the prospects of using biohumus with plant seeds in the form of composite briquettes for phytoremediation of degraded and contaminated lands.

Keywords: *vermiculture, California worm Eisenia fetida, biohumus, composite briquette, wild cereals.*