

УДК 504.53.062

DOI: 10.15587/2312-8372.2019.183078

ОБҐРУНТУВАННЯ СПОСОБУ ФІТОРЕМЕДІАЦІЇ ДЕГРАДОВАНИХ ТА ЗАБРУДНЕНИХ ЗЕМЕЛЬ КОМПОЗИТНИМИ БІОГУМУСОВИМИ БРИКЕТАМИ

Ковров О. С., Клімкіна І. І., Кодаченко Л. В.

ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБА ФИТОРЕМЕДИАЦИИ ДЕГРАДИРОВАННЫХ И ЗАГРЯЗНЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ КОМПОЗИТНЫМИ БИОГУМУСОВЫМИ БРИКЕТАМИ

Ковров А. С., Климкина И. И., Кодаченко Л. В.

JUSTIFICATION OF THE METHOD FOR PHYTOREMEDIATION OF DEGRADED AND CONTAMINATED LANDS BY COMPOSITE VERMICOMPOST BRIQUETTES

Kovrov O., Klimkina I., Kodachenko L.

*Об'єктом дослідження є ефективність використання біогумусових продуктів вермікультивування в практиці фітореємедіації деєрадованих та техноєенно забруднених земель. Одним із проблемних аспектів у вирішенні наукової проблеми реєультивації деєрадованих внаслідок техноєенної діяльності земель є тривалий у часі етап біолоєічного відновлення порушеного ландшафту. Для більш ефективної та швидкої реєультивації доцільно створити фітоєенотоз з деревинно-чагарниковою рослинністю, стійкий до негативних впливів навколишнього середовища. Добре апробовані біотехнології вермікультивування створюють передумови для використання продуктів життєєдіяльності колоній хробаків роду *Eisenia* у вигляді композитних біогумусових бриєкетів для потреб фітореємедіації земель, що і було доведено у дослідженні.*

*Виконано аналіз літературних джерел стосовно сучасних технологій вермікультивування і використання біогумусових продуктів для потреб сільського господарства і фітореєультивації земель. Дослідєено процес росту біомаси хробаків виду *Eisenia fetida* та накопичення біогумусу у часі залеєжно від температури середовища. Наведено результати лабораторних біоіндикаційних експериментів з композитними бриєкетами, що складаються з біогумусу, суглинку та насіння диєких злаєків. Визначено, що найбільш оптимальне для ростових показників рослин співвідношення біогумусу та суглинку у складі композитних бриєкетів становить 60:40 і 40:60 за масою, що дозволяє обґрунтувати робочі суміші фітомеліорантів для технологій біолоєічної реєультивації земель.*

Виконані лабораторні дослідження свідчать про перспективність використання біогумусу, як продукту вермікультивування, у вигляді композитних брикетів в практиці фіторекультивації порушених земель.

Ключові слова: фіторемедіація земель, технології вермікультивування, біогумусові продукти, Каліфорнійський хробак, композитний брикет.

Объектом исследования является эффективность использования биогумусовых продуктов вермикультивирования в практике фиторемедиации деградированных и техногенно загрязненных земель. Одним из проблемных аспектов в решении научной проблемы рекультивации деградированных в результате техногенной деятельности земель является длительный во времени этап биологического восстановления нарушенного ландшафта. Для более эффективной и быстрой рекультивации целесообразно создать фитоценоз из древесно-кустарниковой растительности, устойчивый к негативным воздействиям окружающей среды. Хорошо апробированные биотехнологии вермикультивирования создают предпосылки для использования продуктов жизнедеятельности колоний червей рода *Eisenia* в виде композитных биогумусовых брикетов для нужд фиторемедиации земель, что и было доказано в исследовании.

Выполнен анализ литературных источников по современным технологиям вермикультивирования и использованию биогумусовых продуктов для нужд сельского хозяйства и фиторекультивации земель. Исследован процесс роста биомассы червей вида *Eisenia fetida* и накопления биогумуса во времени в зависимости от температуры среды. Приведены результаты лабораторных биоиндикационных экспериментов с композитными брикетами, состоящими из биогумуса, суглинка и семян диких злаков. Определено, что наиболее оптимальное для ростовых показателей растений соотношение биогумуса и суглинка в составе композитных брикетов составляет 60:40 и 40:60 по массе, что позволяет обосновывать рабочие смеси фитомелиорантов для технологий биологической рекультивации земель.

Выполнены лабораторные исследования свидетельствуют о перспективности использования биогумуса, как продукта вермикультивирования, в виде композитных брикетов в практике фиторекультивации нарушенных земель.

Ключевые слова: фиторемедіація земель, технології вермікультивування, біогумусові продукти, Каліфорнійський червь, композитний брикет.

1. Вступ

Промислова діяльність підприємств, зокрема гірничопромислової галузі, є потужним фактором техногенного впливу на довкілля, що пов'язано з відчуженням і порушенням земель, вилученням з надр значних обсягів гірських порід та розміщенням відходів видобування і збагачування корисних копалин на земній поверхні. Відвали насипних або намивних порід формуються на спеціально відведених площах в межах гірського відводу. Їх екологічний вплив пов'язаний з процесами поверхневої ерозії та суфозії, фільтрації важких металів до ґрунтових вод, розвитком осередків горіння та розповсюдження викидів твердих та газоподібних речовин на прилеглі території.

Ґрунтово-природний субстрат відвалів розкритих порід після завершення

експлуатації починає заростати природною рослинністю, але вкрай повільно. Інтенсивність цього процесу визначається токсичністю, підвищеним вмістом у відкладах окремих хімічних елементів, зокрема заліза, свинцю, марганцю, нікелю, олова, сірки та ін. У цілому, для відвалів, складених нетоксичними розкривними породами, розташованими в зоні достатнього зволоження протягом перших десяти років після закінчення експлуатації відвалів формуються прості рослинні угруповання із переважанням видів місцевої флори [1].

Тому для прискорення процесу відновлення ландшафту до природного стану гірничі території потребують виконання комплексу інженерно-технічних робіт щодо рекультивації порушених земель, яка поділяється на два основні етапи: гірничотехнічний і біологічний.

2. Об'єкт дослідження та його технологічний аудит

Об'єктом дослідження є ефективність використання біогумусових продуктів вермікультивування в практиці фітореMediaції деградованих та техногенно забруднених земель.

Рекультивація деградованих земель, зокрема гірничопромислових, охоплює комплекс інженерних, гірничотехнічних, меліоративних, біологічних, санітарно-гігієнічних та інших заходів, які спрямовані на повернення порушених територій до природного стану. ФітореMediaція, як один з напрямків біологічної рекультивації, спрямована на створення стійкого рослинного покриву на поверхні деградованих земель та важливою передумовою для стабільно функціонуючої екосистеми.

Наразі в практиці сільського господарства та фітореMediaції деградованих земель широко застосовуються різноманітні органо-мінеральні добрива. Найбільш екологічним підходом є використання біогумусу, продукту життєдіяльності червоних Каліфорнійських хробаків виду *Eisenia fetida*.

Біогумус – однорідна маса темно-коричневого кольору, що є продуктом вермікультивування (життєдіяльності) хробаків роду *Eisenia*. Це натуральне, природне, органічне, повністю екологічно чисте і найкраще з відомих добриво, що дозволяє вирішити ряд соціально-екологічних проблем, а саме:

1. Утилізація різноманітних органічних відходів.
2. Нетоксичне та безпечне добриво для зеленого агробізнесу.
3. Забезпечення стійкого екобіоценозу ґрунтів та збереження їх властивостей за рахунок збагачення біогумусу колоніями мікроорганізмів.
4. Заміна хімічних добрив на органічний біогумус.

При переробці хробакамаи 1 т сухої біомаси отримується до 600 кг біогумусу з вмістом 25–40 % гумусових речовин, а решта 400 кг органічних речовин трансформуються в 100 кг біомаси живих хробаків.

Виходячи з вищевикладеного, обґрунтування способу фітореMediaції деградованих земель композитними біогумусовими матеріалами має наукове і прикладне значення, чому і присвячена ця робота.

3. Мета і задачі дослідження

Мета дослідження полягає у визначенні ефективності застосування композитних біогумусових брикетів для фітореMediaції земель.

Для досягнення поставленої мети вирішено наступні *задачі досліджень*:

1. Дослідити ростові показники та продуктивності колонії хробаків виду *Eisenia fetida* залежно від температури середовища.

2. Виконати біоіндикаційні експерименти з композитними брикетами, що складаються з біогумусу, суглинку та насіння диких злаків, та визначити їх оптимальне співвідношення для ростових показників рослин.

4. Дослідження існуючих рішень проблеми

4.1. Проблема деградації гірничопромислових земель та їх рекультивації

Загальна площа порушених земель в Україні становить понад 265 тис. га. Щороку для потреб гірничодобувної промисловості виділяють 7–8 тис. га, що належали переважно сільському або лісовому господарствам. Так, при відкритому способі видобування на 1 млн. т. мінеральної сировини втрати земель складають:

- для марганцевої руди – 76–600 га;
- для залізної руди – 14–640 га;
- для вугілля – 2,6–43,0 га;
- для нерудної сировини – 1,5–583 га.

При шахтному способі на 1 млн. т вугілля під відвали і хвостосховища відводять біля 4,4 га земель [2].

Одним з головних напрямів оптимізації гірничопромислових територій на сьогодні залишається їх рекультивація. Існуючі сьогодні технології рекультивації земель недостатньо враховують екологічні і природоохоронні аспекти проблеми, що не дає змоги удосконалювати технологію розкривних робіт та подальшу технічну рекультивацію земель із зменшенням екологічної небезпеки [3, 4].

Об'єктами фіторемедіації можуть бути кар'єрні виїмки, терикони, відвали, хвостосховища і відстійники, а також території, порушені під час видобування й збагачення корисних копалин (мульди деформації, карстові провали, ерозійні виїмки та ін.) [5].

Однією з кращих практик фіторекультивації гірничих земель стало відновлення поверхні відвалів Аннівського кар'єру на Північному гірничозбагачувальному комбінаті у Кривбасі. Проектом передбачалась виїмка чорнозему, розміщення його у спеціальні склади з подальшим використанням для покриття, підготовлених для рекультивації відвалів. Саджанці клену, акації, тополі та інші дерева добре прижилися на відвалах, а середній приріст дерев становив 0,36–0,60 м/рік [1].

На кар'єрах Відкритого акціонерного товариства «Орджонікідзевський ГЗК», де видобувається близько 60 % марганцевої руди в Україні, рекультивація порушених земель проводиться в декілька етапів. Порушені гірничими роботами землі підлягають плануванню з нанесенням шарів м'яких суглинистих порід, а потім шаром чорнозему висотою 0,5 м з подальшим висівом сільськогосподарських культур. Врожайність багаторічних трав на рекультивованих землях становить 45 ц/га, однорічних – 27,5 ц/га, озимої пшениці – 34,5 ц/га, кукурудзи на зерно – 38,2 ц/га, кукурудзи на силос – 287 ц/га [6].

Значно сприяє відновленню гірничопромислових геосистем технології реплантації (землювання) ґрунтового шару, коли на неродючу поверхню

наносять ґрунт-реплантант [7].

Найдоцільніший спосіб ґірничотехнічної і біологічної рекультивациі передбачає подальше ефективне використання земель, враховуючи необхідність покращення екологічного стану місцевості шляхом облаштування сільськогосподарських угідь чи лісових насаджень, створення рекреаційних територій тощо [8].

При цьому, комплекс фіторемедіації і фітомеліорації земельних угідь є визначальним для стійкого функціонування ландшафту [9].

4.2. Біотехнологія вермикультивування: переваги, недоліки та перспективи застосування

Вермикультивування є одним з перспективних способів отримання біомаси, а також утилізації різноманітних органічних відходів. Зазвичай, продуктами цієї біотехнології є біомаса хробаків та біогумус, які знаходять широке використання в сільському господарстві. Проте, сучасні дослідження значно розширюють коло застосування продуктів вермикультивування.

Так, в роботі [10] проаналізовано сучасні тенденції виробництва кухонних органічних відходів та перспективи їх в контексті вимог, визначених в директивах Європейського Союзу стосовно поводження з органічними відходами. Представлені переваги біотехнології вермикультивування та охарактеризовано особливості вироблених біогумусів.

В роботі [11] показано можливості використання продуктів вермикультивування не тільки в галузі органічного землеробства, але й в практиці застосування аквакультур біогумусу для гідропонних культурних рослин.

В сучасних біотехнологіях вермікультура червоного каліфорнійського земляного хробака (*Eisenia foetida andrei*) використовується як харчовий продукт в аквакультурі, а також для рекультивациі різних ґрунтів [12].

Дощові хробаки є частиною природного раціону деяких сільськогосподарських тварин, таких як птиця, через високий вміст білків. Проте, хробаки можуть накопичувати деякі токсичні речовини, що трапляються в ґрунті, що може спричинити ефекти інтоксикації у тварин [13].

В роботі [14] представлено результати дослідження біомаси хробаків на середовищі збагаченому кобальтом. Встановлено, що біомаса хробаків, вирощених у живильному середовищі з додаванням 40 мг/кг кобальту, може бути використана для розведення риби в якості білкової добавки з високим вмістом кобальту.

В роботі [15] представлено модель утилізації відходів органічних твердих речовин у технологіях біологічного компостування та вермикультивування, що дозволяє знизити викиди парникових газів в атмосферу та зменшити витрати на знешкодження органічних відходів на сміттєзвалищах.

В роботі [16] показано, що компостування відходів з домогосподарств чи мікрорайонів може сприяти вирішенню проблем поводження з побутовими органічними відходами в контексті економічного розвитку міських громад.

В практиці фіторемедіації забруднених важкими металами земель [17] застосовують біогумус, що впливає на біодоступність у ґрунтах таких елементів, як Zn, Cd, Pb, Co та Ni. Біогумус постачає поживні речовини для швидкого росту рослин *Panicum virgatum*, що корисно для фіторемедіації, але

надмірне застосування компосту може призвести до вилуговування поживних речовин та спричинення забруднення води.

У дослідженні [18] представлено результати культивування насіння деревинно-чагарникової рослинності з додаванням біогумусу у різних концентраціях. Встановлено, що насіння, яке інкубували з біогумусом, мають кращу схожість та ростові показники порівняно зі звичайною практикою культивування, що може бути корисним для фітореMediaції земель.

В роботі [19] виконано комплексну оцінку змін в хімічних властивостях ґрунту у відповідь на застосування технологій вермікультивування. Встановлено, що внесення біогумусу підвищує рН ґрунту, збільшує вміст обмінного кальцію та доступний вміст фосфору і калію.

Взагалі, усі різновиди біогумусу, що отримані з дешевих та легко доступних рослинних та тваринних залишків, мають великий потенціал застосування в якості альтернативних добрив, а також для фітореMediaції забруднених чи деградованих ґрунтів.

Виконаний аналіз літературних джерел дозволяє зробити висновок, що використання біогумусових продуктів є перспективним напрямом як в галузі утилізації органічних відходів, так і в практиці фітореMediaції деградованих земель.

5. Методи дослідження

При дослідженні були використані наступні наукові методи:

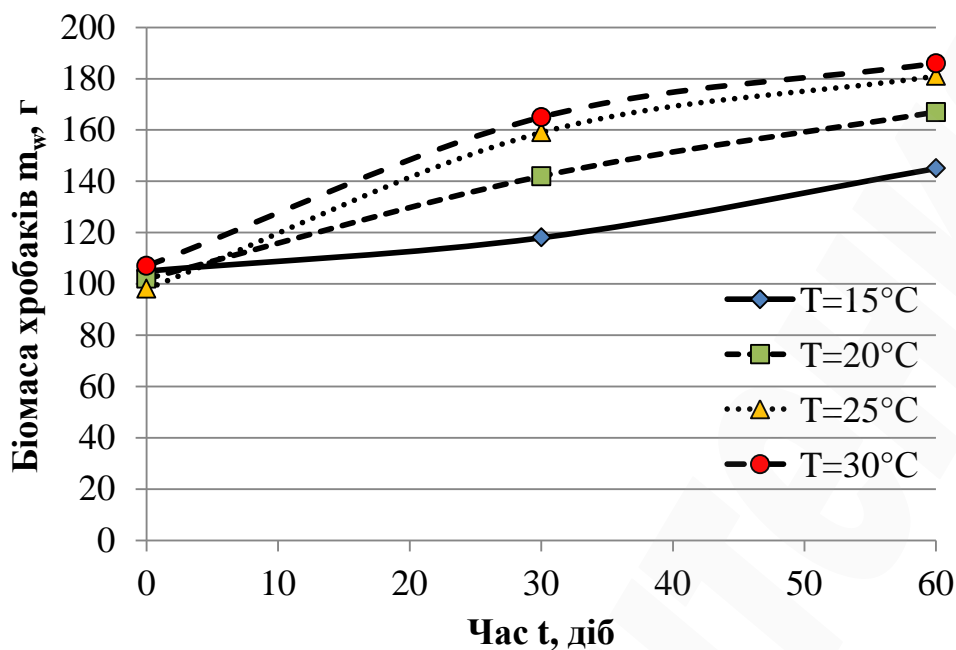
- метод аналізу інформаційних джерел і світового досвіду при формулюванні наукової мети та задач дослідження;
- методи вермікультивування хробаків виду *Eisenia fetida* на органічних відходах;
- методи біоіндикаційної оцінки ефективності композитних біогумусових брикетів для фітореMediaції деградованих земель гірничопромислових підприємств.

6. Результати дослідження

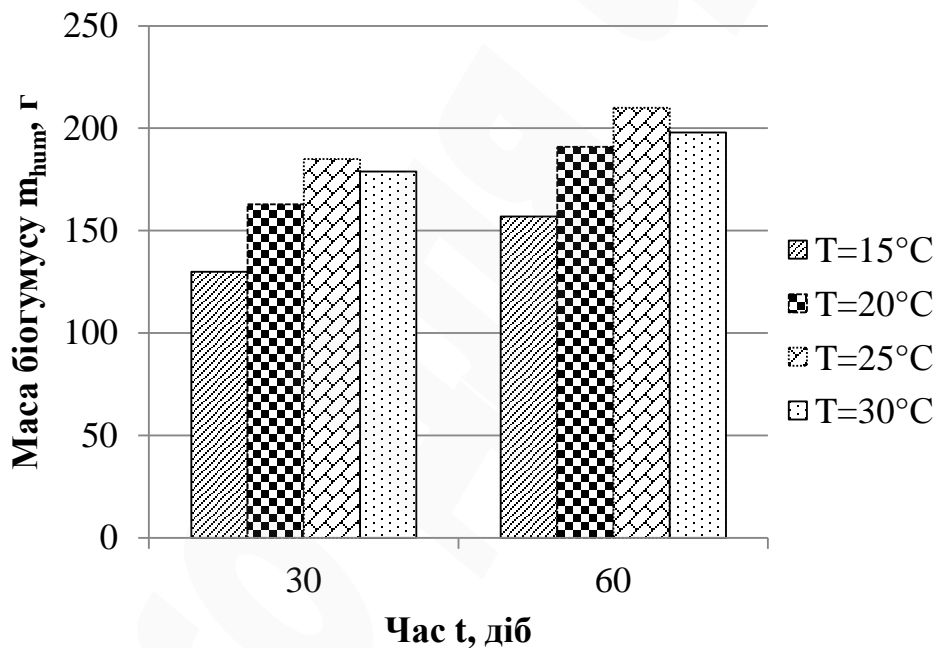
6.1. Вермікультивування виду *Eisenia fetida* на органічних відходах

Інтенсивність фізіологічних і біохімічних процесів в організмі хробаків знаходиться в прямій залежності від температури середовища. При температурі вище 32 °С, особливо при надлишковій вологості субстрату, у відповідь на температурний подразник, знижується активність і вага тіла хробаків за рахунок збільшення виділення захисного слизистого секрету. Найбільш сприятлива температура, при якій *Eisenia fetida* зростає з максимальною швидкістю і зберігає високу активність, становить 18–28 °С [20].

На рис. 1 представлено результати вермікультивування виду *Eisenia fetida* на органічних відходах, в якості яких обрано опале листя та органічні харчові відходи. Задача експерименту полягала у дослідженні ростових показників та продуктивності колонії хробаків виду *Eisenia fetida* залежно від температури середовища.



a



б

Рис. 1. Результати вермікультування виду *Eisenia fetida* на органічних відходах: а – зміни біомаси хробаків m_w ; б – маса біогумусу m_{hum}

Для культивування використовували пластикові дводонні контейнери розмірами 50×30 см з перфорованим дном для дренажу та відведення надлишкової вологи. В кожному контейнер розміщували подрібнене опале листя та харчові відходи в пропорції 60:40 в якості поживного субстрату для колонії хробаків. Загальна вага біологічного субстрату становила 500–600 г. Для ініціювання біологічних процесів розкладу органічної речовини за рахунок мікробіологічної активності в контейнер вносили також 150 г верхнього шару чорнозему, відібраного в лісопарковій зоні з-під шару опалого листя. Початкова

вага хробаків виду *Eisenia fetida* становила 100 ± 7 г на один контейнер. В контейнер додавали 150 мл води для зволоження біологічного субстрату. Тривалість експерименту – 60 діб. Протягом досліду середня вологість субстрату підтримувалась в діапазоні 60–80 % за рахунок часткового прикриття контейнеру прозорою плівкою.

З результатів представлених на рис. 1 можна зробити висновок, що діапазон 25–30 °С є найбільш сприятливим для росту колонії хробаків за умов підтримки зазначеного рівня вологості субстрату. Середній приріст біомаси за зазначений період залежно від температури середовища становить 38,1–73,8 % для біомаси хробаків та 10,6–20,8 % для біогумусу відповідно. Слід зазначити, що за температури 30 °С темпи біологічної активності дещо уповільнюються навіть за умов задовільного зволоження органічного субстрату.

В біогумусі акумульована велика кількість макро- і мікроелементів безпосередньо засвоєваних рослинами, міститься ряд ростових речовин, вітамінів, антибіотиків, амінокислоти і корисна мікрофлора. Елементи живлення тут знаходяться в органічній формі, більш надійно зберігаються від вимивання і служать джерелом пролонгованої дії. Розкладання його мікроорганізмами вивільняє макро- і мікроелементи і забезпечує рослини вуглецем, який необхідний для фотосинтезу рослин. Згідно з агрохімічними дослідженнями [21] біогумусу має наступні показники:

- вологість – 45,8–55,2 %;
- вміст органічної речовини – 44,8–54,2 %;
- гумус – 9,7–12,3 %;
- кислотність (рН) – 7,2–8,0;
- загальний азот – 1,8–3,1 %;
- фосфор (P_2O_5) – 1,3–2,6 %;
- калій (K_2O) – 1,6–3,8 %;
- кальцій – 6,2–7,5 %;
- магній – 1,4–2,1 %;
- залізо – 0,5–2,5 %;
- мідь – 13,1–18,4 мг/кг;
- марганець – 0,02–0,03 %;
- цинк – 0,20–0,30 мг/кг;
- сірка – 0,24–0,30 %.

6.2. Біоіндикаційна оцінка використання продуктів вермикультивування для фітореMediaції деградованих земель

В лабораторних умовах були виконані експерименти щодо потенціалу використання продуктів вермикультивування для фітореMediaції деградованих земель. Основна ідея досліду полягала у визначенні оптимального складу композитних біогумусових брикетів для фіторекультивації деградованих чи забруднених земель, зокрема гірничопромислових підприємств. Комплексні трьохкомпонентні суміші складались з наступних інгредієнтів (табл. 1): жовто-бурий суглинок, біогумус (продукт вермикультивування) і насіння дикорослих злаків, зокрема вівсюга пустого (*Avena fatua*), та стоколоса безостого (*Bromus inermis*).

Таблиця 1

Склад суміші композитного брикету та результати ростового тесту

Номер зразка	Склад суміші композитного брикету, г			Результати ростового тесту		
	Біогумус	Суглинок	Насіння	Кількість проростків, шт.	Маса коренів, г	Зелена маса, г
1	10	100	2	4	0,28	1,11
2	20	80	2	16	0,51	8,23
3	40	60	2	45	2,77	39,0
4	60	40	2	51	3,58	51,0
5	80	20	2	25	1,06	32,0
6	100	10	2	23	0,75	21,0

В результаті виконаних досліджень визначено найбільш доцільні співвідношення компонентів трьохкомпонентної суміші для виготовлення брикетів для використання в технологіях рекультивації деградованих земель. Так, у зразках 3 і 4 насіння проросло активніше, ніж в інших зразках. Це свідчить про те, що співвідношення компонентів (40:60 і 60:40) є найбільш доцільним для виготовлення композитних сумішей та брикетів для цільової фіторекультивації порушених земель (рис. 2).

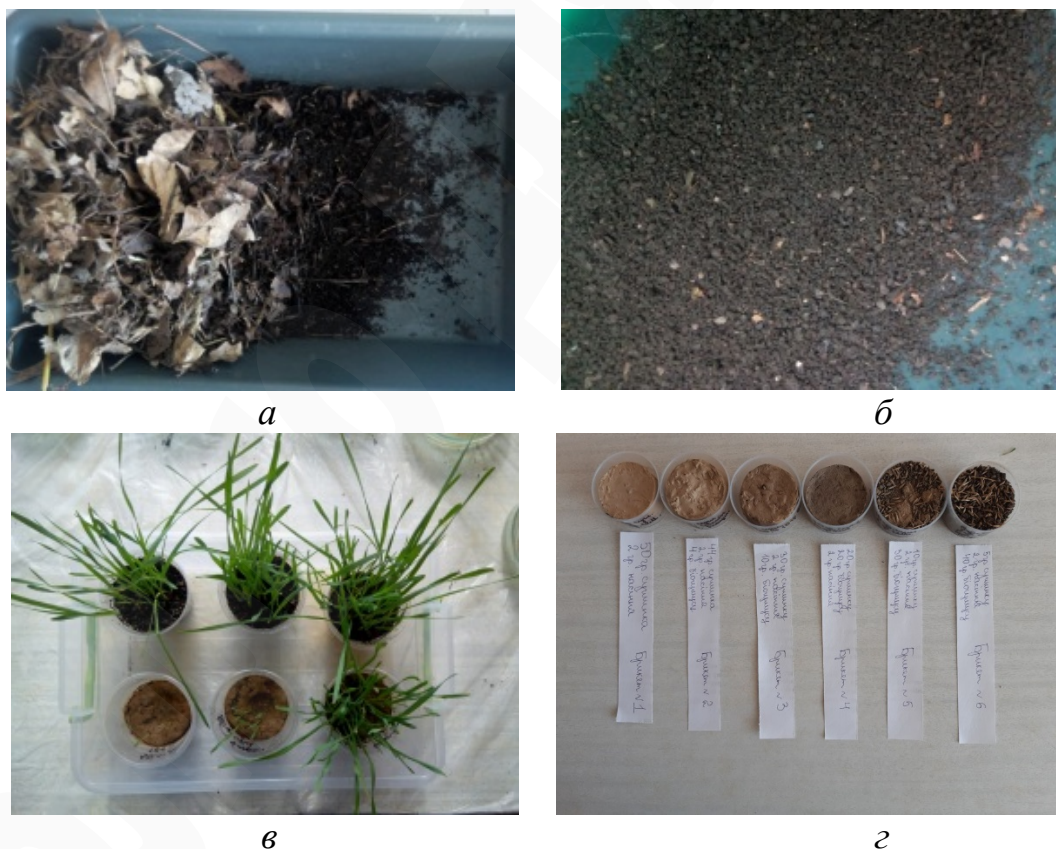


Рис. 2. Результати дослідження щодо визначення оптимального складу композитних біогумусових брикетів: *а* – ємність для культивування хробаків з субстратом опалого листа; *б* – біогумус – продукт вермикультування; *в* – вегетаційний тест на трьохкомпонентних субстратах з біогумусом; *г* – композитні брикети

Таким чином, виконані лабораторні дослідження свідчать про перспективність використання біогумусу вермикультивування у вигляді композитних брикетів в практиці фіторекультивациі порушених земель.

7. SWOT-аналіз результатів дослідження

Strengths. У порівнянні з традиційними підходами стосовно фіторемедіації деградованих та забруднених земель, запропонований метод фіторекультивациі з використанням композитних біогумусових брикетів дає можливість прискорити відновлення техногенних ландшафтів до природного стану, сприяти біорізноманіттю та розвитку стабільної екологічної системи. Використання натурального та екологічно чистого добрива розглядається як доцільний варіант впровадження «зелених технологій» майбутнього.

Weaknesses. Незважаючи на отримані задовільні результати стосовно перспектив застосування продуктів вермикультивування в технологіях біологічної рекультивациі земель, можуть виникнути певні труднощі з пошуком надійного постачальника достатньої кількості біогумусу, враховуючи обсяги рекультивацийних робіт. Також проблемним є збір та заготівля посівного матеріалу для брикетів.

Opportunities. Використання композитних брикетів, що складаються з біогумусу, суглинку та насіння диких злаків відкриває можливості щодо масштабної фіторемедіації гірничопромислових ландшафтів. Відомо, що рекультивация укосів на кар'єрах є найбільш ускладненою технологією через схиліві процеси та ерозію ґрунту. Використання композитних брикетів дозволить легко закріплюватись насінню диких злаків на поверхні укосів відвалів чи бортах кар'єрів під час рекультивацийних робіт за рахунок вмісту в'язких суглинків. В свою чергу органічна речовина слугуватиме поживним середовищем для проростання насіння.

Threats. До потенційних загроз запропонованого способу фіторемедіації земель за допомогою біогумусових брикетів слід віднести певну невизначеність з якістю, походженням та можливою токсичністю вихідного органічного субстрату, на якому культивується колонія Каліфорнійського хробака. Хробак лише переробляє органічний субстрат, який потенційно може містити токсичні речовини чи важкі метали, тому існує загроза забруднення навколишнього середовища при використанні продуктів вермикультивування.

8. Висновки

1. Досліджено ростові показники та продуктивності колонії хробаків виду *Eisenia fetida* залежно від температури середовища. Встановлено, що діапазон 25–30 °C є найбільш сприятливим для росту колонії хробаків за умов підтримки рівня вологості субстрату 60–80 %. Середній приріст біомаси за період 60 діб залежно від температури середовища становить 38,1–73,8 % для біомаси хробаків та 10,6–20,8 % для біогумусу відповідно.

2. Наведено результати лабораторних біоіндикаційних експериментів з композитними брикетами, що складаються з біогумусу, суглинку та насіння диких злаків. Визначено, що найбільш оптимальне для ростових показників

рослин співвідношення біогумусу та суглинку у складі композитних брикетів становить 60:40 і 40:60 за масою. Це дозволяє обґрунтовувати робочі суміші фітомеліорантів для технологій біологічної рекультивації земель.

Таким чином, виконані лабораторні дослідження свідчать про перспективність використання біогумусових продуктів вермикультивування в практиці фіторекультивації порушених земель.

Література

1. Panas, R. M. (2005). *Rekultyvatsiia zemel*. Lviv: Novyi svit, 224.
2. Syvyi, M., Paranko, I., Ivanov, Ye. (2013). *Heohrafiia mineralnykh resursiv Ukrainy*. Lviv: Prostir M, 684.
3. Yeterevska, L. V. (1977). *Rekultyvatsiia zemel*. Kyiv: Urozhai, 128.
4. Panas, R. N. (1989). *Agroekologicheskie osnovy rekultivatsii zemel*. Lvov: Izd-vo pri Lvov. un-te, 160.
5. Ivanov, Ye. A. (2000). Ekoloho-landshaftoznavchi osnovy rekultyvatsii hirnychopromyslovykh terytorii. *Problemy landshaftnoho riznomanittia Ukrainy*. Kyiv, 221–225.
6. Nadtochii, P. P., Myslyva, T. M. (2007). *Okhorona ta ratsionalne vykorystannia pryrodnykh resursiv i rekultyvatsiia zemel*. Zhytomyr, 420.
7. Demydov, O. A. (2014). Udoshkalennia klasyfikatsii rekultyvovanykh gruntiv. *Nauk. dopovidi NUBiP Ukrainy, 1*. Available at: http://nbuv.gov.ua/jpdf/Nd_2014_1_8.pdf
8. Kovalchuk, I. P., Ivanov, Ye. A., Andreichuk, Yu. M. (2016). Aktualni problemy optymizatsii postmaininhovykh heosystem. *Zemleustrii, kadastr ta okhorona zemel v Ukraini: suchasnyi stan, yevropeiski perspektyvy*. Kyiv, 202–206.
9. Henyk, Ya. V. (2013). Tekhnolohichna klasyfikatsiia porushenykh ekosystem z metoiu yikh revitalizatsii. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy, 23.3*, 103–108.
10. Kostecka, J., Garczyńska, M., Podolak, A., Pączka, G., Kaniuczak, J. (2018). Kitchen Organic Waste as Material for Vermiculture and Source of Nutrients for Vermicompost Plants. *Journal of Ecological Engineering, 19 (6)*, 267–274. doi: <http://doi.org/10.12911/22998993/99691>
11. Chanu, T. I., Sharma, A., Ande, M. P., Prasad, J. K., Patnaik, R. R. S. (2017). Vermicompost Production Technology for Organic Aquaculture. *Aquaculture Times, 24–28*.
12. Kolesnyk, N., Simon, M., Marenkov, O., Sharamok, T. (2018). Red Californian earthworm (*Eisenia foetida andrei*) as a valuable food item in fish farming (review). *Ribogospodars'ka Nauka Ukraini, 4 (46)*, 26–48. doi: <http://doi.org/10.15407/fsu2018.04.026>
13. Byambas, P., Hornick, J. L., Marlier, D., Francis, F. (2019). Vermiculture in animal farming: A review on the biological and nonbiological risks related to earthworms in animal feed. *Cogent Environmental Science, 5 (1)*. doi: <http://doi.org/10.1080/23311843.2019.1591328>
14. Merzlov, S. V., Mashkin, Y. O., Merzlova, G. V., Vovkohon, A. V. (2017). Californian red worm biomass increase and its cobalt accumulation under different

concentrations of the metal in nutrient medium. *Ukrainian Journal of Ecology*, 7 (4), 525–528. doi: http://doi.org/10.15421/2017_155

15. Castañeda Torres, S., Rodríguez Miranda, J. P. (2017). Modelo de aprovechamiento sustentable de residuos sólidos orgánicos en Cundinamarca, Colombia. *Universidad y Salud*, 19 (1), 116–125. doi: <http://doi.org/10.22267/rus.171901.75>

16. Camacho Barboza, J., Morales, H., Alvarado Barrantes, R., Saldivar Moreno, A., Huerta Lwanga, E. (2011). Perceptions and attitudes regarding organic waste: Feasibility of establishing an urban composting program in Chiapas, Mexico. *Journal of Agriculture, Food Systems, and Community Development*, 1 (3), 115–131. doi: <http://doi.org/10.5304/jafscd.2011.013.006>

17. Shrestha, P., Bellitürk, K., Görres, J. (2019). Phytoremediation of Heavy Metal-Contaminated Soil by Switchgrass: A Comparative Study Utilizing Different Composts and Coir Fiber on Pollution Remediation, Plant Productivity, and Nutrient Leaching. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16 (7), 1261. doi: <http://doi.org/10.3390/ijerph16071261>

18. Sezgin, M., Şimşek, E. (2017). Bazı orman ağacı ve çalı türleri tohumlarının çimlendirilmesinde vermikompost ürünlerinin etkileri. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 18 (1), 78–82. doi: <http://doi.org/10.17474/artvinofd.282604>

19. Antunes, R. M., Leal, O. dos A., Castilhos, R. M. V., Castilhos, D. D., Andrezza, R., Schwalbert, R. A. (2019). Humic Substances and Chemical Properties of an Acrisol Amended with Vermicomposted Vegetal and Animal Residues. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, 43. doi: <http://doi.org/10.1590/18069657rbcs20180032>

20. Kharitonov, N. N., Kulik, A. P., Garmash, S. N., Melnichuk, T. M. (2003). Issledovanie effektivnosti biogumata – produkta pererabotki rastitelnykh otkhodov vermikulturoi *Eisenia foetida*. *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*, 4, 128–130.

21. Kulik, A. P., Garmash, S. N. (2000). Tekhnologiya pererabotki otkhodov selskokhoziaistvennogo proizvodstva. *Novosti Ukrainskogo obschestva inzhenerov i mekhanikov. Biulleten*, 2 (1-2), 55–56.

The object of research is the effectiveness of the use of vermicompost products of vermiculture in the practice of phytoremediation of degraded and technogenic contaminated lands. One of the problematic aspects in solving the scientific problem of reclamation of lands degraded as a result of technogenic activity is the long-term stage of biological restoration of the disturbed landscape. For a more efficient and quick reclamation, it is advisable to create a phytocenosis from tree-shrub vegetation, resistant to negative environmental influences. Well-tested biotechnologies of vermiculture create the prerequisites for the use of waste products of the colonies of the worms of the genus Eisenia in the form of composite vermicompost briquettes for the needs of land phytoremediation, and it is proved in the study.

The analysis of literary sources using modern technologies of vermiculture and the use of vermicompost products for the needs of agriculture and land phytoremediation is carried out. The growth process of the biomass of worms of the Eisenia foetida species and the accumulation of vermicompost over time depending on the temperature of the medium are studied. The results of laboratory bioindication experiments with composite briquettes, consisting of vermicompost, loam and seeds

of wild cereals, are presented. It is determined that the ratio of vermicompost and loam in the composition of composite briquettes, which is the most optimal for plant growth indicators, is 60:40 and 40:60 by mass, which makes it possible to justify the phytomeliorant working mixtures for biological land reclamation technologies.

Laboratory studies have shown the promise of using vermicompost as a product of vermiculture in the form of composite briquettes in the practice of phytoremediation of disturbed lands.

Keywords: *land phytoremediation, vermiculture technology, vermicompost products, California worm, composite briquette.*