

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ**

ТИМЧУК ІВАН СТЕПАНОВИЧ



УДК: 504:628.4.04(043.5)

**НАУКОВО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ БІОЛОГІЧНОЇ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ
ТА РЕМЕДІАЦІЇ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОГЕННИХ
ОРГАНОВМІСНИХ ВІДХОДІВ**

Спеціальність 21.06.01 – екологічна безпека

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Івано-Франківськ – 2024

Дисертація є кваліфікаційною науковою працею на правах рукопису.

Робота виконана на кафедрі екології та збалансованого природокористування Національного університету «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України.

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор
Мальований Мирослав Степанович,
Національний університет «Львівська політехніка»
Міністерства освіти і науки України,
завідувач кафедри екології та збалансованого
природокористування, м. Львів.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Пляцук Леонід Дмитрович,
Сумський державний університет
Міністерства освіти і науки України,
завідувач кафедри екології
та природозахисних технологій, м. Суми.

доктор технічних наук, професор
Челядин Любомир Іванович,
Івано-Франківський національний
технічний університету нафти і газу
Міністерства освіти і науки України,
професор кафедри технологій захисту
навколишнього середовища та безпеки
праці, м. Івано-Франківськ

доктор технічних наук, професор
Трохименко Ганна Григорівна,
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова Міністерства освіти
і науки України, завідувачка кафедри
екології та природозахисних технологій, м. Миколаїв.

Захист відбудеться 11 липня 2024 р. о 11-00 на засіданні спеціалізованої вченої ради Д. 20.052.05 Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу за адресою: 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу за адресою: 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15 та на сайті спеціалізованої вченої ради Д 20.052.05 за електронною адресою:

Автореферат розісланий « ____ » _____ 20 ____ р.

Вчений секретар
Спеціалізованої вченої ради Д .20.052.05
д.т.н., проф.



Л.М.Архипова

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність. В процесі своєї еволюції суспільство всесторонньо взаємодіяло з навколишнім середовищем. Індустріальна революція та швидкий технологічний прогрес призвели до значного зростання виробництва та споживання, що в свою чергу спричинило масштабне накопичення відходів. Цей процес включає як загальні відходи, так і специфічні відходи, які можуть негативно впливати на навколишнє середовище та здоров'я людей.

Накопичення відходів є небезпечним явищем з різних причин, які варто враховувати. Великі обсяги відходів можуть призвести до забруднення навколишнього середовища, зокрема ґрунтів, повітря та водних джерел. Деякі види відходів мають потенційно небезпечний хімічний склад, такий як важкі метали, хімічні речовини та токсичні сполуки. Ці речовини можуть проникати в навколишнє середовище, забруднюючи ґрунти та водні джерела, а також можуть накопичуватися в живих організмах через харчові ланцюги, що призводить до серйозних проблем здоров'я. Крім того, накопичення великих обсягів відходів сприяє поширенню патогенних мікроорганізмів та шкідливих комах, що можуть викликати епідемії та інші захворювання серед людей та тварин. Отже, накопичення відходів не лише створює загрозу для навколишнього середовища, а й має серйозні соціальні, економічні та медичні наслідки.

У зв'язку зі зростанням глобального обсягу відходів і виснаженням природних ресурсів, виникає гостра необхідність у розробці та впровадженні нових технологій, що спрямовані на їхню переробку та вторинне використання. Тому людство вже давно стало на стежку боротьби з накопиченням відходів, у багатьох країнах світу частка перероблених відходів сягає 70-99 %.

Особливим та надзвичайно перспективним типом відходів є органічні, оскільки їх правильне управління та використання може сприяти збереженню ресурсів, зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище та створенню сталого та екологічно чистого середовища.

Одним з таких відходів є осади стічних вод, який утворюється в результаті біологічної стадії очищення стічних вод і особливо актуальний для урбанізованих територій. Україна стикається з проблемою використання осадів стічних вод, оскільки на її території вже накопичено понад 1 мільярд тон осадів. Кожного року до цієї кількості додається приблизно 40–50 мільйонів кубометрів стічних вод з вологістю 97 %, що переводиться у 1,2–1,5 мільйонів тон осадів у перерахунку на суху речовину. Ця ситуація вимагає розробки оптимальних методів використання та утилізації цих осадів.

Особливо перспективним є метод використання осадів як складової частини ростового субстрату для відновлення пошкоджених земель у процесі біологічної рекультивациі. Впровадження цього методу дозволить вирішити кілька проблем одночасно: зменшити обсяг осадів, відновити пошкоджені землі та знизити витрати, пов'язані з проведенням біологічної рекультивациі.

Зв'язок роботи з науковими програмами, темами. Дисертаційна робота відповідає науковому напрямку кафедри екології та збалансованого

природокористування Національного університету «Львівська політехніка» «Природоохоронні технології з використанням природних дисперсних сорбентів та мінеральних добрив пролонгованої дії» та виконувалась в межах науково-дослідної роботи кафедри екології та збалансованого природокористування «Науково-теоретичні основи створення засобів біологічної рекультивациі із використанням техногенних відходів», номер державної реєстрації 0119U101394. Дослідження проводились в межах виконання проєкту Національного фонду досліджень України, конкурсу «Підтримка досліджень провідних та молодих вчених» (реєстраційний номер 2020.02/0177), «Розробка комплексної технології отримання та використання субстратів на основі органовмісних відходів і природних сорбентів для потреб біологічної рекультивациі та ремедіациі техногенно порушених земель» (Державний реєстраційний номер: 0120U105238) та госпдоговірної роботи «Розробка рекомендацій щодо перспективних шляхів використання заскладованого на Львівських КОС відпрацьованого активного мулу» (замовник ТзОВ «Компанія «Центр ЛТД»).

Мета роботи – розробити науково-методологічні основи біологічної рекультивациі та ремедіациі із використанням техногенних органовмісних відходів та природних сорбентів

Для досягнення мети було сформульовано та вирішено такі **завдання**:

- розробити науково-методологічні основи створення субстратів та органо-мінеральних добрив із використанням органовмісної сировини та природних сорбентів для рекультивациі та ремедіациі порушених земель;
- здійснити дослідження (на прикладі Львівських КОС) локалізациі та складу ОСВ на вміст поживних макро- та мікроелементів, доступних форм біогенних елементів, поліакриламідних полімерів, а також іонів важких металів, небезпечних сполук та фітопатогенних мікроорганізмів, що можуть спричиняти небезпеку для ґрунтів та довкілля;
- провести дослідження оптимальних умов комбінунання складу сировини із природними сорбентами з ціллю створення субстратів методом прямого змішування;
- розробити математичну модель процесу адсорбциі забруднювачів природними сорбентами, які є компонентами субстрату для рекультивациі та ремедіациі;
- дослідити процес аеробного біокомпостування у лабораторних умовах, побудувати температурні профілі та профілі концентрацій в газовій фазі компосту кисню, діоксиду вуглецю, аміаку та вологовмісту в процесі компостування;
- провести біоіндикаційні дослідження отриманого рекультивацийного компосту та встановити найбільш вигідний та універсальний варіант для створення ростового субстрату із використанням в сировинній суміші "свіжовідібраних" та "старих" ОСВ;
- провести мікробіологічні дослідження компонентів для біологічної рекультивациі та отриманого рекультивацийного компосту;
- провести дослідно - промислові дослідження технології створення рекультивацийного компосту та польові дослідження рекультивацийного субстрату, створеного на основі цього компосту;

- провести термогравіметричні дослідження дигестату анаеробно зброженої рослинної сировини;
- визначити кількість небезпечних сполук у дигестаті, вміст яких у сировині для виробництва добрив лімітований нормативними документами України;
- провести дослідження впливу дигестату на схожість сільськогосподарських рослин;
- розробити загальні рекомендації щодо складу та відношень відповідних ростових субстратів та сировини для їх виготовлення;
- провести дослідження щодо використання в рекультиваційних цілях органо-мінерального добрива на основі природних сорбентів та курячого посліду.

Об'єкт дослідження - інтегровані технологічні, фізико-хімічні та біологічні процеси створення субстратів для рекультивації та ремедіації на основі органівмісних відходів.

Предмет дослідження – процеси переробки техногенних відходів за допомогою компостування, міксування із природними сорбентами та іншими добавками для оптимізації складу композиції з метою забезпечення її функціонального використання для біологічної рекультивації та ремедіації техногенно порушених об'єктів довкілля.

Методи дослідження включають в себе відомі методики: загальнонаукові – рекогносцирування, спостереження, дослідження, аналіз, висновки та логічні побудови; фізико-хімічні – дослідження вмісту макро- та мікроелементів, доступних форм біогенних елементів, іонів важких металів та небезпечних сполук у органівмісних відходах; аналітико-синтетичні методи – оцінка складу органівмісних відходів для забезпечення потрібної композиції утворених субстратів; лабораторні – визначення фізико-хімічними, хімічними та мікробіологічними методами властивостей вивільнення основних елементів живлення і впливу утворених субстратів на мікрофлору ґрунту; польові – вивчення продуктивності сільськогосподарських культур та фітомеліорантів залежно від застосовуваних субстратів; статистичні – встановлення на основі дисперсійного та регресійного методів допустимої похибки та довірчого інтервалу отриманих результатів.

Наукова новизна отриманих результатів.

У роботі вперше:

- розроблено науково-теоретичні основи системного підходу до створення рекультиваційних субстратів на основі осадів стічних вод, утворених за різних умов і різних технологій очищення каналізаційних стічних вод, що дозволяє утилізувати відходи, накопичення і складування яких спричиняє екологічну небезпеку;
- встановлено оптимальні параметри для створення стабільного за властивостями субстрату на основі компонентів “осади стічних вод – природні сорбенти – ґрунт” методом прямого перемішування, що дозволяє впровадити технологічні рішення його застосування та зменшення екологічних ризиків під час утилізації осадів;
- розроблено математичну модель адсорбції забруднювачів сорбентами, які є компонентами ростового субстрату для рекультивації, що дозволило визначити

оптимальний час для адсорбційного видалення іонів важких металів під час ремедіації;

- експериментально встановлено та визначено оптимальні параметри аеробного біокомпостування сумішей, на основі композиції “осади стічних вод – подрібнена деревина – активований біокомпост”, це дозволило розробити екологічно безпечний метод переробки осадів стічних вод, із отриманням високоефективного субстрату для відновлення деградованих земель;
- розроблено типові рецептури ростових субстратів на основі біокомпостів, необроблених та анаеробно зброджених осадів стічних та природних сорбентів для біологічної рекультивації та ремедіації різних типів техногенно порушених земель;
- експериментально підтверджено якісні характеристики розробленого ростового субстрату для біологічної рекультивації та ремедіації шляхом аналізу даних дрібноділянкових польових та біоіндикаційних лабораторних досліджень;
- встановлено оптимальні технологічні параметри для створення гранульованого органо-мінерального добрива тривалої дії на базі курячого посліду та природних сорбентів, що дозволило розробити екологічно безпечний спосіб утилізації відходів птахофабрик внаслідок застосування їх у рекультиваційних технологіях.

Отримало подальший розвиток:

- дослідження фізико-хімічних та санітарно-мікробіологічних параметрів заскладованих осадів стічних вод мулового поля ЛМКП «Львівводоканал»;
- дослідження мікробіологічного складу та біоіндикаційні дослідження компостів, одержаних із сумішей осадів стічних вод різного складу, для створення ростових субстратів;
- дослідження впливу параметрів аеробного біокомпостування та анаеробного зброджування на зміну санітарних мікробіологічних показників для органо-мінеральних сумішей на основі осадів стічних вод;
- дослідження використання ростових субстратів на основі осадів стічних вод та органо-мінеральних добрив, створених із використанням відходів птахофабрик, як компонентів для біологічної стадії рекультивації.

Практичне значення отриманих результатів. Отримані результати досліджень можуть бути використані: органами державної та виконавчої влади, місцевого самоврядування, приватними інвесторами та підприємствами, які займаються гірничодобувною та геологорозвідувальною роботою для проведення біологічної рекультивації порушених земель (териконів, відпрацьованих кар’єрів, полігонів ТПВ). Результати досліджень захищені чотирма патентами України на корисну модель.

Результати досліджень передані ТзОВ «Компанія «Центр ЛТД» для використання у заходах із утилізації ОСВ, що підтверджується відповідним актом. Результати встановлення оптимальних параметрів для проведення процесу аеробного біокомпостування за різних рецептур сировини передані ЛКП «Зелене місто», яке є оператором першої в Україні компостувальної станції, а також Грибовицького полігону ТПВ, що підтверджується актом. Результати дисертаційної роботи передані Департаменту екології та природних ресурсів Львівської обласної державної адміністрації для використання при плануванні оптимальних технологій

рекультивациі відпрацьованих полігонів ТПВ, що підтверджується актом. Результати проведеного раціонального балансування складу та підбору відповідних компонентів для створення субстратів з ціллю вирішення завдань рекультивациі та ремедіації об'єктів різних типів передано до Лабораторії екології, Інституту сільського господарства Карпатського регіону Національної академії аграрних наук України, що підтверджується актом.

Наукові та практичні результати дисертаційної роботи використані у навчальному процесі Національного університету «Львівська політехніка», що підтверджується відповідним актом, у програмі лекційних курсів: «Основи розробки екобезпечних виробництв»; «Біомоніторинг навколишнього середовища»; «Інновації в стратегіях захисту довкілля» для студентів спеціальності 101 Екологія; у програмі лекційного курсу «Інженерні основи екологізації виробництва» (тема «Управління відходами» та в програмі практичних занять цього курсу); а також у програмі лекційного курсу «Агроекологія» (тема «Рекультивация ґрунтів», а також в програмі практичних занять цього курсу).

Особистий внесок здобувача. Дисертанту належить ідея досліджень і планування напрямків досліджень. Всі експерименти виконувалися здобувачем особисто або за безпосередньої участі із співавторами статей. Особисто здобувачем проводились теоретичні узагальнення та експериментальні дослідження процесів утилізації органічних відходів з метою створення субстратів для біологічної рекультивациі, а також формувались висновки та узагальнення на основі аналізу проведених досліджень. У всіх наукових роботах, опублікованих у співавторстві, автор дисертації безпосередньо брав участь у постановці завдань, проведенні експериментальних та теоретичних досліджень, обробці, аналізі, інтерпретації результатів, формулюванні висновків робіт. Внесок автора у працях, опублікованих у співавторстві, наведений у списку праць за темою дисертації.

Апробація результатів роботи. Основні наукові положення і результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на міжнародних наукових конференціях, симпозіумах і семінарах: XVII Міжнародній науково-практичній конференції “Ідеї академіка Вернадського і науково-практичні проблеми сталого розвитку освіти і науки” (Кременчук 1-3 червня 2017 р.); Науковому семінарі "Сталий розвиток - погляд у майбутнє" (Львів, 15 вересня 2017 р.); 5-му Міжнародному конгресі “Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування” (Львів, 26-29 вересня 2018 р.); XVI Міжнародній науково-технічній конференції “Проблеми екологічної безпеки”(04–06 жовтня 2018 р., Кременчук); II Міжнародній науково-технічній конференції “Водопостачання та водовідведення: проектування, будова, експлуатація, моніторинг” (Львів, 18-20 жовтня 2017 р.); III Міжнародній науково-практичній конференції “Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства. Європейський досвід і перспективи” (Львів, 14 вересня 2018 р.); 2-й Міжнародній науковій конференції “Хімічна технологія та інженерія” (Львів, 24-28 червня 2019 р.); International scientific conference “Fast-growing trees and plants grown for energy purposes (theory and good practices of growing and energy use of biomass)” (Nitra, September 4-5, 2019); 16th International Youth Scientific and Environmental Forum of the Baltic Region

"ЕСOBALTICA" (Gdansk, October 7-9, 2019); VIII Міжнародному молодіжному науковому форумі "Litteris et Artibus" & 13-й Міжнародній конференції "Молоді вчені до викликів сучасної технології" (Львів, 22–24 листопада 2018 р.); IX International scientific conference of young scientists, graduates, master and PhD students "Actual environmental problems" (November 21–22, 2019 Minsk); 9th International youth science forum "Litteris et Artibus" (Lviv, November 21–23, 2019); Всеукраїнській науково-методичній конференції "Управління якістю підготовки фахівців" (Одеса, 26–27 березня 2019 р.); 10-й міжнародній науково-практичній конференції "Нетрадиційні і поновлювані джерела енергії як альтернативні первинним джерелам енергії в регіоні" (4–5 квітня 2019 р., Львів); 79 Міжнародній науково-практичній конференції "Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту" Дніпро, 16–17 травня 2019 р.); XIII Міжнародній науково-технічній конференції "Проблеми екології та енергозбереження" (Миколаїв, 20–22 вересня 2019 року); XIII Міжнародній науково-технічній конференції "Проблеми екології та енергозбереження" (Миколаїв, 20–22 вересня 2019 р.); 3-ї Міжнародній науково-практичній конференції "Водопостачання та водовідведення: проектування, будова, експлуатація, моніторинг" (Львів, 23-25 жовтня 2019 р.); I Міжнародній науково-практичній конференції "Екологічна безпека об'єктів туристично-рекреаційного комплексу" (Львів, 5–6 грудня 2019 р.); II Міжнародному науковому симпозиумі SDEV'2020 "Сталий розвиток – стан та перспективи" (Львів-Славське, 12–15 лютого 2020 р.); IV Міжнародній науково-практичній конференції "Інноваційні технології в архітектурі і дизайні" (Харків, 21–22 травня 2020 р.); Міжнародній науковій конференції молодих вчених "Регіональні проблеми охорони довкілля" (Одеса, 1–3 червня 2020 р.); 6-му Міжнародному конгресі "Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування" (Львів, 23 –25 вересня 2020 р.); IV Konferencji naukowo-technicznej "Inżynieria i kształtowanie środowiska" (Zielona Góra, October 30, 2020); International research-to-practice conference "Climate services: science and education" (Odesa, 22–24 September 2021); VIII-му Міжнародному з'їзду екологів "Екологія / Ecology – 2021" (Вінниця, 22–24 вересня 2021 р.); IV Міжнародній науково-практичній конференції "Водопостачання і водовідведення: проектування, будівництво, експлуатація, моніторинг" (Львів, 20–22 жовтня 2021 р.); Міжнародній науково-практичній конференції "Проблеми сталого розвитку" (Львів-Зозулі, 22–23 жовтня 2021 р.); II Міжнародній науково-практичній конференції "Екологія. Довкілля. Енергозбереження" (Полтава, 2-3 грудня 2021 р.); III Міжнародному науковому симпозиумі "Сталий розвиток – стан та перспективи" (Львів-Славське, 26–29 січня 2022 р.); Міжнародній науковій конференції за участю молодих науковців "Регіональні проблеми охорони довкілля та збалансованого природокористування" (Одеса, 21–22 вересня 2022 р.); VII Міжнародному конгресі "Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природо-користування" (Львів, 12–14 жовтня 2022 р.); Національному форумі «Поводження з відходами в Україні: законодавство, економіка, технології» (Івано-Франківськ, 21–23 листопада 2023 р.); International scientific and practical conference "Environment recovery and reconstruction: war context 2022" (Poltava, December 17–18, 2022); Міжнародному науковому симпозиумі в рамках Еразмус+ Модуль Жан Моне «Концепція

екосистемних послуг: Європейський досвід» («EE4CES») “Сталий розвиток – стан та перспективи” (Львів – Славське, 13–16 лютого 2024).

Ступінь використання у дисертації матеріалів і висновків кандидатської дисертації здобувача. Матеріали кандидатської дисертації “Агроекологічна оцінка капсульованих мінеральних добрив в умовах заходу України” Тимчука Івана Степановича захищеної 25.05.2016 не використовувались.

Публікації. Основні положення й наукові результати дисертації викладено у 121 науковій праці, з яких: одна колективна монографія, 14 розділів в колективних монографіях, 66 наукових статей, зокрема 35 статей у наукових виданнях, що входять у наукометричну базу даних SCOPUS, 31 стаття у наукових фахових виданнях України, 36 тез доповідей на міжнародних, всеукраїнських конференціях, семінарах та чотири патенти на корисну модель.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається з анотації, вступу, восьми розділів, висновків, списку використаних джерел, що містить 278 найменування на 33 сторінках, та 5 додатків на 54 сторінках. Загальний обсяг дисертації становить 475 сторінок, основна частина має 292 сторінки, 63 таблиці та 197 рисунків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету та завдання роботи, визначено об’єкт та предмет дослідження, наукову новизну одержаних результатів та їхнє практичне значення, викладено особистий внесок дисертанта, наведено відомості про апробацію результатів роботи та кількість публікацій.

У **першому розділі** на основі проведеного аналізу літератури приведені найбільш поширені в Україні та у світі методи утилізації ОСВ, включаючи їх захоронення, компостування, спалювання, сушіння, використання в сільському господарстві, анаеробне розщеплення та переробку як будівельних матеріалів. На основі аналізу існуючої інформації встановлено, що серед біотехнологічних методів утилізації органічних відходів найбільш дослідженими і перспективними з точки зору еколого-економічної доцільності є аеробне компостування та анаеробне зброджування. Аналіз загального впливу на навколишнє середовище та використання різних методів поводження з відходами передбачає багато непрямих наслідків, тому вибір оптимального методу потребує комплексного підходу до оцінки життєвого циклу (Life Cycle Assessment). Детально проаналізовані види компостування та їх характеристика. Розглянуті основні аспекти вдосконалення процесу компостування для досягнення стратегії чистого компостування. Чисте компостування можна описати як вибір безпечної або малошкідливої сировини на всіх етапах, від вибору сировини до процесу компостування та використання отриманих продуктів. Результатом є безшкідливий кінцевий продукт і процес компостування, який не впливає негативно на навколишнє середовище та здоров'я людей після використання землі. Проведений аналіз впливу застосування компосту на біологічні властивості ґрунту та зміну клімату. Встановлено, що аеробне компостування визнано прийнятною та економічно доцільною технологією переробки органічних відходів, що відіграє позитивну роль у циркулярній біоекономіці. Майбутні дослідження

повинні фокусуватися на факторах, що впливають на процес компостування (таких як температура, відношення вуглець-азот, надходження кисню тощо), з метою підвищення ефективності компостування. Проведений аналіз українського та світового досвіду рекультивації порушених земель, що є частиною проблеми раціонального використання природних ресурсів та охорони навколишнього середовища. Вибір напряму рекультивації порушених земель зазвичай підпорядковується єдиній меті – раціональному та ефективному використанню земельних ресурсів, створенню ландшафтів, які відповідали б господарським, екологічним та санітарно-гігієнічним потребам суспільства. Проведений огляд перспектив застосування природних сорбентів в цілях ремедіації. На основі аналізу літературних даних встановлена перспективність використання природних сорбентів у рекультиваційних цілях - для створення добрив пролонгованої дії, капсульованих водорозчинною плівкою та в цілях ремедіації. Це дозволяє уникнути забруднення ґрунту та подовжити дію добрив, що сприяє покращенню якості ґрунту та збереженню довкілля.

У другому розділі дисертаційної роботи приводиться інформація щодо концепції, методології та методів досліджень. Зокрема розглянуті аспекти балансування складу субстрату в залежності від виду об'єкту рекультивації та ремедіації.

Використання техногенних органомісних відходів в цілях рекультивації дозволяє вирішити одразу дві проблеми екологічної безпеки:

- утилізувати небезпечні відходи, неконтрольований біорозпад органічної частини яких спричиняє забруднення довкілля;
- провести ефективну рекультивацію порушених антропогенною діяльністю земель із створенням продуктивного шару, придатного для вирощування рекультиваційних культур (а у випадку введення в склад субстратів для рекультивації ще й природних сорбентів – ремедіацію забруднених середовищ).

Нами розглядалися 3 види органомісних техногенних відходів, які можуть використовуватись в цілях рекультивації та ремедіації:

1. Осади стічних вод (ОСВ).
2. Дигестат (залишок після реалізації метаногенезу і відбору синтезованого біогазу).
3. Відходи життєдіяльності сільськогосподарського птахівництва.

Вибір для досліджень таких типів органомісних техногенних відходів обумовлювався:

- екологічною небезпекою, яка може виникнути у випадку неконтрольованого біорозкладу цих органомісних відходів;
- їх багатотонажністю,
- доступністю,
- можливістю успішного застосування в цілях рекультивації (що було встановлено багаточисельними попередніми дослідженнями),
- невирішенням на сьогоднішній день проблеми їх успішної утилізації.

Щодо третього виду відходів, то свідомо нами не розглядались відходи тваринництва, оскільки добитись їх транспортабельності та зручності у внесенні в рекультиваційних технологіях в зв'язку із великим вологовмістом важко. Першою стадією їх утилізації найдоцільніше є використання в складі сировини для виробництва біогазу. В той же час відходи птахівництва у випадку впровадження попередньої технології їх переробки, яка включає змішування із природними сорбентами ще на етапі формування підстилки та сушіння, можуть ефективно застосовуватись для створення органо-мінеральних добрив, які можуть ефективно використовуватись в цілях рекультивації. Тому така технологія попередньої підготовки курячого посліду, а також ефективність використання отриманого добрива в цілях рекультивації і досліджувалась нами у цій дисертації. Одночасно введення природних сорбентів в склад підстилки в процесі вирощування курей дозволяє значно зменшити рівень екологічної небезпеки від забруднення атмосфери аміаком та іншими небезпечними сполуками в місцях локалізації пташників.

Щодо використання в цілях рекультивації ОСВ, то рядом досліджень встановлено, що використання тільки їх як рекультиваційного матеріалу неможливе, вони можуть використовуватись тільки як складова рекультиваційного субстрату. В залежності від умов утворення та зберігання ОСВ на каналізаційних очисних спорудах (КОС) нами виділено 3 варіанти застосування їх в цілях рекультивації, які представлені на рис.1.



Рис.1. Можливі варіанти застосування ОСВ в цілях рекультивації

Для напрямку створення рекультиваційних добрив на основі пташиного посліду та природних сорбентів важливим було дослідження повного життєвого циклу створення таких добрив: від внесення сорбентів у склад підстилки, дослідження сорбції аміаку і інших забруднень та попередження забруднення атмосфери, до створення добрив оптимального складу та властивостей та випробування агрохімічних властивостей цих добрив.

Узагальнений алгоритм створення та використання рекультиваційних субстратів та органо-мінеральних добрив, дослідження яких наведені у цій роботі, представлений на рис.2. Приведена послідовність операцій, що передують використанню досліджуваних рекультиваційних продуктів в цілях рекультивації для всіх чотирьох варіантів використання органо-мінеральних відходів: трьох варіантів використання ОСВ та використання пташиного посліду.

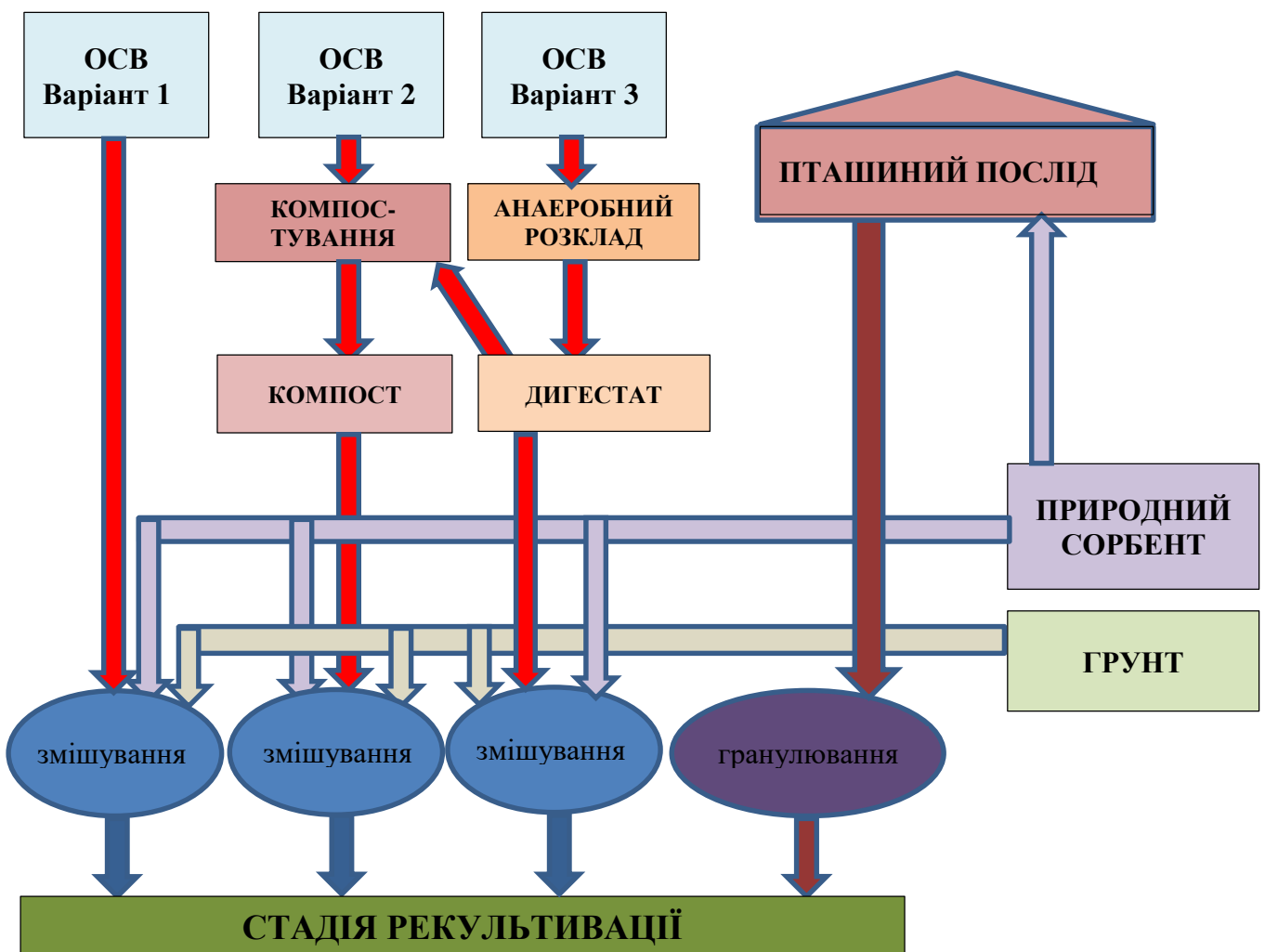


Рис.2. Узагальнений алгоритм створення та використання рекультиваційних субстратів та органо-мінеральних добрив

Дослідження щодо створення рекультиваційних продуктів із використанням ОСВ проводились у декілька етапів. На першому етапі досліджень встановлювались фізико-хімічні, агрохімічні та санітарно - токсикологічні характеристики заскладованих (умовно названих нами «старих») ОСВ. Такі дослідження проводились

на прикладі Львівських КОС, де на сьогоднішній день заскладовано за нашими підрахунками 407659 м³ ОСВ, утворених на попередніх етапах експлуатації КОС.

На другому етапі встановлювались оптимальний склад рекультиваційних продуктів (субстрату прямого змішання, рекультиваційних компостів) та технологічні параметри компостування.

На третьому етапі проводились біоіндикаційні дослідження отриманих рекультиваційних продуктів (другий і третій етап досліджень були логічно пов'язані, оскільки дані досліджень на 3 етапі служили критерієм оптимізації для другого етапу).

На 4 етапі проводились санітарно – токсикологічні та мікробіологічні дослідження рекультиваційних продуктів, які є необхідним компонентом досліджень, оскільки органічна частина ОСВ може служити елементами живлення і для патогенних мікроорганізмів та патогенної мікрофлори, розвиток яких становить екологічну загрозу.

За окремою схемою проводились дослідження ремедіації, яка забезпечується введенням в склад рекультиваційних продуктів природних сорбентів. Для встановлення ефективності ремедіації була розроблена математична модель яка верифікувалась із використанням даних спеціально спланованих та реалізованих експериментальних досліджень.

Дослідження щодо використання дигестату в рекультиваційних технологіях включали встановлення елементного складу дигестату з ціллю контролю вмісту у дигестаті важких металів та небезпечних сполук, встановлення оптимальних параметрів часткового обезводження, термічний аналіз дигестату з ціллю встановлення основних закономірності його синтезу в процесі метаногенезу та біоіндикаційні дослідження.

Дослідження щодо створення рекультиваційних добрив на основі пташиного посліду та природних сорбентів проводились у такій послідовності: визначення оптимальних умов реалізації процесу адсорбції аміаку із посліду птахів, встановлення оптимального співвідношення суміші природних дисперсних сорбентів та курячого посліду, визначення механічної міцності на стиск зразків композиції органо-мінерального добрива, визначення адсорбційної здатності гранульованого добрива запропонованої композиції щодо вологи та аміаку. На основі аналізу результатів цих досліджень розроблялась принципова технологічна схема виготовлення органо-мінерального добрива на основі курячого посліду. Завершальним етапом досліджень органо-мінеральних добрив були агроекологічні випробування застосування добрива в рекультиваційних цілях, а саме: визначення впливу досліджуваної композиції на зміну рН та концентрацію амонійного азоту в залежності від типу ґрунту, визначення впливу композиції на зміну концентрації амонійного азоту в ґрунті, визначення впливу досліджуваної композиції на зміну концентрації фосфору, кальцію, калію та мангану в залежності від типу ґрунту і як завершальний етап - польові випробування органо-мінеральних добрив.

В 2 розділі приведені також методики відбору та аналізу проб, методики проведення моніторингу заскладованих ОСВ, методика проведення біоіндикаційних досліджень, методика виконання аеробного біокомпостування із використанням

ОСВ як компоненту сировинної суміші, методика проведення мікробіологічних досліджень, методика дослідження сорбційних властивостей клиноптилоліту та палигорськіту щодо аміаку.

У **третьому розділі** приведені результати аналізу об'ємів та фізико-хімічних характеристик накопичених осадів стічних вод на Львівських КОС. Встановлено, що вміст досліджуваних речовин в ОСВ не перевищують гранично-допустимі концентрації.

Об'єм мулових осадів розраховано шляхом перемноження площі мулового поля на потужність мулу, розраховану по ізолініях потужності. Потужність вичислялася по сітці з кроком 25 м (рис. 3), кількість точок становила 173. Розрахована середня потужність складає 3,16 м. Загальна площа мулового поля, за даними топографо-геодезичного картування становить 129006 м². Загальний об'єм мулових осадів всього мулового поля становить 407659 м³.

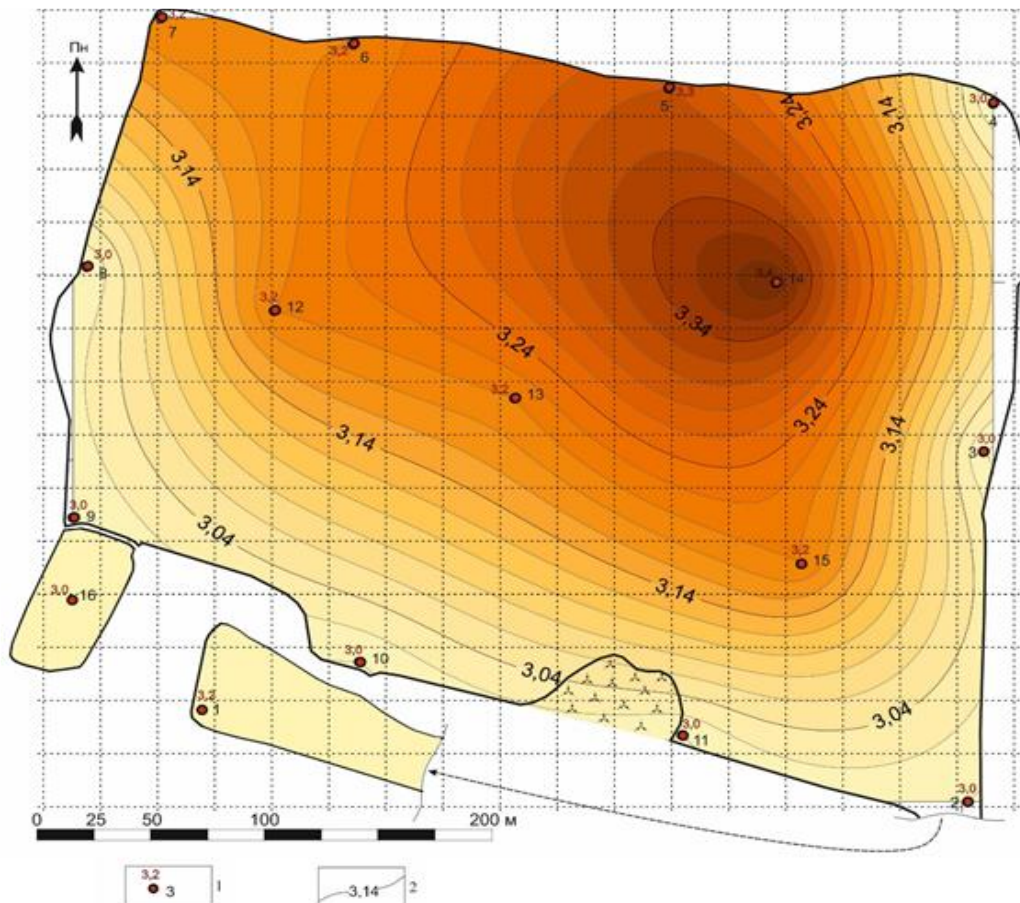


Рис. 3. Картосхема потужності мулових осадів: 1 – номер точки заміру та потужність мулу, м; 2 – ізолінії потужностей (ізопахіти)

За результатами моніторингових досліджень, встановлено зв'язок між різними компонентами системи. Встановлено, що з глибиною залягання в осадах стічних вод зростає кількість мінеральної речовини. Причиною цього є гравітаційна диференціація мулового субстрату, яка проявляється в осіданні важчих мінеральних компонентів. Додатковим чинником є їх вимивання із мулів метеогенними водами з наступним переміщенням униз розрізу мулового поля. Встановлена пряма залежність

між мінеральною речовиною мулових осадів та манганом (Mn), яка очевидно обумовлена вмістом в них манганвмісних мінералів (фосфатів, сульфатів, оксидів, силікатів). Низька кореляція заліза (Fe) з мінеральною речовиною у системі мулових осадів може бути зумовлена її нівеляцією за рахунок утворення залізоорганічних комплексів в процесі його взаємодії з кислотами органічної складової мулів.

Встановлено, що органічна речовина в осадах у певній мірі регулює значення рН середовища. Вміст органічних кислот понижує його значення. Сорбційні властивості органічної речовини обумовлені здатністю органічних кислот створювати комплексні сполуки із металами, що і визначає прямі кореляційні зв'язки між органічною речовиною мулів та важкими металами.

У четвертому розділі приведені результати досліджень щодо створення рекультиваційного субстрату прямого змішування із використанням осадів стічних вод. Для отримання субстрату прямого змішування використовувались 3 складові: темно-сірий опідзолений ґрунт, ОСВ та природні сорбенти (цеоліт або глауконіт). Результати проведених біоіндикаційних досліджень (всі досліди проводились у 3-х кратній повторюваності) показали, що недоцільно використовувати свіжу біомасу ОСВ як компонент субстрату: вона створює інгібуючий вплив і не дає змоги розвиватися рослинам. Дослідження щодо використання відпрацьованої біомаси після анаеробного біорозкладу (дигестату) засвідчили, що в усіх досліджуваних варіантах із вмістом дигестату спостерігався позитивний вплив на проростання культурних рослин у порівнянні із контролем та стерильним контролем.

Досліджено вплив різних видів субстрату на проростання, ріст та розвиток біоіндикаторних рослин. Встановлено, що у випадку використання субстрату на основі відстояних осадів, проростання рослин не відбувалося, оскільки у досліджуваних зразках спостерігався розвиток грибів та плісені, які пригнічували ріст рослин; у випадку використання субстрату на основі термічно відстояних осадів проростання рослин не відбувалося, оскільки у досліджуваних зразках спостерігався розвиток патогенних мікроорганізмів, які пригнічували ріст рослин; у випадку використання субстрату на основі свіжих осадів проростання рослин відбувалося у зразках, де частка ОСВ перевищувала 40%. У зразках із вмістом осадів 20% середній показник проростання ячменю звичайного становив 97,5%, ячменю протравленого та крес-салату по 77,5%. У випадку використання субстрату на основі ОСВ та цеоліту проростання рослин спостерігалось в усіх зразках (рис.4.).

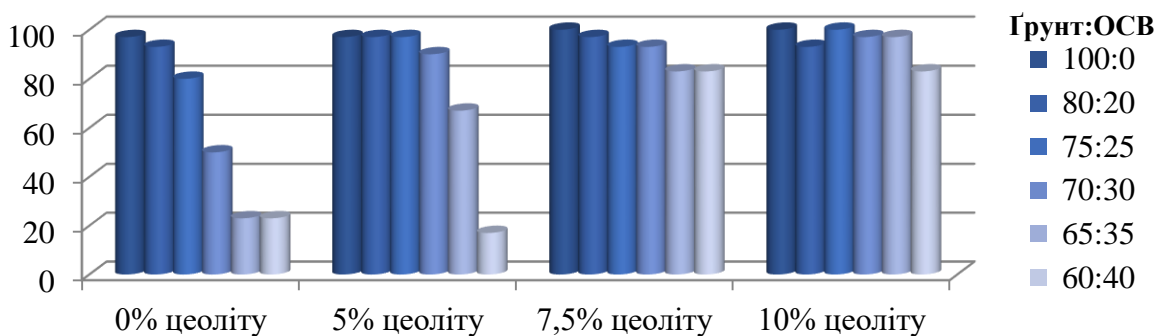


Рис. 4. Середній відсоток проростання ячменю звичайного у досліджуваних зразках на 10-й день

З рис. 4. можна побачити, що на 10-й день проведення досліду найкращий середній показник проростання ячменю спостерігався у зразках субстрату із вмістом цеоліту 7,5 та 10% і становив 91,7 та 95% відповідно, у порівнянні із зразками з вмістом цеоліту 0 та 5% (61,1 та 77,2%). Слід відзначити, що у зразках субстрату із вмістом цеоліту 7,5 та 10% - найвищий показник проростання у порівнянні з іншими зразками (з вмістом цеоліту 0%), був у субстраті з вмістом осади 40% і становив в обох випадках 83,3% проти 23,3%.

Дослідження проводили на двох видах субстрату:

- у перший додавали темно-сірий опідзолений ґрунт, свіжі осади та цеоліт у співвідношенні (%): 50:40:10;
- у другий – темно-сірий опідзолений ґрунт, свіжі осади та глауконіт у співвідношенні (%): 50:40:10, які порівнювали із контрольним зразком (ґрунтом).

В ємність об'ємом 500 мл на створений субстрат висаджували по 10 насінин ячменю звичайного (проростання 95-97%) та по 30 насінин райграсу (проростання 90-93%). Впродовж введення досліду велися спостереження за такими показниками як час появи паростків, їх кількість на кожен добу та загальне проростання. Після закінчення досліджень було виміряно масу рослин, а також довжину та масу наземної частини та коренів рослин. На рис. 5 представлено зміни в проростанні ячменю звичайного та райграсу в різних субстратах впродовж введення досліду (60 днів).

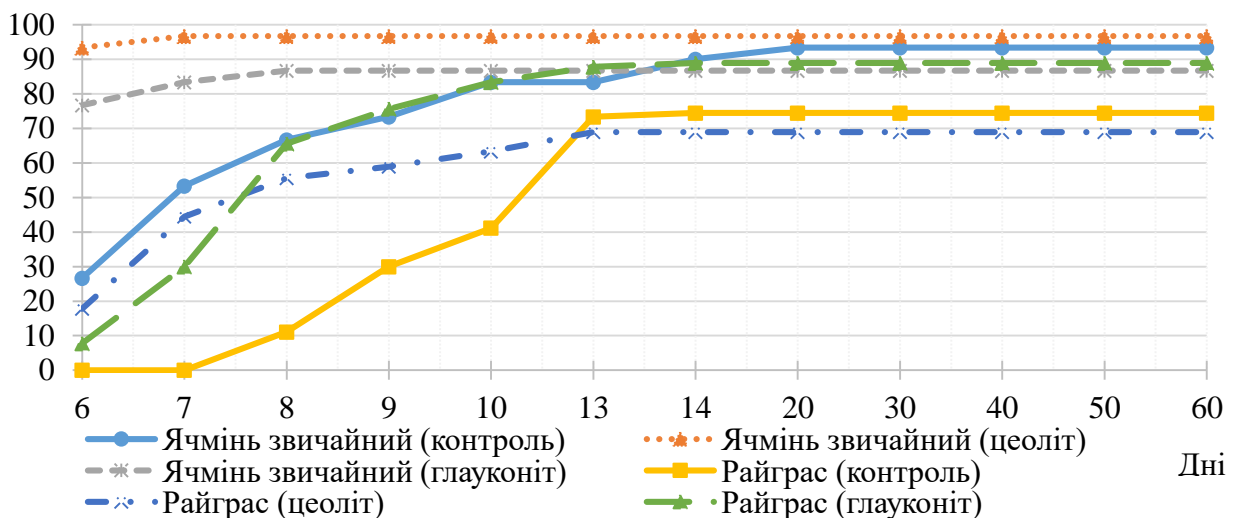


Рис. 5. Зміни проростання ячменю звичайного та райграсу в різних субстратах в залежності від часу, %

Впродовж перших 10 днів проростання райграсу у субстратах із природними сорбентами (цеоліт, глауконіт) було вищим у порівнянні з контрольними зразками, і становила: для контролю – 41%, для субстрату із вмістом цеоліту – 63% та для субстрату з вмістом глауконіту – 83%. Що стосується ячменю звичайного, то за цей період часу, також спостерігався нижчий показник проростання у контрольному зразку у порівнянні із субстратами. Починаючи із 14-го дня проведення досліду і до його завершення (60-й день) середній показник проростання рослин залишився сталим і становив:

- для ячменю звичайного у контрольному зразку – 93%, у зразку із цеолітом – 97% та у зразку із глауконітом – 87%.
- для райграсу у контрольному зразку – 74%, у зразку із цеолітом – 69% та у зразку із глауконітом – 89%;

Встановлено залежність зміни росту та розвитку рослин в залежності від різних видів субстрату: із додаванням 20% свіжих осадів у субстрат показник росту стебла ячменю звичайного є більшим на 9% у порівнянні із контрольним зразком; у випадку використання субстрату на основі осадів та цеоліту в кількості 5, 7,5 та 10% показники росту стебла ячменю у всіх варіантах є більшими від контрольного зразка; у зразках із вмістом цеоліту 10% та вмістом осадів 30% показник росту коренів є більшим від контрольного зразка на 7%; у випадку використання субстрату на основі осадів та глауконіту показник росту стебла райграсу є більшим на 3,2% від контрольного зразка; у випадку використання субстрату із вмістом цеоліту та субстрату із вмістом глауконіту показники росту коренів є більшими від контрольного зразка на 5,6 та 12,3% відповідно.

Визначено оптимальний склад субстрату для проведення біологічної рекультивації, співвідношення компонентів у якому складає 50% ґрунту, 40% осадів та 10% природного сорбенту.

Визначення кількості небезпечних сполук (особливо вмісту важких металів, які можуть бути лімітуючим чинником для використання цього виду відходів як добавки для ростового субстрату) на рентгенофлуоресцентному аналізаторі EXPERT 3L показав, що ні одного із елементів, вміст яких у сировині для виробництва добрив лімітований (кадмію, свинцю та арсену) в дигестаті не знайдено, отже він може використовуватися як компонент ростового субстрату.

Проведені дослідження встановлення механізму та кінетики сорбції токсичних забруднень природними сорбентами для забезпечення ефективної ремедіації дозволило розробити фізичну та математичну модель процесу сорбції поллютантів природними сорбентами, які внесені у склад субстрату для рекультивації та ремедіації.

Матеріальний баланс системи «водне забруднення ґрунту – адсорбент» має вигляд:

$$V \cdot \varepsilon (C_0 - C) = M_{ад} \cdot a \quad (1),$$

де C_0 – початкова концентрація поллютанта у водній частині ґрунту, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; C – біжуча концентрація поллютанта, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; $M_{ад}$ – маса адсорбенту, кг; a^* – рівноважна концентрація, що відповідає статичній активності адсорбенту, $\frac{\text{кг пол.}}{\text{кг адс}}$.

На рис. 6 наведено матеріальні співвідношення між рідкою фазою та твердим адсорбентом. Тверду фазу характеризує адсорбент, який представлений ізотермою адсорбції 3 і який визначає максимально можливі концентрації, які досягаються у стані рівноваги. Ізотерма адсорбції є характерною для кожного адсорбенту та речовини, що поглинається - адсорбтива. Найбільш часто для матеріального опису

ізотерми використовується рівняння Ленгмюра, а для низьких концентрацій рівновага може описуватись рівнянням Генрі.

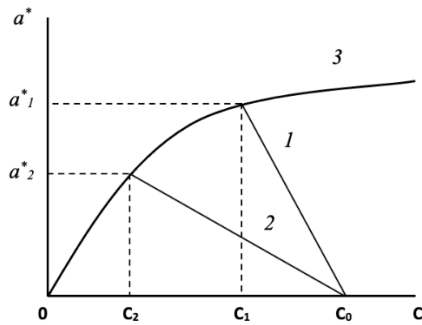


Рис.6. Графічна ілюстрація матеріального балансу адсорбції (1 і 2 – робочі лінії; 3 – рівноважна крива)

Із рисунку (7) та рівняння (1) випливає, що зниження концентрації забруднювача у ґрунтовому середовищі вимагає збільшення маси адсорбента $M_{ад}$. Для області низьких концентрацій забруднювача C ізотерма адсорбції може бути описана рівнянням Генрі:

$$a^* = \Gamma \cdot C, \quad (2),$$

де Γ – константа Генрі для системи адсорбент – забруднювач у водній фазі, $\frac{\text{м}^3}{\text{кг ад}}$.

Тривалість адсорбції визначається із кінетичного рівняння, яке встановлює зміну концентрації у просторі і в часі. Для частинок кулястої форми диференціальне рівняння нестационарного процесу молекулярної дифузії записується у виді:

$$\frac{\partial C_A}{\partial \tau} = D^* \frac{\partial^2 C_A}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial C_A}{\partial r}, \quad (3),$$

де C_A – концентрація речовини, що поглинається у твердому тілі, віднесена до всієї частинки, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; r – біжучий радіус, м ($0 \leq r \leq R$); R – радіус частинки, м; τ – час, с; D^* – ефективний коефіцієнт внутрішньої дифузії, $\frac{\text{м}^2}{\text{с}}$. D^* є складною величиною, що враховує дифузію компоненту стінками пор та у об'ємі пор. Концентрація C_A визначає її лише на даному радіусі r у даний момент часу τ .

Рівняння (3) слід доповнити початковими та граничними умовами. Початкові умови визначаються часом внесення адсорбенту у ґрунтове середовище і цей час приймається за початок процесу адсорбції $\tau = 0$.

Початкова умова: $C_A(r, \tau = 0) = 0$ (4).

Гранична умова: $C_A(z = R; \tau) = C_{AR}^*$ (5).

Умова симетричності: $\left(\frac{\partial C_A}{\partial r}\right)_{r=0} = 0$ (6).

Використовуючи формулу для усереднення концентрації зерном адсорбента (6), одержуємо рівняння, що дозволяє визначити усереднену концентрацію по зерну адсорбента у залежності від часу адсорбції, що представляється числом Фур'є F_0 :

$$\frac{\bar{C}_A}{C_A^*} = 1 - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{6}{\pi^2 n^2} e^{-\pi^2 n^2 \cdot F_0} \quad (7)$$

Експоненціальна залежність (7) містить числовий ряд n , що зростає, та безрозмірний час, що визначається числом F_0 . З ростом цих величин експонента прямує до нуля. Процес адсорбції є довготривалим, тому величина $e^{-\pi^2 n^2 \cdot F_0}$ прямує до нуля за $n > 1$. Це дозволяє обмежитись першим членом суми

$$\frac{\bar{C}_A}{C_A^*} = 1 - \frac{6}{\pi^2} e^{-\pi^2 \cdot F_0} \quad (8)$$

Задаючись необхідним значенням $\frac{\bar{C}_A}{C_A^*}$ та прологоримувавши рівняння (8) одержуємо:

$$\ln \left(1 - \frac{\bar{C}_A}{C_A^*} \right) = \ln \frac{6}{\pi^2} - \pi^2 \cdot F_0 \quad (9)$$

З рівняння (9) можемо визначити середню об'ємну концентрацію політанта в адсорбенті: $M_a = \varepsilon \cdot V (C_0 - C)$ – маса поглинутого політанта [кг]; $\frac{m_a}{a^*} = M_{ад}$ – маса адсорбента; $C_A^* = a^* \cdot \rho_{адс}$ – рівноважне значення $[\frac{кг}{м^3 ад}]$.

Нами проведено розрахунок необхідного часу адсорбційного очищення від іонів важких металів в процесах ремедіації для варіанту застосування в процесі ремедіації цеоліту. Як впливає із результатів розрахунків, максимальне значення необхідного часу адсорбційного очищення від іонів важких металів в процесах ремедіації складає 19 годин, що є цілком допустимим для практичного впровадження і дозволяє рекомендувати застосований спосіб для реального впровадження.

П'ятий розділ присвячений дослідженням щодо використання ОСВ в складі сировини для виготовлення рекультиваційного компосту. Як компоненти сировинних сумішей, об'ємні співвідношення яких приведені в табл.1., досліджувались свіжі та старі осади стічних вод (ОСВ_{св} та ОСВ_{ст}), деревна тріска та активний компост.

Таблиця 1. Об'ємні співвідношення компонентів сировинних сумішей

| № суміші | Об'єм, дм ³ | | | | | Об'ємна частка | | | |
|----------|------------------------|-------------------|----------------|------------------|-------|-------------------|-------------------|----------------|------------------|
| | ОСВ _{св} | ОСВ _{ст} | деревна тріска | активний компост | разом | ОСВ _{св} | ОСВ _{ст} | деревна тріска | активний компост |
| 1 | 3 | 0 | 6 | 3 | 12 | 0,250 | 0 | 0,500 | 0,250 |
| 2 | 4 | 0 | 4 | 4 | 12 | 0,333 | 0 | 0,333 | 0,333 |
| 3 | 2 | 2 | 4 | 4 | 12 | 0,167 | 0,167 | 0,333 | 0,333 |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 12 | 12 | 0 | 0 | 0 | 1,000 |

Інформація, отримана в результаті аналізу даних досліджень процесу аеробного біокомпостування сумішей органічних речовин у лабораторних умовах на спеціально створеній установці підтверджує перспективи використання осадів стічних вод як складової сировинної композиції.

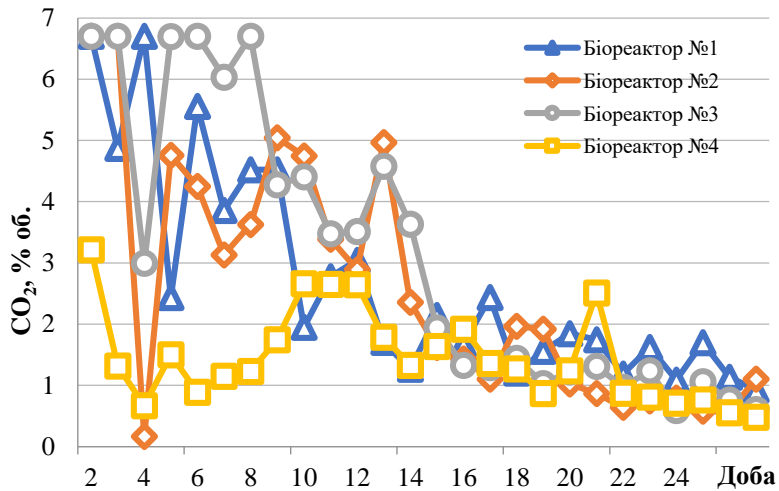


Рис. 7. Зміна вмісту CO₂ всередині біореакторів в процесі компостування

швидкість викиду CO₂ відображає швидкість розпаду органічних речовин та мікробну активність у процесі аеробного компостування органовмісних сумішей. Зміна вмісту CO₂ (% об.) всередині біореакторів №1 – №4 представлена на рис. 7. У першому біореакторі із найбільшим вмістом деревної тріски максимальний вміст CO₂ на рівні 6,7 % об. фіксували у період з 1 по 5 добу дослідження. У біореакторі № 2 максимальний вміст CO₂ на рівні 6,7 % об. було зафіксовано у перші 3 доби. Починаючи із 15 доби дослідження почали фіксувати постійні значення вмісту CO₂ у всіх біореакторах в діапазоні 0,5 - 1,5 % об. CO₂.

Досліди також підтвердили, що додавання деревної тріски та активного компосту стимулює поглинання аміаку. Дія мікроорганізмів, які сприяють нітрифікацію, покращує структуру, пористість та доступ повітря до компостної суміші, сприяючи покращеній аерації та перетворенню поживних речовин.

Отримані під час проведення біоіндикаційного дослідження дані дають підставу для таких висновків:

- Додавання природного сорбенту - цеоліту - у кількості 5% та 7,5% до субстрату має позитивний вплив на проростання біоіндикаторних рослин. Найкращі результати проростання були зафіксовані у варіантах №2, де досягли 100%, та №3, де зафіксовано 87%. В варіанті №3 із вмістом цеоліту 5%, середнє значення проростання становило 93%.

- Середня висота стебла райграсу у варіантах №2, 3, 4 зі вмістом сорбенту перевищує аналогічні показники в варіантах з вмістом сорбенту 0% на 43% (сорбент 7,5%), 6% (сорбент 2,5%) та 9,7% (сорбент 7,5%).

- Середня маса однієї рослини в варіанті №4 із вмістом сорбентів 2,5% та 5% перевищує контрольний варіант (№1) на 23% та 63% відповідно.

- Середня маса одного стебла у варіантах №4 із вмістом сорбенту 5% більша на 11,1% порівняно із контрольним варіантом.

- Середня довжина кореня в варіанті №4 з вмістом сорбенту 5% перевищує контрольний варіант в 5,4 рази.

Виходячи із отриманих даних можна зробити висновок, що найбільш вигідним

В ході лабораторних досліджень встановлювався характер температурних профілів компостних сумішей, динаміка зміни в компостних сумішах концентрації кисню, діоксиду вуглецю та аміаку в процесі компостування. Зміна вмісту CO₂ всередині біореакторів в процесі компостування приведена на рис.7.

Оскільки CO₂ є основним газом, що утворюється внаслідок мікробної деградації органічних речовин, то саме

та універсальним варіантом для створення ростового субстрату є опція №4, яка включає суміш "свіжовідібраних" та "старих" ОСВ. Рослини, вирощені на цьому субстраті, хоч і мають менш розвинену надземну частину, але водночас демонструють високий рівень розгалуженої кореневої системи. Це дозволяє їм ефективно адаптуватися до різних факторів природного середовища. Завдяки поєднанню цього із невеликою кількістю природних сорбентів, цей варіант може виявитися дуже результативним для відновлення полігонів ТПВ. Такий підхід дозволяє мінімізувати використання родючого ґрунту.

У лабораторних та натурних умовах успішно апробована технологія аеробного компостування сировинних сумішей із ОСВ, харчових відходів та рослинних відходів різних видів. Процес компостування та дозрівання тривав впродовж 90 діб. У результаті отримано партію компосту, дослідження якого продовжили в польових умовах (рис. 8). Дослідження в польових умовах показали, що впродовж вегетаційного періоду отримані перспективні результати стосовно використання біокомпостів на основі ОСВ та інших органомісних відходів для вирощування райграсу пасовищного. Отримані дані свідчать про вміст значної кількості основних біогенних елементів та макро- та мікроелементів у досліджуваних компостах, що сприяє кращому росту та розвитку рослин. Хімічний склад компостів відповідає умовам безпечного використання як субстратів для біологічної рекультивації, що підтверджено фізико-хімічним та агрохімічним аналізом. Також виявлено тенденцію до підлужнення ґрунтового середовища, нагромадження кальцію та магнію, зростання вмісту органічної речовини та основних елементів живлення порівняно із контрольним варіантом.



Рис. 8. Вигляд бурта після першого перемішування



Рис. 9. Загальний вид біоіндикаційних рослин

У шостому розділі приводяться дані досліджень перспективності використання для рекультивації дигестату. Для досліджень було використано дигестат, одержаний із рослинної сировини в процесі метанового бродіння в біогазовому реакторі, який змішували із мулом після анаеробного зброджування стічних вод заводу ЗАТ «ЕНЗИМ». Елементний склад висушеного дигестату, встановлений із використанням рентгенофлуоресцентного аналізатора EXPERT 3L приведений у табл.2.

Таблиця 2. Елементний склад висушеного дигестату

| Назва елемента | Вміст, % | Назва елемента | Вміст, % | Назва елемента | Вміст, % |
|----------------|--------------|----------------|--------------|----------------|--------------|
| 14Si | 4.432 ±0.086 | 22Ti | 0.081 ±0.019 | 34Se | 0.007 ±0.002 |
| 15P | 7.160 ±0.131 | 25Mn | 1.139±0.017 | 35Br | 0.053 ±0.002 |
| 16S | 11.713±0.101 | 26Fe | 1.492 ±0.015 | 38Sr | 0.029 ±0.002 |
| 17Cl | 8.461 ±0.079 | 28Ni | 0.023 ±0.002 | 40Zr | 0.004 ±0.002 |
| 19K | 20.197±0.060 | 29Cu | 0.006 ±0.001 | 46Pd | 0.008 ±0.002 |
| 20Ca | 45.131±0.112 | 30Zn | 0.024 ±0.001 | 51Sb | 0.025 ±0.004 |

В дигестаті не виявлено жодного з елементів, вміст яких лімітується в сировині для виробництва добрив, а саме кадмію, свинцю та арсену, крім того у відпрацьованій біомасі виявлено високий вміст кальцію, фосфору, калію, сірки, а також мікроелементів, таких як залізо та марганець, які є необхідними для збалансованого живлення багатьох культурних рослин.

Термограма зразка дигестату представлена на рис. 10. Термограма свідчить, що термоліз протікає впродовж чотирьох стадій. В інтервалі температур 20 – 134°C проходить перша стадія термолізу, на якій відбувається виділення гігроскопічної води. Цей процес супроводжується втратою досліджуваними зразками маси та появою ендотермічних ефектів на кривих ДТА. Друга стадія термолізу проходить в температурному інтервалі від 125 до 201°C. Відбувається дегідратація залишків целюлози, яка входить до складу зразків дигестату та часткова деструкція бродильної закваски, яка є складовою частиною досліджуваних зразків.

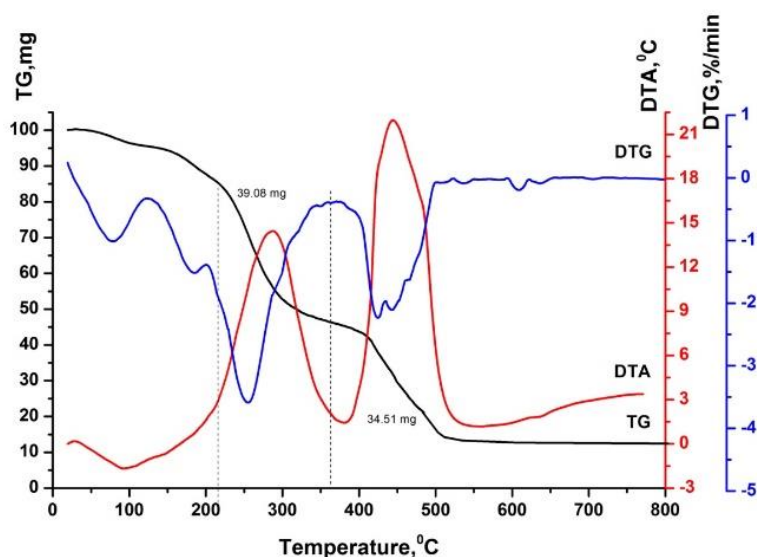


Рис. 10. Термограма зразка дигестату

Третя стадія відбувається в інтервалі 185 – 369°C. На ній проходить термоокисна деструкція компонентів зразка та згорання продуктів деструкції. Процес супроводжується інтенсивною втратою зразками маси та появою стрімких екзотермічних ефектів на кривих ДТА. На заключній четвертій стадії термолізу (температурний інтервал 355 – 700°C) відбувається згорання піролітичного залишку зразків,

яке супроводжується появою стрімких екзоэффектів на кривих ДТА.

Для дослідження впливу дигестату на проростання рекультиваційних рослин було відібрано по 100 насінин райграсу (*Lolium perenne*) та ячменю звичайного (*Hordeum vulgare*), які поміщали на різні субстрати в чашки Петрі за такою схемою:

1. КС – контроль на стерильному середовищі (дистильована вода на фільтрувальному папері), $m = 25$ г;

2. К – контроль на темно-сірому опідзоленому ґрунті, $m = 25$ г;
3. Д 10% – дигестат 10% (суміш темно-сірого опідзоленого ґрунту та дигестату, яку змішували у співвідношенні 90:10), $m = 25$ г;
4. Д 20% – дигестат 20% (суміш темно-сірого опідзоленого ґрунту та дигестату, яку змішували у співвідношенні 80:20), $m = 25$ г.

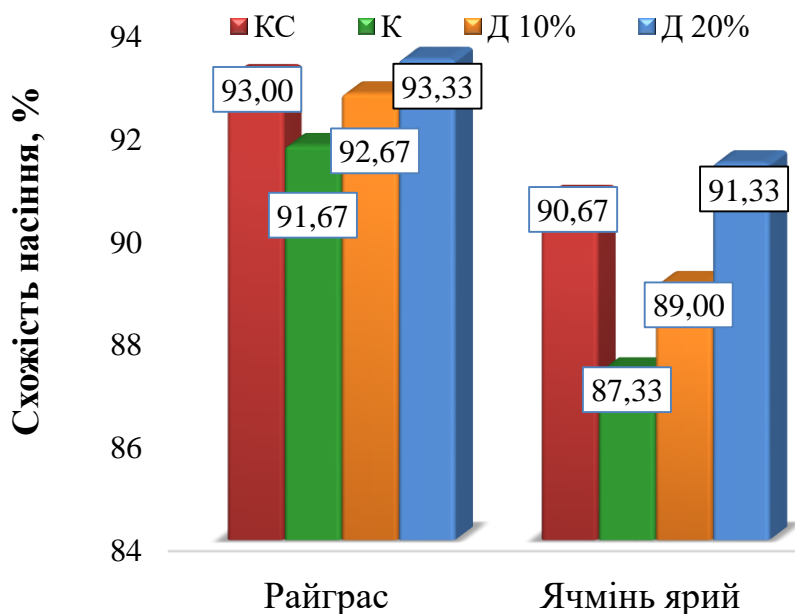


Рис. 11. Вплив дигестату на схожість культурних рослин

Результати впливу дигестату на проростання рослин відображено на рис. 11. Із рис. 11 можна побачити, що у всіх досліджуваних зразках показник проростання культурних рослин становив 87-93%, при цьому, найкращий показник у райграсу (91-93%), проте на проростання рослин ячменю дигестат мав кращий позитивний вплив. Таким чином, найкращий показник проростання спостерігався у варіанті з

вмістом дигестату 20% і для райграсу він становив 93,33% (що на 1,67% більше від контрольного зразка та 0,33% більше від варіанту із стерильним контролем), для ячменю цей показник склав 91,33% (що на 4% більше від контролю та на 0,67% більше від стерильного контролю).

За результатами мікробіологічних досліджень можна зробити такі висновки:

Внесення вермибіогумату, мікробного препарату і компостування сумішей за термофільних умов у лабораторних умовах забезпечувало зниження чисельності мезофільних аеробних та факультативно-анаеробних мікроорганізмів (МАФАНМ), порівняно із цим показником у зразках ОСВ. Компостування заданого складу сумішей та режиму компостування у польових умовах також зумовлює зниження чисельності МАФАНМ порівняно із цим показником у зразках ОСВ. Чисельність термофільних бактерій у зразках сумішей у разі компостування в лабораторних умовах та в польових умовах є вищою, порівняно із їхньою чисельністю у зразках ОСВ. Це ймовірно обумовлено температурним режимом процесу компостування у ході якого виживають термостійкі мікроорганізми. Використання мікробних препаратів, вермибіогумату та заданого режиму компостування у лабораторних умовах забезпечує зниження індексу бактерій групи кишкової палички (БГКП) до значень, регламентованих ДСТУ 7369:2013. Задані умови компостування забезпечували ефективно знешкодження БГКП і у польових умовах досліджень. У ході компостування у лабораторних та польових умовах відбувалося повне знешкодження бактерій роду *Salmonella*. Використані умови компостування

забезпечують загибель геогельмінтів, що підтверджено результатами досліджень у польових умовах.

Сьомий розділ присвячений розробці рекомендацій щодо проектування технологічних схем обробки та утилізації ОСВ та органовмісних відходів різного генезису із отриманням субстратів для потреб біологічної рекультивациі та ремедіації техногенно-порушених земель. Узагальнені дані досліджень приведено у таблиці 3.

Таблиця 3. Рекомендовані параметри складу ростових субстратів для біологічної рекультивациі та ремедіації техногенно-порушених земель

| Тип порушених територій | Частка ОСВ в біокомпості, % мас. | Частки компонентів субстратів, % мас. | | |
|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|-------------------|------------------------|
| | | біокомпост | природний сорбент | місцевий родючий ґрунт |
| 1. Полігони ТПВ та сміттєзвалища | 25–50 | 25–60 | 5–10 | 30–70 |
| 2. Терикони | 40–50 | 40–50 | 10–20 | 30–50 |
| 3. Кар'єри гірничодобувні: | | | | |
| – хімічних виробництв | 30–45 | 40–50 | 15–20 | 30–45 |
| – будівельної сировини | 30–45 | 35–ї дії 55 | 3–5 | 40–62 |

У **восьмому розділі** розглядаються результати досліджень щодо створення рекультивацийних добрив на основі пташиного посліду та природних сорбентів. Для зменшення рівню викидів небезпечних речовин в атмосферу та зниження ризику негативного впливу пташників на навколишнє середовище з однієї сторони та отримання ефективного добрива для цілей рекультивациі пролонгованої дії з другої сторони проводились дослідження, які включали встановлення оптимальних параметрів створення та використання добрив, а саме: розмір частинок сорбенту, температурні умови та тривалість контакту між компонентами, вплив типу мінерального сорбенту на процес адсорбції аміаку, оптимальне співвідношення всіх компонентів у складі добрива.

Для досліджень було обрано діапазон розміру зерен, який рекомендується для практичного використання – від 0,5 до 1,0 мм. Метою експериментів щодо дослідження кінетики процесу адсорбції аміаку було встановлення та порівняння здатності природних мінеральних сорбентів до поглинання аміаку протягом різних періодів часу. Дослідження кінетики процесу адсорбції аміаку різними типами сорбентів показали що вміст аміаку над модельними сумішами є найнижчим за умови використання палигорськіту, дещо вища концентрація аміаку у випадку використання палигорськіту. Встановлено також що поглинання газу є активним та повним вже протягом перших півгодини. Враховуючи промислові запаси родовищ палигорськіту та клиноптилоліту практичногшо використання обрано саме ці два типи мінеральних дисперсних сорбентів. За результатами досліджень нпйвищу пдсорбційну ємність (а відповідно і найменшу кількість «проскоку аміаку») продемонструвала композиція сорбентів (клиноптилоліт : палигорськіт) у масовій пропорції 1:1.

Дослідження з ціллю встановлення оптимального співвідношення суміші природних сорбентів та курячого посліду проводились за ізотермічних умов ($T=20^{\circ}\text{C}$), результати представлені в табл. 4.

Таблиця 4. Встановлення оптимального співвідношення суміші природних дисперсних сорбентів та підстилки

| Співвідношення суміші палигорськіт + клиноптилоліт (1:1) та підстилки | Маса поглинутого аміаку, мг-екв/г сорбентів |
|---|---|
| 1:6 | 0,92 |
| 1:5,5 | 1,3 |
| 1:5 | 1,56 |
| 1:4 | 1,5 |
| 1:3,5 | 1,1 |
| 1:3 | 0,84 |
| 1:2,5 | 0,34 |

Найвищу адсорбційну ємність відносно аміаку продемонструвала композиція «сорбенти : курячий послід» у пропорції 1:5 (1,56 мг-екв/г сорбентів).

Для визначення механічної міцності на стиск отриманого органо – мінерального добрива досліджувану композицію у вигляді кубиків розміщували у спеціальну форму із розміром комірки $15 \times 15 \times 15$ мм. Зразки витримували протягом 24 годин для набуття фіксованої форми.

На рис. 12 представлені результати випробувань зразків на механічну міцність на стиснення, яка встановлювалась шляхом роздавлювання їх на універсальному пресі УММ-5. Статична міцність дещо збільшується із збільшенням температури сушіння зразків, хоча суттєвого збільшення не спостерігається (із збільшення температури висушування від 20°C до 140°C механічна міцність зростає в 1,46 рази. Але навіть найменші значення статичної міцності задовільняють вимоги, які ставляться до гранульованих добрив. Для вибору оптимальної температури сушіння обмежуючим фактором є температура, за якої втрати аміаку мінімальні.

Дослідження, які проводились з ціллю встановлення оптимальних режимів сушіння органо-мінерального добрива з позиції мінімальних втрат аміаку показали, що сушіння слід проводити за мінімальних значень температур сушіння – $(20 - 25)^{\circ}\text{C}$. За такої температури сушіння вміст азоту амонійного складає $(0,83 - 0,86)\%$. А щоб

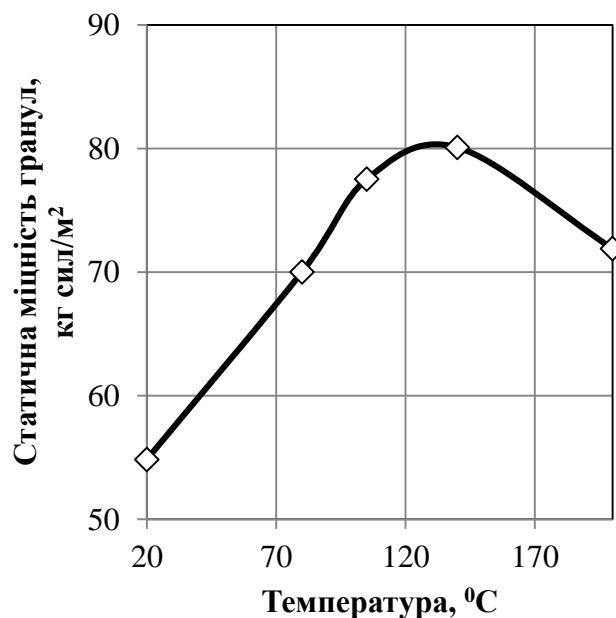


Рис. 12. Залежність статичної міцності зразків від температури їх сушіння

досягти необхідного значення вологості гранули ($\approx 30\%$) сушіння слід проводити у фільтраційному шарі, використовуючи як теплоносії зневолене повітря. Принципова технологічна схема установки утилізації підстилки, в склад якої входить курячий послід та суміш сорбентів, із отриманням ефективного органо-мінерального добрива пролонгованої дії зображена на рис. 13.

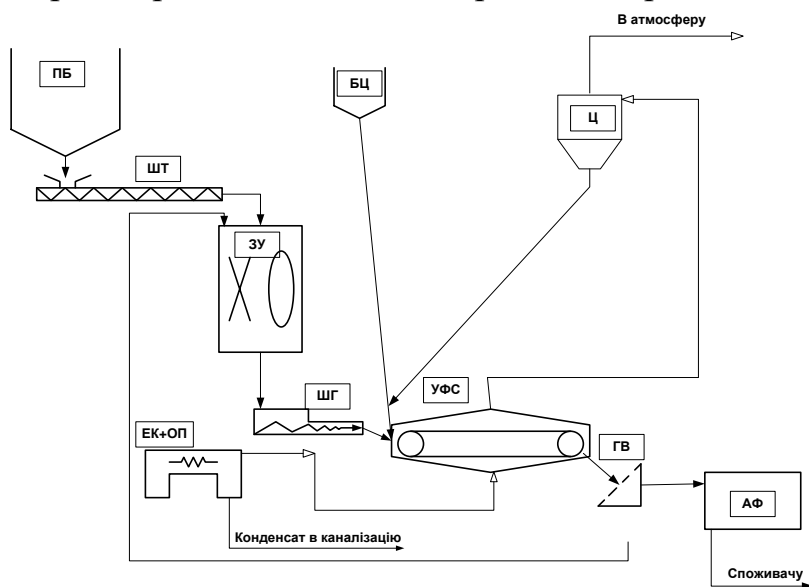


Рис. 13. Принципова технологічна схема установки утилізації курячого посліду із отриманням органо-мінерального добрива

Матеріал підстилки тракторним причепом доставляється до приймального бункера (ПБ) і завантажується в приймальну частину. У технологічній схемі передбачений змішувач-усереднювач (ЗУ), призначенням якого є подрібнення домішок та усереднення складу матеріалу підстилки. Матеріал підстилки подається у змішувач-усереднювач (ЗУ) шнековим транспортером (ШТ). Із змішувача-усереднювача (ЗУ) суміш направляется в шнековий гранулятор закритого типу (ШГ).

Утворюються гранули товарного розміру діаметром 4-6 мм і довжиною 15-20 мм, що дозволяє розсіювати їх сіялкою. Вологість композиції після гранулювання становить $\approx 50\%$. Оскільки курячий послід має природну липкість, пропонуємо для опудрення і попередження злежуваності отриманих гранул додатково додавати на стадію сушіння мелений природний цеоліт із бункера цеоліту (БЦ). Одночасно надлишок цеоліту адсорбує вільний аміак, який виділяється в процесі фільтраційного сушіння, забезпечуючи цим екологічну чистоту виробництва і попереджуючи забруднення цим аміаком природного середовища. Етап сушіння відбувається в сушильній установці в режимі фільтраційного сушіння повітрям, яке нагрівається до 25°C в електрокалорифері, оснащеному блоком осушування повітря (ЕК+ОП). Конденсат, який утворюється в результаті осушування повітря, відводиться із електрокалорифера (ЕК+ОП). Гранули органо – мінерального добрива поступають на установку фільтраційного сушіння (УФС), де в фільтраційному режимі висушують до вологості $\approx 30\%$. Відпрацьоване повітря подається на циклон (Ц), де проходить його очищення від пилу. Очищене повітря направляется у атмосферу, а вловлений пил повертається на стадію сушіння, де добавляється до меленого цеоліту, який використовується для опудрення гранул добрива. Отримані сухі гранули просіюються від роздрібнених частинок на грохоті вібраційному (ГВ) і направляется на апарат фасувальний (АФ), де проходить їх фасування в поліетиленові мішки, а пізніше транспортування на склад готової продукції. Із мішків формуються партії добрива, які направляется споживачам.

Дослідження із вивчення впливу норм удобрення органо-мінеральним добривом пажитниці багатоукісної на насіння включали такі варіанти:

- Контроль (без добрив);
- 1 (курячий послід+ палигорськіт, 5:1)
- 2 (курячий послід+ клиноптилоліт , 5:1)
- 3 (курячий послід, без добавок)
- 4 (курячий послід+ палигорськіт + клиноптилоліт , 10:1:1)

Розвиток рослин пажитниці сорту Жайвір багатоукісного у першому році їх життя різним чином відбувався і був сильно залежний від погодних умов. Спостереження свідчать, що проміжок часу між моментом посіву і появою сходів залежить більше від погодних умов та підходу до добривного живлення, ніж від обраних строків посіву (табл.5).

Таблиця 5. Особливості росту і розвитку пажитниці багатоукісної с. Жайвір в перший рік життя залежно від удобрення (середнє за 2017 р.)

| Варіанти | Кількість днів від сівби до: | | Кількість днів від повних сходів до: | | Щільність травостою шт./м ² |
|----------|------------------------------|---------------|--------------------------------------|-----------------|--|
| | початку сходів | повних сходів | початку кущіння | повного кущіння | |
| Контроль | 16 | 20 | 24 | 36 | 754 |
| 1 | 16 | 20 | 24 | 36 | 747 |
| 2 | 16 | 20 | 24 | 36 | 748 |
| 3 | 16 | 20 | 24 | 36 | 765 |
| 4 | 16 | 20 | 24 | 36 | 758 |

За результатами аналізу досліджень найвища густина травостою – 960 рослин на квадратний метр – спостерігалася на полях із однорядковим посівом із використанням четвертого типу добрив. Середня висота рослин складала від 93 до 100 см. Застосування різних добрив для посіву пажитниці багатоукісної дозволило подовжити фази росту та розвитку на 2-4 дні від початку відростання до появи виходу в трубку і на 1-5 днів для виколошування в порівнянні з контрольною групою.

Аналіз структури врожаю показав, що насіннева продуктивність пажитниці багатоукісної сорту Жайвір під впливом норм удобрення змінювалася за рахунок збільшення, або зменшення кількості генеративних пагонів на 1 м². Зокрема, додавання органо-мінеральних добрив позитивно впливало на врожайність насіння, що вирощене на одиниці площі. Відмінності в порівнянні із контролем без удобрення становили від 0,09 тон на гектар (15,0%) до 0,22 тон на гектар (36,7%) відповідно до варіантів, з найменшою статистичною різницею у 0,022 тон на гектар. Також помічено тенденцію до збільшення подібності отриманого насіння на 2-4% у порівнянні з контролем, а маса 1000 насінин зростає від 5,15 г на неконтрольованому варіанті до 5,21 г під впливом удобрення №2.

ВИСНОВКИ

В результаті узагальнення даних досліджень щодо розроблення науково-методологічних основ біологічної рекультивації та ремедіації із використанням техногенних органовмісних відходів сформульовані такі висновки:

1. Розроблені науково-методологічні основи створення субстратів та органо-мінеральних добрив із використанням органовмісної сировини та природних сорбентів для рекультивації та ремедіації порушених земель. Розроблені схеми можливих варіантів застосування ОСВ в цілях рекультивації та загального алгоритму створення та використання рекультиваційних субстратів та органо-мінеральних добрив.

2. На прикладі аналізу досліджень ОСВ, накопичених на муловому полі ЛМКП «Львівводоканал», апробована методика оцінки їх ресурсного потенціалу, вмісту і локалізації поживних макро- та мікроелементів, доступних форм біогенних елементів, поліакриламідних полімерів, а також іонів важких металів, небезпечних сполук та фітопатогенних мікроорганізмів, що можуть спричиняти небезпеку для ґрунтів та довкілля. Встановлено кореляційні залежності між компонентами ОСВ, констатовано, що вміст досліджуваних компонентів в ОСВ не перевищує ГДК.

3. Проведені дослідження оптимальних умов комбінування складу сировини із природними сорбентами показали можливість створення субстратів на основі свіжих ОСВ в поєднанні із природними сорбентами методом прямого змішування. Найбільш перспективними субстратами для росту та розвитку рослин є варіанти із вмістом ОСВ в межах 40-50% та вмістом сорбентів 5-10%.

4. Розроблена математична модель процесу адсорбції забруднювачів природними сорбентами, які є компонентами субстрату для рекультивації та ремедіації. Розрахунки, проведені із використанням залежностей розробленої математичної моделі показали, що максимальне значення необхідного часу адсорбційного очищення від іонів міді в процесах ремедіації із використанням як адсорбенту природного цеоліту не перевищує доби, що є цілком допустимим для практичного впровадження і дозволяє рекомендувати застосований спосіб для реального впровадження.

5. Дослідження процесу аеробного біокомпостування у лабораторних умовах підтверджують перспективи використання ОСВ як складової сировинної композиції. Отримані температурні профілі та профілі концентрацій в газовій фазі компосту кисню, діоксиду вуглецю, аміаку та вологовмісту в процесі компостування. Досліди також підтвердили, що додавання деревної тріски та активного компосту стимулює поглинання аміаку.

6. Дані біоіндикаційних досліджень отриманого рекультиваційного компосту показали, що найбільш вигідним та універсальним варіантом для створення ростового субстрату є використання в сировинній суміші "свіжовідібраних" та "старих" ОСВ, оптимальним відношенням компонентів у сировинній суміші є (за об'ємним співвідношеннями): $ОСВ_n : ОСВ_c : \text{деревна тріска} : \text{активний компост} = 16,7\% : 16,7\% : 33,3\% : 33,3\%$. Рослини, вирощені на такому субстраті, мають менш розвинену надземну частину, але водночас демонструють високий рівень розгалуженої кореневої системи.

7. Аналіз даних мікробіологічних досліджень показав, що тривалість термофільної стадії компостування (за температур 50–70 °С) з метою забезпечення нормативних мікробіологічних показників повинна становити щонайменше 14 діб. Завершення дозрівання компосту визначають за відсутністю життєздатних яєць гельмінтів у зразках компосту, відібраних з глибини 0,5 м. Обраний склад сумішей для біокомпостування та метаногенезу осадів стічних вод, а також застосовані режими цих процесів забезпечують значне зниження чисельності БГКП, бактерій роду *Salmonella* та фітопатогенних бактерій у зразках свіжовідібраних і 2-3 річних осадів стічних вод.

8. Дослідно - промислові дослідження технології створення рекультиваційного компосту на компостувальній станції ЛКП «Зелене місто» та польові дослідження рекультиваційного субстрату, створеного на основі цього компосту і природного цеоліту, підтвердили перспективність розробленої стратегії біологічної рекультивації та ремедіації із використанням техногенних органомісних відходів та природних сорбентів.

9. Термогравіметричні дослідження дигестату анаеробно збродженої рослинної сировини із використанням бродильної затравки, а також самої біомаси показали, що зразок ензиму (бродильної затравки), у порівнянні із зразками сумішей біомаси із бродильною затравкою, відзначаються вищою термічною стійкістю. Формування негорючого залишку зразків пояснюється присутністю в них незначної кількості силікатної складової.

10. Визначення кількості небезпечних сполук (кадмію, свинцю та арсену) на рентгенофлуоресцентному аналізаторі EXPERT 3L показав, що ні одного із цих елементів, вміст яких у сировині для виробництва добрив лімітований нормативними документами України, в дигестаті не знайдено, що дає можливість рекомендувати дигестат як компонент до ростового субстрату.

11. Усереднені результати дослідження впливу дигестату на схожість сільськогосподарських рослин свідчать, що схожість в усіх досліджуваних варіантах становила 87-93 %. найкраща схожість двох культур було відмічена на варіанті із вмістом дигестату 20%, для райграсу вона становила 93,33 % (на 1,67 % більше від контролю, та 0,33 % більше від стерильного контролю), для ячменю звичайного – 91,33 % (на 4,00 % більше від контролю, та 0,67 % більше від стерильного контролю).

12. Із врахуванням відмінностей між антропогенно порушеними об'єктами різних типів були отримані загальні рекомендації щодо складу та відношень відповідних ростових субстратів та сировини для їх виготовлення. Найбільш перспективним компонентом для створення ростового субстрату є біокомпост із вмістом суміші свіжих і старих ОСВ, який в поєднанні із незначною часткою природних сорбентів може бути ефективним для рекультивації об'єктів всіх типів, що зводить до мінімуму необхідність у використанні родючого ґрунту.

13. Дослідження щодо використання в рекультиваційних цілях органо-мінерального добрива на основі природних сорбентів і курячого посліду показали, що синтез такого добрива дозволяє мінімізувати екологічну небезпеку від забруднення атмосфери в зоні впливу птахофабрик аміаком, а отримане добриво може з успіхом використовуватись в рекультиваційних цілях.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ
Статті у наукових виданнях, що входять у наукометричну базу даних
SCOPUS

1. Tymchuk I., Shkvirko O., Sakalova G., Malovanyu M., Dabizhuk T., Shevchuk O., Matviichuk O., Vasylynych T. Wastewater a source of nutrients for crops growth and development. *Journal of Ecological Engineering*. 2020. Vol. 21, iss. 5. P. 88–96.
Здобувачем проаналізована можливість використання осадів стічних вод у якості субстрату для розвитку рослин, проведені біоіндикаційні дослідження ростових субстратів прямого перемішування з додаванням осадів стічних вод, ґрунту та природних сорбентів. За допомогою кореляційного аналізу отримано залежності впливу використання сорбентів на якісні параметри рослин біоіндикаторів.
2. Katkov M., Yurchenko A., Ponomarenko I., Malovanyu M., Tymchuk I. Innovative bioremediation technology of lands polluted with chlororganic pesticides. *Ecologia Balkanica*. 2020. Vol. 12, iss. 2. P. 21–30.
Здобувачем запропоновано комплекс технологій біоремедіації для земель, забруднених хлорорганічними пестицидами, який відрізняється від існуючих значно меншими матеріальними та часовими витратами і прискореним поверненням забруднених територій до господарського обігу.
3. Malovanyu M., Palamarchuk O., Trach I., Petruk H., Sakalova H., Soloviy K., Vasylynych T., Tymchuk I., Vronska N. Adsorption extraction of chromium ions (III) with the help of bentonite clays. *Journal of Ecological Engineering*. 2020. Vol. 21, iss. 7. P. 178–185.
Здобувачем проведено оцінку перспективності та ефективності застосування природних сорбентів для очищення стічних вод, визначено переваги та недоліки використання різних видів сорбентів у доступності, вартості, можливості регенерації та можливості багаторазового використання.
4. Malovanyu M.S., Synelnikov S.D., Nagurskiy O.A., Soloviy K.M., Tymchuk I.S. Utilization of sorted secondary PET waste - raw materials in the context of sustainable development of the modern city. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 907: Innovative technology in architecture and design (ITAD 2020), 21–22 May 2020, Kharkiv, Ukraine, 012067.
Здобувачем проведені пілотні випробування нанесення модифікованого ПЕТ для покриття оболонкою гранульованих добрив.
5. Tymchuk I., Malovanyu M., Shkvirko O., Vankovych D., Odusha M., Bota O. Monitoring of the condition of the accumulated sludge on the territory of Lviv wastewater treatment plants. *GeoTerrace-2020: міжнародна науково-технічна конференція молодих професіоналів, 7–9 грудня 2020 р., Львів. 2020, Vol. 2020, P.1–5*
Здобувачем проведено моніторингові дослідження накопиченого осаду стічних вод на заскладованих мулових майданчиках львівських очисних споруд, складено карту мулового поля, визначено площу та об'єм накопичених осадів.
6. Tymchuk I., Malovanyu M., Shkvirko O., Zhuk V., Masikevych A., Synelnikov S. Innovative creation technologies for the growth substrate based on the man-made waste - Perspective way for Ukraine to ensure biological reclamation of waste dumps and quarries. *International Journal of Foresight and Innovation Policy*. 2020. Vol. 14, iss. 2-4. P. 248–263.

Здобувачем проведено аналіз екологічної загрози накопичення осадів очисних споруд та можливих шляхів їх використання, та проведено дослідження щодо створення ростового субстрату із використанням осадів очищення стічних вод.

7. Malovanyu M., Moroz O., Popovich V., Kopyi M., Tymchuk I., Sereda A., Krusir G., Soloviy C. The perspective of using the "open biological conveyor" method for purifying landfill filtrates. *Environmental, Nanotechnology, Monitoring and Management*. 2021. Vol. 16. 100611.

Здобувачем проведено аналіз можливості утилізації надлишку біомаси шляхом анаеробного зброджування для одержання біогазу.

8. Shkvirko O., Tymchuk I., Malovanyu M., Bota O. Content of heavy metals in sewage sludge at silt fields of Lviv wastewater treatment plants. *GeoTerrace-2021: міжнародна науково-технічна конференція молодих професіоналів, 4–6 жовтня 2021 р., Львів, Україна*. 2021. Vol. 2021, p.1–5.

Здобувачем проведено дослідження з визначення валових та рухомих форм важких металів в осадах стічних вод, а саме міді (Cu) та кадмію (Cd), та на основі отриманих результатів побудовано карти.

9. Nykyforov V., Maznytska O., Novokhatko O., Pasenko A., Malovanyu M., Tymchuk I. Laser pretreating of cyanobacteria biomass to produce lipids as a renewable energy source. *Environmental Engineering and Management Journal*. 2021. Vol. 20, iss. 8. P. 1255–1262.

Здобувачем запропонована альтернативна технологія накопичених в процесі евтрофікації гідробіонтів.

10. Korbut M., Malovanyu M., Davydova I., Grechanik R., Tymchuk I., Popovych O. Assessment of the condition of pine plantations in the area of influence of municipal waste landfills on the example of the Zhytomyr landfill, Ukraine. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2021. Vol. 22, iss. 5. P. 40–46.

Здобувачем проведено аналіз біоіндикаційних досліджень хвойних рослин, в зоні впливу полігонів твердих побутових відходів.

11. Malovanyu M., Kanda M., Paraniak R., Odnorih Z., Tymchuk I. The strategy of environmental danger minimization from poultry farms waste. *Journal of Ecological Engineering*. 2021. Vol. 22, iss. 5. P. 229–237.

Здобувачем визначено оптимальні умови отримання гранульованого органо-мінерального добрива пролонгованої дії на основі композиції з відходів з птахоферм, запропоновано технологічну схему виробництва органо-мінерального добрива на основі курячого посліду та суміші природних адсорбентів

12. Tymchuk I., Malovanyu M., Shkvirko O., Yatsukh K. Sewage sludge as a component to create a substrate for biological reclamation. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2021. Vol. 22, iss. 4. P. 101–110.

Здобувачем розглянуто основні способи утилізації осадів стічних вод в Європейському Союзі та Україні, визначено основні проблеми утилізації, проведено ряд досліджень відносно перевірки якісних показників ростового субстрату.

13. Malovanyu M., Korbut M., Davydova I., Tymchuk I. Monitoring of the influence of landfills on the atmospheric air using bioindication methods on the example of the Zhytomyr landfill, Ukraine. *Journal of Ecological Engineering*. 2021. Vol. 22, iss. 6. P. 36–49.

Здобувачем проведено аналіз біоіндикаційних досліджень за допомогою лишайників, в зоні впливу полігонів твердих побутових відходів.

14. Tymchuk I., Malovanyu M., Shkvirko O., Chornomaz N., Popovych O., Grechanik R., Symak D. Review of the global experience in reclamation of disturbed lands. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2021. Vol. 22, iss. 1. P. 24–30.

Здобувачем проведено аналіз світового та українського досвіду рекультивації земель, порушених внаслідок видобутку корисних копалин та техногенних процесів. Визначено напрямки рекультивації земель у світі. Визначено, які види рослин найкраще використовувати для біологічної рекультивації порушених земель.

15. Vankovych D., Bota O., Malovanyu M., Odusha M., Tymchuk I., Sachnyk I., Shkvirko O., Garasymchuk V. Assessment of the prospects of application of sewage sludge from Lviv wastewater treatment plants for the purpose of conducting the biological reclamation. *Journal of Ecological Engineering*. 2021. Vol. 22, iss. 2. P. 134–143.

Здобувачем оцінено перспективи використання осадів стічних вод львівських очисних споруд для біологічної рекультивації, проведено агроекологічні лабораторні дослідження з оцінки можливості використання осадів стічних вод у суміші з природними сорбентами як субстрату для вирощування рослин.

16. Rusyn I., Malovanyu M., Tymchuk I., Synelnikov S. Effect of mineral fertilizer encapsulated with zeolite and polyethylene terephthalate on the soil microbiota, pH and plant germination. *Ecological Questions*. 2021. Vol. 32, iss. 1. P. 1–12.

Здобувачем проаналізовано можливість утилізації відходів при створенні оболонок для добрив пролонгованої дії з додаванням природних сорбентів.

17. Malovanyu M., Voytovych I., Mukha O., Zhuk V., Tymchuk I., Soloviy C. Potential of the co-digestion of the sewage sludge and plant biomass on the example of Lviv WWTP. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2022. Vol. 23, iss. 2. P. 107–112.

Здобувачем проаналізовано енергетичні стратегії багатьох розвинених країн, сталий розвиток усіх видів відновлюваної енергетики, включаючи виробництво енергії з біомаси.

18. Havryshko M., Popovych O., Yaremko G., Tymchuk I., Malovanyu M. Analysis of prospective technologies of food production wastewater treatment. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2022. Vol. 23, iss. 2. P. 33–40.

Здобувачем проаналізовано різні види технологій очищення промислових стоків, запропоновано використання блоку очищення природними сорбентами для ефективної, екологічно безпечної та енергоефективної біотехнології очищення стічних вод.

19. Kovalenko Y., Katkov M., Ponomarenko I., Malovanyu M., Tymchuk I. Utilization of drainage water heat in flooded urban areas. *Ecological Questions*. 2022. Vol. 33, iss. 2. P. 31–41.

Здобувачем здійснено порівняльний аналіз різних технологічних схем для запровадження оптимальної екологічно чистої технології.

20. Tymchuk I., Malovanyu M., Bota O., Shkvirko O., Popovych O. Biological reclamation using a sewage sludge-based substrate – a way to ensure sustainable development of urban areas. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2022. Vol. 23, iss. 1. P. 34–41.

Здобувачем проведено моніторингові дослідження на території Львівських очисних споруд, визначено обсяги накопичених запасів мулового майданчика, ідентифіковано його якісні та кількісні показники, встановлено наявність лімітуючих факторів для використання як сировини для ростових субстратів.

21. Malovanyu M., Zhuk V., Boichyshyn L., Tymchuk I., Vronska N., Grechanik R. Integrated aerobic-reagent technology for the pre-treatment of leachates from municipal solid waste landfills. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2022. Vol. 23, iss. 1. P. 135–141.

Здобувачем проведено аналіз відомих технологій обробки фільтрату з полігонів твердих побутових відходів.

22. Malovanyu M., Chornomaz N., Bordun I., Tymchuk I., Zaharko J. Integrated process of ammonium ion adsorption by natural dispersed sorbents. *Key Engineering Materials*. 2022. Vol. 925. P. 125–133.

Здобувачем розглянуто інтегрований двостадійний процес адсорбційного очищення стічних вод від іонів амонію, що складається зі стадії адсорбції забруднень на природних сорбентах в апараті з мішалкою та стадії розділення рідкої і твердої фаз.

23. Malovanyu M., Masikevych A., Masikevych Y., Blyzniuk M., Tymchuk I., Zhuk V., Hnatysh S., Kharlamova O., Iurchenko V., Vlasyk L. Use of microbiocenosis immobilized on carrier in technologies of biological treatment of surface and wastewater. *Journal of Ecological Engineering*. 2022. Vol. 23, iss. 9. P. 34–43.

Здобувачем проведено аналіз видового складу мікробіоценозу, який формується на кар'єрі в режимі активної аерації фільтратів полігону ТПВ.

24. Malovanyu M., Zhuk V., Tymchuk I., Grechanik R., Sereda A., Sliusar V., Marakhovska A., Vronska N., Kharlamova O., Heletiy V. Efficiency of two-stage aerobic-reagent technology for the pre-treatment of different age leachates of municipal solid waste landfills. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*. 2022. Vol. 6. 100255.

Здобувачем проведено аналіз експериментальних лабораторних досліджень ефективності двостадійної аеробно-реагентної технології попереднього очищення фільтратів різного віку.

25. Malovanyu M., Zhuk V., Tymchuk I., Sliusar V., Vronska N., Marakhovska A., Sereda A. Optimal parameters for reagent treatment of Hrybovychi landfill leachates at the pilot-scale treatment plant. *Ecological Questions*. 2022. Vol. 33, iss. 3. P. 89–97.

Здобувачем проаналізовані результати отримані на пілотній установці очищення фільтрату на Грибовицькому полігоні ТПВ (Україна), а також результати реагентної обробка фільтрату.

26. Malovanyu M. S., Odnorih Z. S., Tymchuk I. S., Dziurakh Y. M., Wojciech L. Investigation of clinoptylolite on exchange capacity relative to copper and zinc ions in conditions of ideal intermixing mode. *Key Engineering Materials*. 2022. Vol. 925. P. 151–158.

Здобувачем проаналізовані результати сорбційного методу очищення промивних вод від іонів кольорових металів.

27. Storoshchuk U., Malovanyu M., Tymchuk I. Substrates based on composted sewage sludge for land recultivation. *Ecological Questions*. 2022. Vol. 33, iss. 4. P. 1–16.

Здобувачем досліджено технологічний процес компостування осаду, який дає змогу використати його як ресурс для створення ростового субстрату, проведено

біоіндикаційні випробування ростових субстратів на основі компостованого осаду стічних вод.

28. Burdenyuk I., Masykevich A., Dombrovskiy K., Rylskiy O., Masikevych Y., Deyneka S., Malovanyu M., Tymchuk I. Sanitary, microbiological condition, and ecological state of surface water quality in the upper Siret River basin (Ukraine). *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2023. Vol. 24, iss. 9. P. 55–63.

Здобувачем проаналізовані результати просторової оцінки екологічного стану басейну верхньої течії річки Сирет в Україні.

29. Malovanyu M., Paraniak R., Tymchuk I., Zhuk V., Ablieieva I., Korbut M., Dziurakh Y., Zhylishchych Y. Disposal of pine wood waste by pelleting with sulphate soap binder. *Pollack Periodica*. 2023. Vol. 19: №1, P. 47–52

Здобувачем проаналізовані результати досліджень перспективного методу утилізації відходів деревини сосни шляхом екструзійного гранулювання з використанням сульфатного мила як природного зв'язуючого.

30. Malovanyu M., Storoshchuk U., Tymchuk I., Popovych V., Yevtushenko S., Lutek W. Strategic planning for solving problems in the field of municipal solid waste management as a necessary condition for sustainable development of the city. *AIP Conference Proceedings*. 2023. Vol. 2490, iss. 1: 5th International scientific and practical conference "Innovative technology in architecture and design" (ITAD-2021), 20–21 May 2021, Kharkiv, Ukraine. 060020.

Здобувачем проаналізовані існуючі системи поводження з відходами у місті Львові, порівнюються найважливіші особливості кожного методу утилізації відходів та підкреслюється ефективність роздільного збору відходів

31. Malovanyu M., Tymchuk I., Zhuk V., Kochubei V., Balandiukh I., Grechanik R., Kopyu M. Mesophilic anaerobic digestion of broadleaf cattail suspensions using the fermented residues of yeast production as inoculum. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*. 2023. Vol. 8. 100360.

Здобувачем експериментально досліджено мезофільне анаеробне зброджування суспензій рогозу широколистоного з використанням закваски, відібраної з метантенка.

32. Malovanyu M., Vronska N., Tymchuk I., Zhuk V., Moroz O., Chornomaz N. The use of binders of natural origin to improve the technology of creating fuel briquettes from wood waste. *Journal of Ecological Engineering*. 2023. Vol. 24, iss. 11. P. 314–320.

Здобувачем проаналізовані результати способу утилізації деревних відходів шляхом пресування їх у паливні брикети, в якості в'язуючого запропоновано використовувати сульфатне мило.

33. Malovanyu M., Zhuk V., Tymchuk I., Grechanik R., Sliusar V., Vronska N., Marakhovska A., Sereda A. Pilot-scale modelling of aerated lagoon technology for the treatment of landfill leachate: Case study Hrybovychi Plant. *Environment and Natural Resources Journal*. 2023. Vol. 21, iss. 1. P. 1–8.

Здобувачем проаналізовані результати аеробного біологічного очищення фільтрату Грибовицького сміттєзвалища за розробленою методикою двохстадійного очищення.

34. Malovanyu M., Zhuk V., Tymchuk I., Zavoyko B., Grechanik R., Sliusar V., Vronska N., Marakhovska A., Sereda A. Optimal pre-treatment of moderately old landfill

leachate at the pilot-scale treatment plant using the combined aerobic biochemical and reagent method. *Heliyon*. 2023. Vol. 9, iss. 6. e16695.

Здобувачем проаналізовані результати дослідження ефективності двоступеневого аеробного біохімічного та реагентного методу попереднього очищення помірно застарілих фільтратів полігонів ТПВ на пілотній очисній установці продуктивністю 400 л на добу.

35. Tymchuk I., Malovanyu M., Zhuk V., Kochubei V., Yatsukh K., Luchyt L. Towards increasing the utilization of anaerobic digestate from biogas production in agrotechnologies. *Ecological Questions*. 2023. Vol. 34, iss. 4. P. 1–18.

Здобувачем проведено комплексне дослідження складу та властивостей дигестату, отриманого шляхом мезофільної анаеробної коферментації, проведені біоіндикаційні дослідження для оцінки впливу дигестату на проростання райграсу та ячменю в лабораторних умовах, за допомогою термогравіметричного аналізу визначено ступінь розкладання органічних відходів під час анаеробного зброджування.

Статті у наукових фахових виданнях України

36. Карпенко І. В., Мідяна Г. Г., Карпенко О. Я., Тимчук І. С., Баранов В. І. Перспективи рамноліпідних поверхнево-активних речовин у технологіях вирощування соняшника. *Вісник Національного університету "Львівська політехніка"*. Серія: Хімія, технологія речовин та їх застосування. 2016. № 841. С. 163–167.

*Здобувачем проаналізовано використання рамноліпідних ПАР штаму *Pseudomonas* sp. PS-17 та їх вплив на ріст та розвиток рослин соняшника.*

37. Tymchuk I., Malovanyu M., Holets N. Decreasing anthropogenic pressure on soil microflora by using capsulated fertilizers. *Environmental Problems = Екологічні проблеми*. 2017. Vol. 2, № 2. P. 77–81.

Здобувачем визначено вплив на чисельність загальних та азотфіксуючих мікроорганізмів ґрунту при внесенні різних видів добрив на найпоширеніших типах ґрунтів Львівської області.

38. Тимчук І. С., Мальований М. С., Яцух К. І. Використання капсульованих мінеральних добрив для зниження антропогенного тиску на ґрунтову мікрофлору. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2017. Вип. 62. С. 128–140.

Здобувачем визначено вплив використання різних видів новостворених добрив порівняно із звичайним гранульованим на зміну чисельності загальної і азотфіксуючої мікрофлори ґрунту при внесенні значної кількості поживних речовин.

39. Одноріг З. С., Тимчук І. С., Жидун В. І. Використання SimaPro 8 для порівняльного аналізу впливу різних типів автомобілів на довкілля. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2018. Т. 28, № 11. С. 64–67.

Здобувачем проведено аналіз оцінки життєвого циклу впливу на довкілля автомобілів із бензиновим двигуном (ЄВРО-3 та ЄВРО-5) та електромобілем (Tesla Semi) завдяки сертифікованій комп'ютерній програмі з екологічного моделювання SimaPro 8.

40. Тимчук І. С., Мальований М. С., Яцух К. І. Використання мінеральних капсульованих добрив для оптимізації живлення картоплі та збереження природних ресурсів. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2018. Вип. 64. С. 132–144.

Здобувачем представлено результати польових досліджень впливу різних видів мінеральних добрив на агроєкосистему, встановлено вміст нітратів у досліджуваних рослин.

41. Shkvirko O., Tymchuk I., Malovanyu M. The use of bioindication to determine the possibility of sludge recovery after biological treatment of wastewater. Environmental Problems = Екологічні проблеми. 2018. Vol. 3, № 4. P. 258–264.

Здобувачем визначено якісний склад осадів стічних вод міських каналізаційних очисних споруд м. Львова, у два етапи проведено біоіндикації дослідження суміші осаду з темно-сірим ґрунтом, яке показало суттєву різницю між свіжим та відстояним осадом.

42. Kanda M., Malovanyu M., Tymchuk I., Odnorih Z. Evaluation of the degree of environmental hazard from environmental pollution in the area of poultry farms impact. Environmental Problems = Екологічні проблеми. 2019. Vol. 4, № 3. P. 161–166.

Здобувачем досліджено перспективи використання природних сорбентів у складі підстилки з метою зменшення забруднення довкілля аміаком та амонійними сполуками, проаналізовано масштаби зниження екологічної небезпеки в результаті використання природних дисперсних сорбентів у птахівництві.

43. Synelnikov S., Soloviy K., Malovanyu M., Tymchuk I., Nahurskyu O. Improvement of environmental safety of agricultural systems as a result of encapsulated mineral fertilizers implementation. Environmental Problems = Екологічні проблеми. 2019. Vol. 4, № 4. P. 222–228.

Здобувачем проведено балансові розрахунки щодо оцінки рівня забруднення агроєкосистем при застосуванні добрив пролонгованої дії.

44. Tymchuk I., Kanda M., Malovanyu M. Utilising organic-mineral fertilisers produced from man-made waste of poultry farms. Environmental Problems = Екологічні проблеми. 2019. Vol. 4, № 1. P. 57–62.

Здобувачем запропоновано практичний підхід до скорочення викидів амонію від птахофабрик, що дає можливість виробляти органо-мінеральне добриво, отримані таким чином органо-мінеральні добрива були випробувані в польових умовах.

45. Shkvirko O. M., Tymchuk I. S., Malovanyu M. S. Overview: The prospect of the use of energy crops for biological reclamation of disturbed lands. Environmental Problems = Екологічні проблеми. 2019. Vol. 4, № 2. P. 91–96.

Здобувачем проведено теоретичний аналіз засад біологічної рекультивациі порушених земель, визначено оптимальні види рослин для біологічної рекультивациі порушених земель, визначено можливість застосування таких енергетичних культур, як міскантус, стехіграс, тополя, верба та павловнія для рекультивациі порушених земель.

46. Шквірко О. М., Тимчук І. С., Мальований М. С. Адаптація світового досвіду утилізації осадів стічних вод до екологічних умов України. Науковий вісник НЛТУ України. 2019. Т. 29, № 2. С. 82–87.

Здобувачем проведено аналіз нових способів з утилізації осадів стічних вод, які використовують у світі, серед яких: рекультивация земель, кар'єрів та звалищ, виробництво біогазу та теплової енергії, виділення цінних елементів і металів, а також виробництво адсорбентів.

47. Тимчук І. С., Мальований М. С., Серета А. С., Яцук К. І. Випробування добрив, покритих оболонкою з техногенних відходів, на посівах сої. Передгірне та гірське землеробство і тваринництво. 2019. Вип. 66. С. 38–53.

Здобувачем встановлено коефіцієнт ефективності використання добрив пролонгованої дії значно перевищує цей же показник для гранульованих добрив, оскільки за меншої кількості внесеної діючої речовини врожайність зростає.

48. Nahurskyu O., Malovanyu M., Synelnikov S., Tymchuk I., Krylova G. Study of the properties of ANP fertilizer encapsulated with the use of modified waste of PET. Environmental Problems = Екологічні проблеми. 2020. Vol. 5, № 1. P. 35–38.

Здобувачем проведено аналіз результатів експериментального дослідження розчинності добрив пролонгованої дії, отриманого з використанням модифікованих відходів поліетилентерефталату (ПЕТФ).

49. Нагурський О. А., Тимчук І. С., Мальований М. С., Синельніков С. Д., Крилова Г. В. Технологічні особливості капсулювання гранульованих добрив плівкою на основі модифікованого ПЕТФ. Науковий вісник НЛТУ України. 2020. Т. 30, № 2. С. 77–82.

Здобувачем оцінено вплив гідродинаміки, тепло- та масообміну на процес капсулювання амонійної селітри та нітроамофоски в апараті псевдозрідженого стану плівками, які складаються з модифікованого поліетилентерефталату, гідролізного лігніну та цеоліту.

50. Synelnikov S., Malovanyu M., Nahurskyu O., Luchyt L., Petrushka K., Tymchuk I., Stokaliuk O. Theoretical and practical aspects of the efficiency of application of mineral fertilizers encapsulated with polyethylene terephthalate. Environmental Problems = Екологічні проблеми. 2020. Vol. 5, № 2. P. 95–101.

Здобувачем проведено аналіз перспективи застосування добрив пролонгованої дії, які забезпечують поступове вивільнення елементів живлення рослин.

51. Storoshchuk U., Malovanyu M., Tymchuk I. Composting as one of the prospective methods of recycling the organic component of municipal solid waste. Environmental Problems = Екологічні проблеми. 2020. Vol. 5, № 3. P. 167–173.

Здобувачем проведено аналіз поводження з твердими побутовими відходами, визначено частку органічних відходів, запропоновано ефективні стратегії поводження з надмірною кількістю органічних відходів.

52. Мальований М. С., Афтаназів І. С., Тимчук І. С., Баландюх Ю. А., Жук В. М., Копій М. Л. Оцінка стадій життєвого циклу гідробіонтів у технологіях очищення поверхневих та стічних вод. Екологічні науки. 2020. № 6 (33). С. 23–28.

Здобувачем проведено аналіз відомих методів попередньої обробки біомаси гідробіонтів: реагентної, тонкого подрібнення та помелу, ультразвукової кавітації, гідродинамічної кавітації, віброгідродинамічної кавітації.

53. Malovanyu M., Tymchuk I., Balandiukh I., Soloviy K., Zhuk V., Kopyi M., Stokaliuk O., Petrushka K. Optimum collection and concentration strategies of hydrobionts excess biomass in biological surface water purifying technologies. Environmental Problems = Екологічні проблеми. 2021. Vol. 6, № 1. P. 40–47.

Здобувачем запропоновано схему життєвого циклу водних організмів у технологіях очищення стічних і поверхневих вод, проведено аналіз технологічних підходів до збору

біомаси трьох типів: водні рослини та макроводорості; водні рослини з розвинутою кореневою системою та мікроводорості водних організмів.

54. Афтаназів І. С., Баландюх Ю. А., Мальований М. С., Тимчук І. С., Жук В. М., Копій М. Л. Вплив віброкавітаційного оброблення суспензії ціанобактерій на інтенсивність синтезу біогазу. Науковий вісник НЛТУ України. 2021. Т. 31, № 1. С. 99–104.

Здобувачем проведено аналіз експериментальної залежності динаміки синтезу біогазу із біомаси ціанобактерій від періоду їх оброблення у віброкавітаційному полі.

55. Баландюх Ю. А., Мальований М. С., Тимчук І. С., Жук В. М., Копій М. Л. Збір та концентрування гідробіонтів в технології очищення поверхневих та стічних вод методом розімкнутого біологічного конвеєра. Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. 2021. Вип. 1 (126). С. 33–39.

Здобувачем проведено аналіз перспективних технологій біологічного очищення стічних та поверхневих вод із використанням гідробіонтів.

56. Яцух К. І., Ващишин О. А., Пристацька О. Н., Тимчук І. С. Ефективність протруйників проти корневих гнилей пшениці озимої. Передгірне та гірське землеробство і тваринництво. 2021. Вип. 70, ч. 1. С. 166–182.

Здобувачем проведено аналіз ефективності застосування протруйників проти корневих гнилей.

57. Storoshchuk U., Maliovanuy M., Tymchuk I., Luchyt L. Analysis of the main methods of solid waste management. Environmental Problems = Екологічні проблеми. 2021. Vol. 6, № 4. P. 238–243.

Здобувачем розглянуто існуючі методи поводження з твердими побутовими відходами з метою вибору найбільш оптимальної системи управління відходами в контексті сталого розвитку.

58. Ratushniak M., Tymchuk I., Berezyuk D., Malovanyu M. Improvement of the municipal solid waste disposal system in Ukraine, on the example of the town of Chortkiv, Ternopil region. Environmental Problems = Екологічні проблеми. 2021. Vol. 6, № 4. P. 275–280.

Здобувачем проведено аналіз світового досвіду поводження з твердими побутовими відходами та формулюванню на його основі рекомендацій щодо поводження з твердими побутовими відходами у малих містах на прикладі Чорткова.

59. Malovanyu M., Zhuk V., Tymchuk I., Vronska N., Zavoyko B., Senkovych O. Prospects of cleaning filtrates by aerobic-reagent method on the example of Lviv region. Environmental Problems = Екологічні проблеми. 2021. Vol. 6, № 4. P. 264–269.

Здобувачем проведено аналіз забруднення ґрунтів, а також забруднення поверхневих і підземних вод фільтраційними стоками нерегульованого захоронення твердих побутових відходів.

60. Жук В., Мальований М., Мисак І., Тимчук І., Мушалла Д., Піхлер М. Часова та просторова нерівномірність випадання дощів при моделюванні поверхневого стоку з урбанізованих територій. Науковий вісник НЛТУ України. 2021. Т. 31, № 5. С. 67–73.

Здобувачем проведено аналіз урахування часової та просторової нерівномірності випадання дощів.

61. Гречаник Р. М., Мальований М. С., Тимчук І. С., Сторощук У. З. Оцінювання впливу мінеральних добрив і капсульованих ПЕТ на агроєкосистеми біологічної рекультивациі порушених земель. Науковий вісник НЛТУ України. 2022. Т. 32, № 2. С. 40–44.

Здобувачем проведено аналіз оцінки впливу мінеральних добрив, капсульованих відходами поліетилентерафталату (ПЕТ), на агроєкосистеми для біологічної рекультивації порушених земель.

62. Grechanik R., Lutek W., Malovanyu M., Nahurskyu O., Tymchuk I., Petrushka K., Luchyt L., Storoshchuk U. Obtaining environmentally friendly encapsulated mineral fertilizers using encapsulated modified PET. Environmental Problems = Екологічні проблеми. 2022. Vol. 7, № 2. P. 90–96.

Здобувачем проаналізовано дослідження перспектив використання мінеральних добрив, капсульованих у ПЕТ для біоремедіації.

63. Kravets I., Malovanyu M., Tymchuk I., Shkvirko O. The influence of terrain, climatic conditions and factors on the atmospheric air monitoring system, based on the implementation of EU legislation on the example of Lviv region. Environmental Problems = Екологічні проблеми. 2023. Vol. 8, № 2. P. 94–100.

Здобувачем проаналізовано основні фактори, що впливають на розподіл концентрації забруднюючих речовин в атмосферному повітрі під час проектування пунктів моніторингу атмосферного повітря.

64. Liuta O., Malovanyu M., Vnukova N., Tymchuk I., Zhelnovach G., Kordzadze T. Implementation of the European green strategy. synergy of educational, scientific, managerial and industrial components for climate management and climate change prevention. Environmental Problems = Екологічні проблеми. 2023. Vol. 8, № 1. P. 55–62.

Здобувачем проведено аналіз актуальних проблем, пов'язані з екологічними та кліматичними чинниками.

65. Tymchuk I. Technical and technological aspects of biological reclamation using anthropogenic organic waste in composition with sewage sludge. Environmental Problems = Екологічні проблеми. 2023. Vol. 8, № 2. P. 126–132.

Здобувачем проведено сучасний аналіз стану поводження з відходами в країні, розглянуто перспективні стратегії використання осадів стічних вод у поєднанні з іншими компонентами для рекультивації, проаналізовано умови застосування стратегій, їх переваги та недоліки.

66. Яцух К. І., Пристацька О. Н., Нікішичева К., Тимчук І. С. Вплив комплексного застосування протруйника, стимулятора росту та мікродобрив для передпосівної обробки насіння на ураженість кореневими гнилями та продуктивність пшениці озимої. Передгірне та гірське землеробство і тваринництво. 2023. Вип. 74 (1). С. 164–183.

Здобувачем проведено аналіз ефективності застосування протруйників на продуктивність озимої пшениці.

Колективні монографії

67. Лозинський В. А., Мальований М. С., Серета А. С., Сосса Р. І., Тимчук І. С. Наукові засади ведення моніторингу та рекультиваційних робіт на Грибовицькому сміттєзвалищі: колективна монографія. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2020. – 392 с

Здобувачем розглянуто національну та регіональні стратегії поводження з твердими побутовими відходами в Україні, проведено оцінку екологічної небезпеки від забруднення довкілля у зоні впливу сміттєзвалищ і полігонів.

Розділи у колективних монографіях

68. Тимчук І.С., Мальований М.С., Бота О.А., Шквірко О.М. Моніторинг стану накопиченого мулу на території очисних споруд ЛМКП “Львівводоканал” / Колективна монографія “Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування”, – Львів ТзОВ "ЗУКЦ" 2020. – С. 288-299.

Здобувачем здійснено моніторинг накопиченого мулу на території очисних споруд ЛМКП “Львівводоканал”.

69. Мальований М.С., Жук В.М., Тимчук І.С., Соловій Х.М., Вронська Н.Ю., Копій М.Л., Стокалюк О.В., Серeda А.С. Застосування концепції розімкнутого біологічного конвеєра для очищення забруднених водних середовищ на прикладі фільтратів сміттєзвалищ / Колективна монографія “Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування”, – Львів ТзОВ "ЗУКЦ" 2020. – С. 451-469.

Здобувачем проведено аналіз раціональної схеми біологічного конвеєра відкритого типу для очищення фільтрату полігону ТПВ.

70. Сторощук У.З., Мальований М.С., Тимчук І.С. Переробка органічної складової твердих побутових відходів методом компостування / Колективна монографія “Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування”, – Львів ТзОВ "ЗУКЦ" 2020. – С. 470-483.

Здобувачем проведено аналіз перспективних технологій утилізації органічних відходів.

71. Вронська Н.Ю., Бондар О.І., Мальований М.С., Попович О.Р., Тимчук І.С. Актуальні проблеми сталого розвитку. Екологічні та економічні наслідки зміни клімату / Колективна монографія “Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування” / за ред. проф. Мальованого М. С. – Київ : Яручєнко Я. В., 2022 – С. 190-201

Здобувачем проведено аналіз актуальних проблем пов'язаних з змінами клімату.

72. Попович О.Р., Вронська Н.Ю., Мальований М.С., Тимчук І.С. Огляд розвитку вітроенергетики як альтернативного джерела енергії в Україні і світі/ Колективна монографія “Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування” / за ред. проф. Мальованого М. С. – Київ : Яручєнко Я. В., 2022 – С. 229-242.

Здобувачем проведено аналіз альтернативних джерел енергії на основі біомаси з отриманням біогазу.

73. Мальований М.С., Жук В.М., Тимчук І.С., Вронська Н. Ю., Слюсар В. Т., Мараховська А. О., Серeda А. С. Технології пом'якшення зміни клімату: технології переробки фільтрату звалищ /Освіта, наука та промисловість на шляху до запобігання, адаптації та пом'якшення змін клімату: колективна монографія. – Харків: Смуґаста типографія, 2023. – С. 136-148.

Здобувачем проведено аналіз систематичних пілотних досліджень ефективності очищення фільтрату Грибовичського полігону ТПВ (Україна) на етапі аеробного біологічного очищення.

74. Тимчук І. С., Мальований М. С., Шквірко О. М., Жук В. М. Аналіз відходів від біогазового виробництва та їх вплив на схожість культурних рослин / Водопостачання

і водовідведення: проектування, будівництво, експлуатація, / за ред. проф. Мальованого М. С. – Київ: Яроченко Я.В., 2023. – С. 283-305.

Здобувачем проведено лабораторні дослідження впливу дигестату після анаеробного зброджування на ріст і розвиток біоіндикаційних досліджень.

75. Мальований М. С., Вронська Н. Ю., Тимчук І. С., Жук В. М. Використання звязуючого натурального походження для удосконалення технології створення паливних брикетів із деревних відходів/ Водопостачання і водовідведення: проектування, будівництво, експлуатація, / за ред. проф. Мальованого М. С. – Київ: Яроченко Я.В., 2023. – С. 91-105.

Здобувачем проведено аналіз утилізації деревних відходів шляхом пресування у паливні брикети.

76. Мальований М. С., Тимчук І. С., Слюсар В. Т., Жук В. М., Сторощук У. З., Бойко Р. Я. Дослідження умов аеробного біокомпостування осадів стічних вод різного віку із додаванням рослинної сировини / Водопостачання і водовідведення: проектування, будівництво, експлуатація, / за ред. проф. Мальованого М. С. – Київ: Яроченко Я.В., 2023. – С. 255-268.

Здобувачем проведено дослідження умов аеробного біокомпостування осадів стічних вод різного віку із додаванням рослинної сировини.

77. Malovanyu M., Tymchuk I., Soloviy Ch., Nykyforova O., Cherepakha D., Wójcik W., Shedreyeva I., Karnakova G. Prospects for the Use of Cyanobacterial Waste as an Organo-Mineral Fertilizer / Biomass as Raw Material for the Production of Biofuels and Chemicals, – London, 2020. – p. 10.

Здобувачем проведено аналіз біомаси ціанобактерій до і після анаеробної ферментації, відмічено, що біомаса містить значну частину сполук азоту, причому їх концентрація після ферментації зростає.

78. Zagirnyak M., Nykyforov V., Malovanyu M., Tymchuk I., Soloviy Ch., Bogachuk V., Komada P., Kozbakova A., Amirgaliyeva Z. The Use of Cyanobacteria – Water Pollutants in Various Multiproduction / Biomass as Raw Material for the Production of Biofuels and Chemicals , – London, 2020. – p. 10.

Здобувачем проведено аналіз досліджень обробки концентрованих суспензій ціанобактерій для досягнення максимального вилучення енергоносіїв та біологічно цінних речовин.

79. Malovanyu M., Tymchuk I., Zhuk V., Storoshchuk U., Grechanik R., Sliusar V., Soloviy Ch., Onyshkevych L. Obtaining compost for reclamation technologies of degraded areas with use of sewage sludge as a raw material/ Water Supply and Wastewater Disposal. Designing, Construction, Operation and Monitoring IV edited by Beata Kowalska and Dariusz Kowalski – Lublin: Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, 2022, – P. 118-133.

Здобувачем проведено аналіз результатів біоіндикації та встановлено оптимальний склад сировинної суміші з використанням "свіжого" та "старого" осадів стічних вод.

80. Malovanyu M., Tymchuk I., Zhuk V., Mysak I., Pichler M., Muschalla D. Methods of hydrological and hydraulic modelling of the first flush of stormwater runoff from urban catchments: the analysis of Ukraine experience/ Water Supply and Wastewater Disposal. Designing, Construction, Operation and Monitoring IV edited by Beata Kowalska and Dariusz Kowalski – Lublin: Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, 2022, – P. 134-152.

Здобувачем проведено детальний аналіз фактичних даних з проблеми підтоплення урбанізованих територій Європи та України.

81. Malovanyu M., Zhuk V., Tymchuk I., Vronska N., Sliusar V., Marakhovska A., Sereda A. Climate change mitigation technology: landfilled leachate processing technology/ Education, Science and Industry on the path to climate change prevention, adaptation and mitigation: collective monograph edited by N. Vnukova. G. Zhelnovach. Publ. House "Smugasta Typography" 2023, P. 128-140.

Здобувачем проведено аналіз систематичних пілотних досліджень ефективності очищення фільтрату на двохстадійному етапі.

Наукові праці, які свідчать про апробацію матеріалів дисертації:

82. Мальований М. С., Вольський В., Одуха М., Тимчук І. С., Шквірко О. М., Жук В. М. Налагодження виробництва органо-мінеральних сумішей з осадів стічних вод каналізаційних очисних споруд // Водопостачання та водовідведення: проектування, будова, експлуатація, моніторинг : матеріали II Міжнародної науково-технічної конференції (Львів, 18-20 жовтня 2017 р.). – 2017. – С. 69–70.

83. Мальований М. С., Шквірко О. М., Тимчук І. С. Використання техногенних відходів для рекультивації (ремедіації) порушених земель // Ідеї академіка Вернадського і науково-практичні проблеми сталого розвитку освіти і науки : XVII Міжнародна науково-практична конференція, Кременчук 1-3 червня 2017 р. – 2017. – С. 101.

84. Шквірко О. М., Тимчук І. С. Біологічна рекультивація порушених земель із використанням добрив утворених з техногенних відходів // Семінар "Сталий розвиток - погляд у майбутнє" : збірник матеріалів, Львів, 15 вересня 2017 р. : до 60-річчя доктора технічних наук, професора, завідувача кафедри екології та збалансованого природокористування, заслуженого діяча науки і техніки України Мирослава Мальованого / Національний університет "Львівська політехніка", Інститут сталого розвитку імені Вячеслава Чорновола. – 2017. – С. 22.

85. Іващишин Я. А., Тимчук І. С., Шквірко О. М., Мальований М. С., Попович В. В. Трансформація осадів відпрацьованого активного мулу в субстрат для біологічної рекультивації техногенно порушених земель // Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування : 5-й Міжнародний конгрес, Львів, 26-29 вересня 2018 р. : збірник матеріалів. – 2018. – С. 75.

86. Мальований М. С., Тимчук І. С. Визначення можливості використання осадів з Львівських КОС у якості субстрату для біологічної рекультивації // Проблеми екологічної безпеки : збірник матеріалів XVI Міжнародної науково-технічної конференції (04–06 жовтня 2018 р., Кременчук). – 2018. – С. 85.

87. Тимчук І. С., Мальований М. С. Можливість утилізації відпрацьованого активного мулу після біологічного очищення стічних вод // Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства. Європейський досвід і перспективи: матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції (Львів, 14 вересня 2018 р.). – 2018. – С. 213.

88. Шквірко О. М., Тимчук І. С., Іващишин Я. А., Мальований М. С., Біннер Е. Біотестування експериментального субстрату на основі ґрунту та техногенних відходів // Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване

- природокористування : 5-й Міжнародний конгрес, Львів, 26-29 вересня 2018 р. : збірник матеріалів. – 2018. – С. 155.
89. Popovych O., Vronska N., Tymchuk I. Disinfection of sewage from municipal wastewater treatment plants of Lviv // Chemical technology and engineering : proceedings of the 2nd International scientific conference, June 24–28th, 2019, Lviv, Ukraine. – 2019. – С. 342–344.
90. Rodzkin A., Malovanyy M., Zhuk V., Tymchuk I., Mukha O. The assessment of fast-growing trees potential, for biological reclamation of soils degraded as a result of mining and industrial activity // Fast-growing trees and plants grown for energy purposes (theory and good practices of growing and energy use of biomass) : international scientific conference, September 4-5, 2019, Nitra. – 2019. – С. 35.
91. Shkvirko O. M., Tymchuk I. S., Malovanyy M. S. Substrate creation from sewage sludge for biological reclamation of land // Ecobaltica: Abstracts Collection of the 16th International Youth Scientific and Environmental Forum of the Baltic Region, October 7-9, 2019, Gdansk. - 2019. - Pp. 92-94.
92. Shkvirko O., Tymchuk I., Malovanyy M. Creation of a substrate for biological reclamation from used sewage sludge // VIII Міжнародний молодіжний науковий форум "Litteris et Artibus" & 13-та Міжнародна конференція "Молоді вчені до викликів сучасної технології" : матеріали, 22–24 листопада, 2018, Львів, Україна. – 2018. – С. 316–317.
93. Shkvirko O., Tymchuk I., Malovanyy M. Substrate creation from sewage sludge for biological soil remediation // Actual environmental problems : proceedings of the IX International scientific conference of young scientists, graduates, master and PhD students, November 21–22, 2019 Minsk, Republic of Belarus. – 2019. – С. 216–217.
94. Shkvirko O., Tymchuk I., Malovanyy M., Popovych O. Man-made wastes – basis for biological reclamation // 9th International youth science forum "Litteris et Artibus" : proceedings, Lviv, Ukraine, November 21–23, 2019. – 2019. – С. 224–229.
95. Барз М., Мальований М. С., Войтович І., Кабенгеле Г., Жук В. М., Муха О. В., Тимчук І. С. Перспективи впровадження в Україні біогазових установок, що працюють на комбінованій органічній сировині // Нетрадиційні і поновлювані джерела енергії як альтернативні первинним джерелам енергії в регіоні : збірник наукових праць десятої міжнародної науково-практичної конференції (4–5 квітня 2019 р., Львів). – 2019. – С. 69–70.
96. Мальований М. С., Синельников С. Д., Тимчук І. С., Нагурський Н. О. Екологічно безпечні капсульовані мінеральні добрива пролонгованої дії // Проблеми екології та енергозбереження : матеріали XIII Міжнародної науково-технічної конференції, 20–22 вересня 2019 року, Миколаїв. – 2019. – С. 93–94.
97. Мороз О. І., Мальований М. С., Нагурський О. А., Петрушка І. М., Тимчук І. С., Синельников С. Д. Розкриття проблеми застосування інноваційних типів капсульованих добрив пролонгованої дії в навчальному курсі "Агроєкологія" // Управління якістю підготовки фахівців : матеріали всеукраїнської науково-методичної конференції, 26–27 березня 2019 р., Україна, м. Одеса. – 2019. – С. 114–116.
98. Попович О. Р., Вронська Н. Ю., Тимчук І. С., Слюсар В. Т. Зниження рівня екологічної небезпеки шляхом очищення муніципальних стічних вод // Проблеми та

- перспективи розвитку залізничного транспорту : матеріали 79 Міжнародної науково-практичної конференції, 16–17.05.2019, Дніпро. – 2019. – С. 298–299.
99. Попович О. Р., Масловська О. Д., Гнатуш С. О., Вронська Н. Ю., Тимчук І. С., Квасниця Р. В. Біологічні методи очищення промислових вод спиртзаводів // Проблеми екології та енергозбереження : матеріали XIII Міжнародної науково-технічної конференції, 20–22 вересня 2019 року, Миколаїв. – 2019. – С. 32–33.
100. Шквірко О. М., Тимчук І. С., Мальований М. С. Осад стічних вод – компонент субстрату для проведення біологічної рекультивації земель // Водопостачання та водовідведення: проектування, будова, експлуатація, моніторинг : матеріали 3-ої Міжнародної науково-практичної конференції, 23-25 жовтня 2019 р., Львів. – 2019. – С. 250–251.
101. Tymchuk I., Soloviy S., Malovanyu M. Biological reclamation with the help of a substrate prepared on the basis of wastewater sediments // Inżynieria i kształtowanie środowiska : książka abstraktów IV Konferencji naukowo-technicznej, Zielona Góra, 30.10.2020. – 2020. – С. 78–79.
102. Мальований М. С., Нагурський О. А., Синельников С. Д., Тимчук І. С. Забезпечення утилізації відсортованих твердих побутових відходів – неодмінна умова сталого розвитку сучасного міста // Інноваційні технології в архітектурі і дизайні : тези доповідей IV Міжнародної науково-практичної конференції, 21–22 травня 2020 р., Харків. – 2020. – С. 257–259.
103. Сторощук У. З., Тимчук І. С., Мальований М. С. Актуальність сортування твердих побутових відходів та їх роздільний збір // Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування : збірник матеріалів 6-го Міжнародного конгресу, Львів, 23 –25 вересня 2020 року. – 2020. – С. 106.
104. Тимчук І., Голець Н., Серeda А., Шквірко О. Біологічна рекультивація порушених земель та можливість використання в ній енергетичних культур // Сталий розвиток – стан та перспективи : матеріали II Міжнародного наукового симпозіуму SDEV'2020, 12–15 лютого 2020 року, Львів-Славське, Україна. – 2020. – С. 93–94.
105. Шквірко О. М., Тимчук І. С., Zhekovich O., Мальований М. С. Перспектива використання осаду стічних вод для біологічної рекультивації порушених земель // Регіональні проблеми охорони довкілля : матеріали міжнародної наукової конференції молодих вчених, 1–3 червня 2020 р., Україна, м. Одеса. – 2020. – С. 174–177.
106. Шквірко О. М., Тимчук І. С., Мальований М. С. Використання субстрату на основі осадів стічних вод для біологічної рекультивації порушених земель // Екологічна безпека об'єктів туристично-рекреаційного комплексу : матеріали I Міжнародної науково-практичної конференції, м. Львів, 5–6 грудня 2019 р. – 2019. – С. 133–134.
107. Tymchuk I., Malovanyu M., Zhuk V., Sliusar V., Storoshchuk U., Lyuta O. Composting of organic waste – an effective method of their disposal and a prospective factor of slowing climate change (on the example of Lviv) // Climate services: science and education : conference proceedings of the International research-to-practice conference, 22–24 September 2021, Odesa, Ukraine. – 2021. – С. 57–58.
108. Мальований М. С., Тимчук І. С., Жук В. М., Сторощук У. З., Онишкевич Л. І., Гречаник Р. Комплексна технологія використання субстратів на основі органічних

відходів і природних сорбентів для потреб біологічної рекультивації та ремедіації техногенно порушених земель // Екологія. Довкілля. Енергозбереження : збірник матеріалів II Міжнародної науково-практичної конференції, присвячена 203-річчю Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава, 2-3 грудня 2021 р. – 2021. – С. 231–233.

109. Тимчук І. С., Мальований М. С., Жук В. М., Сторощук У. З., Люта О. В. Львівський досвід збору та компостування органічних відходів // VIII-ий Міжнародний з'їзд екологів (Екологія / Ecology – 2021) : збірник наукових праць, 22–24 вересня, 2021, Вінниця. – 2021. – С. 162–164.

110. Тимчук І. С., Мальований М. С., Сторощук У. З., Люта О. В. Збір та компостування органічних відходів як запорука сталого розвитку міста // Проблеми сталого розвитку : матеріали міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 10-й річниці створення інституту (Львів-Зозулі, 22–23 жовтня 2021 р.). – 2021. – С. 33–35.

111. Шквірко О. М., Тимчук І. С., Мальований М. С., Сторощук У. З. Використання субстрату на основі осадів стічних вод для проведення біологічної рекультивації – шлях до забезпечення сталого розвитку // Водопостачання і водовідведення: проектування, будівництво, експлуатація, моніторинг : матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції, 20–22 жовтня 2021 р., Львів. – 2021. – С. 94–95.

112. Мальований М. С., Жук В. М., Тимчук І. С., Попович О. Р., Вронська Н. Ю., Сторощук У. З. Дослідження аеробного біокомпостування сировинної композиції на основі осадів стічних вод // Сталий розвиток – стан та перспективи : збірник матеріалів III Міжнародного наукового симпозіуму (Львів-Славське, 26–29 січня 2022 р.). – 2022. – С. 32–33.

113. Сторощук У. З., Мальований М. С., Тимчук І. С., Жук В. М., Жозвіаковська К., Котис О. М. Утилізація осадів стічних вод технологією компостування - альтернативний метод на шляху до сталого розвитку // Регіональні проблеми охорони довкілля та збалансованого природокористування : матеріали міжнародної наукової конференції за участю молодих науковців 21–22 вересня 2022 р., Україна, Одеса. – 2022. – С. 133–136.

114. Тимчук І. С., Мальований М. С., Вронська Н. Ю., Жук В. М., Середа А. С. Сучасні підходи до утилізації органовмісних техногенних відходів // Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування : збірник матеріалів VII Міжнародного конгресу, 12–14 жовтня 2022, Україна, Львів. – 2022. – С. 65.

115. Мальований М., Білокур М., Тимчук І., Жук В., Бойко Р. Комплексна технологія отримання та використання субстратів на основі органовмісних відходів і природних сорбентів // Перші практичні дії та проблемні питання реалізації Закону України «Про управління відходами» : збірка матеріалів Національного форуму «Поводження з відходами в Україні: законодавство, економіка, технології», 21–23 листопада 2023 р., Івано-Франківськ. – 2023. – С. 233–237.

116. Тимчук І., Жук В., Сторощук У., Середа А., Бордун І., Зима О. Науково-методичні основи біологічної рекультивації із використанням техногенних органовмісних відходів // Environment recovery and reconstruction: war context 2022 :

collection of materials of International scientific and practical conference, 17–18 грудня 2022, Полтава. – 2022. – С. 102–103.

117. Мальований М. С., Білокур М., Тимчук І. С., Жук В. М., Бордун І. М., Бойко Р. Я. Субстрати на основі компостованих органовмісних відходів і природних сорбентів – ефективний матеріал для реанімації порушених воєнними діями земель // Сталий розвиток – стан та перспективи : збірник матеріалів IV Міжнародного наукового симпозиуму в рамках Еразмус+ Модуль Жан Моне «Концепція екосистемних послуг: Європейський досвід» («EE4CES»), 13–16 лютого 2024, Україна, Львів – Славське. – 2024. – С. 26–30.

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

118. Никифоров В.В., Мальований М. С., Тимчук І.С., Пасенко А.В., Новохатко О.В. Спосіб вилучення ліпідів з біомаси ціанобактерій із застосуванням лазера : пат. 137244 UA. № u 2019 03571 ; заявл. 08.04.2019 ; опубл. 10.10.2019, Бюл. № 19. 4 с.

119. Мальований М.С., Синельников С.Д., Тимчук І.С., Нагурський О.А., Канда М.І., Шквірко О.М. Полімерна дисперсія для капсулювання добрив : пат. 142218 UA. № u 2019 10785 ; заявл. 31.10.2019 ; опубл. 25.05.2020, Бюл. № 10. 4 с.

120. Мальований М.С., Тимчук І.С., Копій М.Л., Жук В.М., Канда М.І., Святко І.М., Баландюх Ю.А. Спосіб очищення стічних вод за методом відкритого біологічного конвеєра : пат. 148262 Україна. № u202101013 ; заявл. 01.03.2021 ; опубл. 21.07.2021, Бюл. № 29. 4 с.

121. Гречаник Р.М., Мальований М.С., Шквірко О.М., Синельников С.Д., Тимчук І.С. Спосіб отримання полімерної дисперсії для капсулювання добрив: пат. 154870 Україна. № u202302588; заявл. 29.05.2023; опубл. 27.12.2023, бюл. № 52. 4 с.

АНОТАЦІЯ

Тимчук І.С. Науково-методологічні основи біологічної рекультивациі та ремедіациі із використанням техногенних органовмісних відходів. - На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека. Івано-Франківський національний технічний університету нафти і газу, 2024. Спеціалізована вчена рада Д 20.052.05.

Дисертаційна робота присвячена розв'язанню актуальної науково-прикладної проблеми в галузі екологічної безпеки, яка полягає у розробленні екологічно безпечних технологій утилізації органічних відходів для забезпечення проведення біологічної рекультивациі та ремедіациі, раціонального використання природних ресурсів, утилізації відходів органічного походження.

Розроблено науково-методологічні основи створення субстратів та органо-мінеральних добрив із використанням органовмісної сировини для рекультивациі та ремедіациі порушених земель. Які забезпечують в залежності від представлених технологічних і виробничих потужностей запропонувати оптимальний варіант утилізації осадів стічних вод, що дозволяє створити відповідний субстрат для проведення біологічного етапу рекультивациі техногенно порушених земель.

Експериментально встановлено та визначено оптимальні параметри аеробного біокомпостування сумішей, на основі композиції “осади стічних вод – подрібнена деревина – активований біокомпост”, це дозволило розробити екологічно безпечний метод переробки осадів стічних вод, із отриманням високоефективного субстрату для відновлення деградованих земель. Встановлено оптимальні параметри для створення стабільного за властивостями субстрату на основі компонентів “осади стічних вод – природні сорбенти – ґрунт” методом прямого перемішування, що дозволяє впровадити технологічні рішення його застосування та зменшення екологічних ризиків під час утилізації осадів.

Розроблено типові рецептури ростових субстратів на основі біокомпостів, необроблених та анаеробно зброджених осадів стічних та природних сорбентів для біологічної рекультивації та ремедіації різних типів техногенно порушених земель. Експериментально підтверджено якісні характеристики розробленого ростового субстрату для біологічної рекультивації та ремедіації шляхом аналізу даних дрібноділянкових польових та біоіндикаційних лабораторних досліджень. Розроблено математичну модель адсорбції забруднювачів сорбентами, які є компонентами ростового субстрату для рекультивації, що дозволило визначити оптимальний час для адсорбційного видалення іонів важких металів під час ремедіації. Розроблено рекомендації щодо проектування технологічних схем обробки та утилізації осадів стічних вод та органомісних відходів різного генезису із отриманням субстратів для потреб біологічної рекультивації та ремедіації техногенно-порушених земель.

Практична цінність роботи підтверджена результатами натурних і польових випробувань еколого безпечних технологій, чотирьма патентами України на корисну модель та актами впровадження у виробничий і навчальний процеси.

Ключові слова: органічні відходи, осади стічних вод, аеробне біокомпостування, анаеробне зброджування, дегестат, органо-мінеральна суміш, ростовий субстрат, біологічна рекультивація, ремедіація.

ABSTRACT

Tymchuk I. S. Scientific and methodological bases of biological reclamation and remediation using man-made organic waste. –manuscript.

Scientific and methodological bases of biological reclamation and remediation using man-made organ-containing waste. - In the form of a manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences in the specialty 21.06.01 - Environmental Safety. Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, 2024. Specialized Academic Council D 20.052.05.

The dissertation is devoted to solving an urgent scientific and applied problem in the field of environmental safety, which is the development of environmentally friendly technologies for the utilization of organic waste to ensure biological reclamation and remediation, rational use of natural resources, and utilization of organic waste.

The scientific and methodological foundations for the creation of substrates and organo-mineral fertilizers using organo-containing raw materials for the reclamation and remediation of disturbed lands have been developed. Depending on the available technological and production capacities, they provide an optimal option for the utilization

of sewage sludge, which allows creating a suitable substrate for the biological stage of reclamation of technologically disturbed lands.

The optimal parameters of aerobic biocomposting of mixtures based on the composition “sewage sludge - chopped wood - activated biocompost” were experimentally established and determined, which allowed to develop an environmentally friendly method of sewage sludge processing, with the receipt of a highly effective substrate for the restoration of degraded lands. The optimal parameters for creating a stable substrate based on the components “sewage sludge - natural sorbents - soil” by direct mixing were established, which allows to implement technological solutions for its use and reduce environmental risks during the utilization of sludge.

The optimal parameters of aerobic biocomposting based on sewage sludge were established, which allow to create compost with appropriate quality indicators, regulated by the requirements of DSTU 8727:2017 for organic-mineral mixtures from sewage sludge with different formulations of raw materials. This information was transferred to the municipal enterprise “Green City”, which is the operator of the first composting station in Ukraine, as well as the Hrybovychi landfill, which is confirmed by the relevant act.

Typical formulations of growth substrates based on biocomposts, untreated and anaerobically fermented sewage sludge, and natural sorbents for biological reclamation and remediation of various types of technologically disturbed lands have been developed. The qualitative characteristics of the developed growth substrate for biological reclamation and remediation were experimentally confirmed by analyzing the data of small-scale field and bioindicative laboratory studies. A mathematical model of adsorption of pollutants by sorbents, which are components of the growth substrate for remediation, was developed, which allowed to determine the optimal time for adsorption removal of heavy metal ions during remediation. Field tests of the technology for creating composts based on sewage sludge were conducted at the municipal enterprise “Green City”, and further field studies were conducted at the Institute of Agriculture of the Carpathian Region of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine.

Theoretical and experimental information on the mechanism and kinetics of sorption of toxic contaminants by natural sorbents to ensure effective remediation, as well as the developed mathematical model of the remediation process with a substrate consisting of natural sorbents, was transferred to LLC “Company «Center LTD»” and can be used in the development of projects for the remediation of man-made objects.

Recommendations for the design of technological schemes for the treatment and utilization of sewage sludge and organ waste of various genesis with the production of substrates for the needs of biological reclamation and remediation of technogenically disturbed lands have been developed.

The practical value of the work is confirmed by the results of full-scale and field tests of environmentally friendly technologies, four patents of Ukraine for a utility model and acts of implementation in production and educational processes.

Key words: organic waste, sewage sludge, aerobic biocomposting, anaerobic digestion, degestate, organic-mineral mixture, growth substrate, biological reclamation, remediation.

*Підписано до друку 06.06.2024. Формат 60x84/16
Гарнітура Times New Roman
Умов.друк. арк. 1,9. Тираж 100 прим.
Видавництво ДрукАрт
м. Львів пр. В. Чорновола, 43а, оф. 315
<https://drukart.lviv.ua/>*