

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМ.С.З.ГЖИЦЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ АГРОТЕХНОЛОГІЙ ТА ОХОРОНИ ДОВКІЛЛЯ**

Кафедра екології та захисту довкілля

Допускається до захисту

" _____ " _____ 2025 р.

Зав. кафедри _____

(підпис)

к.б.н., доцент П.Р.Хірівський

наук. ступ., вч. зв. (ініціали та прізвище)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістр

(освітній-ступінь)

**на тему «Використання мікроміцетів ґрунту та вермикультури
для утилізації осадів стічних вод»**

Виконав студент групи Еко- 62

Спеціальності 101 «Екологія»

Лопацький Дмитро Андрійович

Керівник Юрій КОРІНЕЦЬ _____

Консультант Юрій КОВАЛЬЧУК _____

Дубляни 2025 року

Міністерство освіти і науки України
Львівський національний університет природокористування

Факультет агротехнологій та екології
Кафедра екології
Освітньо-кваліфікаційний рівень «магістр»
Спеціальності 101«Екологія»

“ЗАТВЕРДЖУЮ”
Завідувач кафедри _____
к.б.н., доцент П.Р.Хірівський
" _____ " _____ 2024р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу студента
Лопацький Дмитро Андрійович

- 1.Тема роботи: «Використання мікроміцетів ґрунту та вермикультури для утилізації осадів стічних вод»
Затверджена наказом по університету № ____ від “__” _____ 2025р.
2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи 10 грудня 2025 року
- 3.Вихідні дані для дипломної роботи
Літературні джерела, Результати аналізів лабораторії очисних споруд ЛМКП «Львівводоканал» та дані проекту «Водопостачання та водовідведення м. Львова».
- 4.Зміст дипломної роботи (перелік питань, які необхідно розробити)

ВСТУП

1.ХАРАКТЕРИСТИКА, ОБРОБКА ТА УТИЛІЗАЦІЯ ОСАДІВ СТІЧНИХ ВОД

- 1.1. Загальна характеристика осадів стічних вод промислових підприємств та комунальних стічних вод
- 1.2. Хімічний склад осадів
- 1.3. Обробка та утилізація осадів стічних вод
- 1.4. Мікроміцети в антропогенних екотопах

2. МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

- 2.1. Мікологічний аналіз осадів стічних вод
- 2.2. Хімічний аналіз осадів стічних вод
- 2.3. Застосування вермикультури для утилізації осадів

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

- 3.1. Результати мікологічного аналізу осадів стічних вод
- 3.2. Результати хімічного аналізу осадів стічних вод
- 3.3. Результати використання вермикультури для утилізації осадів стічних вод

4. РЕКОМЕНДАЦІЇ

5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАСЕЛЕННЯ

5.1. Заходи по попередженню травматизму

4.2. Виробнича санітарія та гігієна праці, заходи їх покращення

5.3. Протипожежна безпека в лабораторіях

ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

5. Перелік графічного матеріалу (подається конкретний перерахунок аркушів з вказуванням їх кількості) Схеми, таблиці, рисунки

6. Консультанти з розділів:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
1,2,3,4	Корінець Ю.Я., доцент кафедри екології та біології			
5	Ковальчук Ю.О. доцент кафедри інженерної механіки			

7. Дата видачі завдання 10 вересня 2024 р.

Календарний план

№ п/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Відмітка про виконання
1	Написання Вступу та розділів: Характеристика, обробка та утилізація осадів стічних вод, Матеріали і методи	10.09.24-29.11.24	
2	Написання розділів: Результати дослідження, Рекомендації	10.12.24-20.03.25	
3	Написання розділу Охорона праці та захист населення, формування висновків та списку джерел літератури	20.03.25-01.11.25	

Студент _____
(підпис)

Керівник кваліфікаційної роботи
роботи _____ Ю.Я.Корінець
(підпис)

УДК 504.53:628.3

Використання мікроміцетів ґрунту та вермикультури для утилізації осадів стічних вод. Лопацький Д.А. – Кваліфікаційна робота. Кафедра екології та захисту довкілля. – Дубляни, ЛНУВМБ ім. С.З. Гжицького, 2025.

74 с. текст. част., 5 табл., 28 джерела літ., 14 рисунків.

У кваліфікаційній роботі наведені результати мікологічного та хімічного аналізу осадів стічних вод очисних споруд ЛМКП „Львівводоканал” різного терміну утримання, а також досліджено можливість застосування вермикультури для утилізації цих осадів.

Рекомендовано застосування червоних дощових черв'яків в осаді з терміном утримання не менше 3-ох років.

Розроблено питання охорони праці.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1. ХАРАКТЕРИСТИКА, ОБРОБКА ТА УТИЛІЗАЦІЯ ОСАДІВ СТІЧНИХ ВОД	10
1.1. Загальна характеристика осадів стічних вод промислових підприємств та комунальних стічних вод	10
1.2. Хімічний склад осадів	13
1.3. Обробка та утилізація осадів стічних вод	15
1.3.1. Ущільнення осадів	17
1.3.2. Кондиціонування	19
1.3.3. Механічне зневоднення	21
1.3.4. Знезаражування осадів	23
1.3.5. Природне зневоднення осадів	26
1.3.6. Термічне сушіння та спалювання осадів	30
1.3.7. Стабілізація осадів	32
1.3.8. Використання осадів стічних вод як добриво	35
1.3.9. Вермикультивування і призначення біогумусу	36
1.4. Мікроміцети в антропогенних екотопах	40
2. МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ	43
2.1 Мікологічний аналіз осадів стічних вод	43
2.1.1. Методика відбору проб	43
2.1.2. Метод визначення коефіцієнта схожості (по Соренсену- Чекановському)	44
2.1.3. Метод визначення частоти стрічання видів грибів	44
2.1.4. Метод кореляційних плеяд	45
2.2. Хімічний аналіз осадів стічних вод	46
2.3. Застосування вермикультури для утилізації осадів	46
3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ	47

3.1. Результати мікологічного аналізу осадів стічних вод	47
3.2. Результати хімічного аналізу осадів стічних вод	58
3.3. Результати використання вермикультури для утилізації осадів стічних вод	61
4. РЕКОМЕНДАЦІЇ	62
5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАСЕЛЕННЯ	63
5.1. Заходи по попередженню травматизму	63
5.2. Виробнича санітарія та гігієна праці, заходи їх покращення	65
5.3. Протипожежна безпека в лабораторіях	66
ВИСНОВКИ	70
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	72

ВСТУП

Актуальність теми. Зростання чисельності населення, інтенсифікація промислового виробництва та урбанізаційні процеси зумовлюють істотне підвищення потреб у якісному водопостачанні та ефективному водовідведенні. У зв'язку з цим у багатьох містах активно розширюється мережа каналізаційних очисних споруд і впроваджуються нові технології очистки стічних вод. Проте результатом цього є значне збільшення обсягів утворення осадів стічних вод. Лише невелика частка цих осадів проходить повноцінний технологічний цикл переробки — ущільнення, стабілізацію, знезараження, зневоднення та подальшу утилізацію. Більшість же осадів накопичуються на мулових майданчиках, які часто перевантажені та не відповідають сучасним вимогам щодо екологічної безпеки.

Особливої небезпеки набувають осади, що містять токсичні речовини та патогенні мікроорганізми, які нерідко безконтрольно вивозяться на сільськогосподарські землі без попередньої обробки. Подібні дії призводять до забруднення ґрунтів, інфільтрації токсикантів у підземні води та поширення їх у повітряному середовищі, що суттєво погіршує екологічний стан територій та санітарно-гігієнічні умови життя населення. Важкі метали, присутні в осадах, створюють окрему групу ризиків, оскільки здатні акумулюватися в ґрунтах і живих організмах, унеможливаючи або суттєво обмежуючи подальше використання таких осадів у сільському господарстві. Їх основним джерелом є промислові стоки, які надходять на очисні споруди без належної локальної очистки.

Однією з ключових причин проблеми неефективного поводження з осадами в Україні є недостатня увага до технологій їх переробки на етапі проєктування очисних споруд. У типовій проєктній документації кінцеві етапи поводження з осадами — утилізація, переробка або організоване видалення — часто залишаються нерозкритими або недостатньо деталізованими. Унаслідок цього експлуатація споруд для обробки осадів є нерегулярною, а комунальні

підприємства втрачають економічну зацікавленість у забезпеченні належної роботи таких об'єктів. Додатковими чинниками, що ускладнюють ситуацію, є відсутність сучасної нормативно-методичної бази, державної статистичної звітності щодо поводження з осадами, а також недостатня відповідальність персоналу та відсутність системи економічних стимулів.

У цьому контексті особливої актуальності набуває пошук екологічно безпечних, технологічно доступних і економічно обґрунтованих методів утилізації осадів стічних вод. Наше дослідження зосереджене на вивченні осадів ЛМКП «Львівводоканал», де наявне обладнання дозволяє переробляти лише близько 10% від загального обсягу утворених осадів. Мулові майданчики підприємства також не забезпечують вирішення проблеми, оскільки швидко переповнюються. До того ж у відібраних осадах виявлено перевищення гранично допустимих концентрацій солей важких металів, що робить їх використання без попередньої детоксикації небезпечним.

Одним із перспективних підходів до утилізації осадів є їх переробка за участю вермикультури з отриманням біогумусу — високоякісного органічного добрива, придатного для сільськогосподарського використання. Осади містять цінні органічні та мінеральні компоненти — азот, фосфор, калій, вітаміни, амінокислоти, гумусові речовини — що робить їх потенційно придатною сировиною для біоконверсії. Поєднання процесів мікробіологічного розкладу та діяльності дощових червів створює умови для детоксикації та стабілізації осадів.

Мета роботи — дослідження можливості використання мікроміцетів ґрунту та вермикультури для екологічно безпечної утилізації осадів стічних вод.

Об'єкт дослідження — осади стічних вод Львівських міських очисних споруд, що зберігалися на мулових майданчиках протягом трьох років, а також осад після обробки флокулянтном та зневоднення.

Завдання дослідження:

1. Провести мікологічний та хімічний аналіз осадів стічних вод ЛМКП «Львівводоканал» різного строку зберігання.
2. Оцінити можливість використання вермикультури як ефективного методу утилізації цих осадів.

1. ХАРАКТЕРИСТИКА, ОБРОБКА ТА УТИЛІЗАЦІЯ ОСАДІВ СТІЧНИХ ВОД

1.1. Загальна характеристика осадів стічних вод промислових підприємств та комунальних стічних вод

Осади формуються в результаті очищення господарсько-побутових та виробничих стічних вод і становлять одну з наймасовіших груп відходів комунального сектору. Їх утворення є невід'ємним етапом кожної технологічної схеми очистки, незалежно від того, чи застосовуються механічні, хімічні, фізико-хімічні або біологічні методи. Фактично будь-який процес вилучення домішок зі стічної води супроводжується формуванням твердої або напівтвердої фази, що ідентифікується як осад.

Незважаючи на широке поширення цього поняття, у фаховій літературі відсутня єдина та стандартизована термінологія. Різні галузі використовують власні назви, що часто відображають не стільки властивості осаду, скільки технологічні особливості його утворення. Так, у практиці водопідготовки та очищення стоків зустрічаються терміни «шлам», «мул», «сирий осад», «свіжий осад», «фільтраційний осад», у промисловості — «хвости» (збагачувальні фабрики), «скоп» (целюлозно-паперова галузь), «елюати» (гальванічне виробництво), «дефекат» і «дефекаційний бруд» (цукрові заводи). Це ускладнює уніфікацію класифікації й іноді призводить до неоднозначного тлумачення результатів досліджень.

У загальному вигляді осади є водними суспензіями з вмістом твердої фази від 0,5 до 10 %, тоді як частка органічної речовини може сягати 80–90%. До складу осадів входять як розчинені, так і нерозчинені домішки, затримані первинними та вторинними відстійниками, пісковловлювачами, флотаторами, фільтраційними установками та іншими очисними спорудами. У процесі очищення вода проходить через кілька стадій, на кожній з яких вилучається певна фракція забруднювачів. У підсумку формується комплекс осадів різної

природи: мінеральні, органічні, біологічні, реагентні, мулові та змішані.

Фізико-хімічна природа утворення осадів

Формування осадів визначається низкою факторів:

розміром частинок, що впливає на швидкість осадження чи спливання;

густиною домішок, що визначає їх поведінку у водному середовищі;

наявністю колоїдних частинок, які потребують коагуляції або біологічної трансформації;

вмістом розчинених речовин, здатних переходити у тверду фазу внаслідок хімічних реакцій (наприклад, утворення нерозчинних фосфатів чи карбонатів); біологічною активністю, зокрема діяльністю мікроорганізмів, що утворюють біомасу активного мулу.

Під впливом цих факторів частина домішок осідає, частина спливає у вигляді піноподібної маси, а частина залишається у завислому стані.

Типи осадів, що утворюються на очисних спорудах

Ущільнений активний мул. Отримується шляхом зменшення вологості надлишкового активного мулу методом гравітаційного відстоювання, флотації чи механічного сепарування. Він містить концентровану біомасу мікроорганізмів і використовується як субстрат для подальшої анаеробної або аеробної стабілізації.

Анаеробно зброджений мул. Формується в результаті збродження сирого осаду та надлишкового мулу в метантенках. В анаеробних умовах органічна речовина розкладається, утворюючи біогаз (переважно метан), що зменшує об'єм і стабілізує масу.

Аеробно стабілізований осад. Утворюється в процесі тривалої аерації надлишкового активного мулу. Мікроорганізми мінералізують частину органічної фракції, роблячи осад більш стабільним та менш схильним до гниття.

Підсушений осад з мулових майданчиків. Це осад, що проходить природну аерацію та випаровування вологи. Його структура ущільнюється, а маса та вологість суттєво зменшуються. Такий осад потребує подальшого

визначення екологічних параметрів перед можливим використанням.

Зневоднений механічними методами осад. Отримується за допомогою фільтр-пресів, центрифуг, гвинтових пресів тощо. Вологість зменшується до рівня 75–85%, що полегшує транспортування та зберігання.

Термічно висушений осад. Виробляється в сушильних установках при температурі 150–250 °С. Такий осад має низьку вологість (до 10%) і може використовуватися як паливна біомаса, але потребує ретельного контролю щодо вмісту важких металів.

Класифікація осадів залежно від споруд, що їх затримують

- **Осади решіток (грубі осади).** Містять великі тверді домішки: папір, тканини, волокна, залишки харчів. Переважають компоненти органічного походження, що становлять екологічну небезпеку через швидке загнивання.

- **Осади пісковловлювачів.** Переважно мінеральні: пісок, уламки порід, биті матеріали. Мають низький вміст органіки, легко підсушуються й можуть бути використані у будівництві чи рекультивації.

- **Плаваючі осади.** Складаються з жирів, восків, олій та легких органічних сполук. Особливо характерні для харчової промисловості. Мають високий ступінь біологічного розкладу, тому потребують стабілізації.

- **Первинні (сирі) осади.** Утворюються у первинних відстійниках. Характеризуються високою часткою органічних речовин та значною вологістю (понад 93–97%). Мають інтенсивний запах, швидко загнивають.

- **Вторинні (надлишковий активний мул, біоплівка).** Це біомаса мікроорганізмів, що використовується у біологічному очищенні. Вологість дуже висока — до 99,7%. Потребує обов'язкової стабілізації перед утилізацією.

- **Реагентні шлами після фізико-хімічної очистки.** Містять продукти коагуляції, флокуляції, іонного обміну, адсорбції або електрохімічних процесів. Можуть включати значні концентрації важких металів, фосфатів, сульфатів та інших неорганічних сполук.

Проблема відсутності єдиного підходу до класифікації осадів

Через різноманітність технологій та неоднорідність складу осадів відсутня уніфікована система їх класифікації. Відмінності підходів різних авторів обумовлені:

специфікою галузевих технологій,
регіональними особливостями складу стічних вод,
різними методами опису морфологічних та хімічних властивостей,
екологічними нормами, які змінюються в часі.

Це спричиняє певні суперечності у визначенні терміна «осад» і ускладнює його стандартизоване використання в методиках поводження, утилізації та екологічного контролю.

1.2. Хімічний склад осадів стічних вод

Хімічний склад осадів стічних вод визначається природою і походженням самих стоків, а також технологічними процесами їх очищення. У порівнянні з виробничими стічними водами, побутові характеризуються значно більш однорідним складом, що обумовлено стабільнішим набором джерел формування забруднень.

Домішки в осаді традиційно поділяють на органічні та мінеральні. Основу органічної фракції становлять сполуки, до складу яких входять вуглець, водень, кисень, а також сірка та фосфор. Часто в осадах наявна значна кількість мікроорганізмів — бактерій, дріжджів, плісневих грибів, а також залишків водоростей та іншого планктону. Мінеральні домішки представлені частинками ґрунту, піску, шлаків, металів, руд, а також мастильними матеріалами та іншими техногенними компонентами.

У побутових стічних водах частка органічної речовини у нерозчинних домішках може досягати 75–80%, тоді як мінеральна складова становить близько 20–25%. Розмір частинок у завислих речовинах варіює від 1 мм до 0,1 мкм, а в колоїдній фракції — до 0,001 мкм і менше, що ускладнює їх видалення механічними методами.

На відміну від побутових, осади виробничих стічних вод відзначаються значно більшою різноманітністю. Їхній хімічний склад залежить від профілю підприємств і специфіки технологічних процесів, що може зумовлювати присутність у стоках токсичних і шкідливих речовин: фенолів, синтетичних поверхнево-активних речовин, важких металів (свинцю, кадмію, ртуті, цинку та ін.), органічних реагентів тощо.

Сира фаза осадів первинних відстійників містить у середньому 60–75% органічних речовин у складі сухої маси, а надлишковий активний мул — 70–75%. Основу органічної складової становлять білки, жири та вуглеводи, сумарна частка яких може досягати 80–85%. Додатково присутні гумусоподібні речовини (15–20%), які формуються внаслідок біохімічних перетворень. Співвідношення між окремими органічними компонентами є динамічним та залежить від походження стоків: у звичайному осаді переважають жироподібні сполуки та вуглеводи, тоді як в активному мулі основну частину складають білки, що входять до складу мікробної біомаси.

Разом із органічною речовиною осади містять значну кількість поживних елементів — азот, фосфор, калій, кальцій, магній, мікроелементи, що створює потенціал для їх використання як добрив у сільському господарстві. Однак практичне застосування обмежується наявністю небезпечних домішок.

У всіх видах міських осадів фіксується присутність іонів важких металів (свинцю, кадмію, кобальту, ртуті тощо), концентрація яких залежить від складу вступних стічних вод і відсутності ефективного попереднього очищення промислових стоків від токсичних речовин. Накопичення важких металів становить одну з ключових екологічних проблем, оскільки вони є стійкими, малорухливими та токсичними навіть у низьких концентраціях.

Хімічний склад осаду визначає вибір способу його обробки та можливості подальшої утилізації. Наприклад:

- солі заліза, алюмінію, хрому, міді та інші неорганічні реагенти покращують процеси коагуляції, ущільнення й зневоднення;

- жироподібні речовини та сполуки азоту стимулюють газоутворення під час анаеробного зброджування, але можуть ускладнювати коагуляцію та ущільнення, адже утворюють захисну плівку на частинках осаду;

- поверхнево-активні речовини, барвники та іони важких металів пригнічують біохімічні процеси стабілізації, зокрема аеробне та анаеробне зброджування, а також суттєво знижують агрономічну цінність осаду як добрива.

Таким чином, хімічний склад осадів є критичним параметром, що впливає на їхні фізико-хімічні властивості, екологічну безпеку та ефективність подальших технологій переробки.

1.3. Обробка та утилізація осадів стічних вод

Способи обробки та утилізації осадів стічних вод визначаються насамперед їхнім хімічним складом, фізичними властивостями та екологічними ризиками. Історично підходи до переробки осадів суттєво змінювалися в міру розвитку технологій очищення.

У першій половині XX століття найбільш поширеним методом була анаеробна стабілізація, яку проводили в емшерах, двоярусних відстійниках та перших конструкціях метантенків. Після стабілізації осад піддавали зневодненню шляхом природного висушування на мулових полях, що вважалося економічно доступним, але вимагало великих площ і позитивних кліматичних умов.

З часом, зі зростанням обсягів утворення осадів і підвищенням вимог до санітарної безпеки, мулові майданчики почали замінювати механічними методами зневоднення. Спочатку застосовували вакуум-фільтри, для роботи яких необхідне попереднє кондиціонування осадів неорганічними реагентами. Пізніше технології удосконалювались і стали включати центрифугування, фільтр-преси та сучасні геотекстильні системи.

У сучасних умовах технологічні схеми обробки осадів передбачають

послідовне застосування низки операцій, серед яких:

ущільнення (згущення) – зменшення вмісту води та підвищення концентрації сухої речовини;

стабілізація – біологічна, хімічна або термічна обробка з метою зменшення біологічної активності та запахів;

кондиціонування – обробка реагентами для покращення водовіддачі;

механічне зневоднення – зменшення вмісту вологи до стану, придатного для транспортування або наступної утилізації;

сушка – глибоке видалення вологи, що дозволяє зменшити масу та об'єм осадів;

термічні процеси (спалювання, піроліз, газифікація) – отримання енергії та мінімізація кількості відходів;

ресурсна утилізація – використання осадів як добрив, компостів, ґрунтополіпшувачів або вторинної сировини.

Такі комплексні технології дають можливість істотно зменшити об'єм і масу осаду, підвищити безпечність його поводження та створити умови для раціонального використання або екологічно безпечного видалення.

Вибір оптимальної схеми поводження з осадами є багатofакторним і складним інженерно-економічним завданням. Для його обґрунтування необхідно враховувати потужність очисних споруд, особливості місцевих кліматичних та гідрогеологічних умов, містобудівні обмеження, наявність реагентів і палива, можливості логістики, а також результати лабораторних та дослідно-промислових досліджень, що визначають здатність осаду до водовіддачі, його фізико-хімічні та агрономічні властивості.

Незалежно від конкретних умов, сучасні технологічні схеми базуються на поєднанні різних методів обробки, що дозволяє досягти максимального ефекту, забезпечити санітарну безпеку та мінімізувати вплив на довкілля.

1.3.1. Ущільнення осадів

Ущільнення осадів є однією з ключових стадій їх обробки на очисних

спорудах, оскільки дозволяє суттєво зменшити їхню вологість та об'єм. Цей процес вважається найбільш економічно вигідним способом попереднього зневоднення: енерговитрати на видалення одиниці води в 10 разів нижчі, ніж під час механічного зневоднення чи термічної сушки.

Найчастіше ущільнюють надлишковий активний мул, рідше — суміш активного мулу з сирим осадом, і зовсім рідко — лише сирий осад. Також до ущільнення можуть направляти анаеробно зброджені або аеробно стабілізовані осади.

На сьогодні розрізняють чотири основні методи ущільнення:

- гравітаційне ущільнення,
- флотаційне згущення,
- відцентрове (центрифужне) згущення,
- фільтраційне ущільнення.

Ці методи ґрунтуються на різних фізичних принципах розділення неоднорідних систем і вибираються залежно від властивостей осаду та умов експлуатації.

Гравітаційне ущільнення

Гравітаційне ущільнення є найпоширенішим, простим в обслуговуванні та відносно дешевим методом. Воно відбувається у вертикальних або радіальних згущувачах (мулозгущувачах) і базується на процесах стисненого осадження, під час яких відділяється лише вільна вода.

Тривалість ущільнення може становити від 4 до 24 годин і більше. У результаті вміст вологи в осаді зменшується з 97% до 85%. Недоліком цього методу є значне винесення завислих речовин у відокремленій воді, що погіршує її якість.

Для підвищення ефективності гравітаційного ущільнення використовують:

- коагулянти,
- сумісне згущення різних типів осадів,

- перемішування під час процесу,
- термогравітаційні способи згущення.

Флотаційне ущільнення

Флотаційне згущення широко застосовується за кордоном і має низку переваг:

- значно менша тривалість процесу,
- вища швидкість та ефективність,
- нижча кінцева вологість осаду,
- менший кінцевий об'єм продукту.

Недоліки: складні конструкції флотаторів, висока енергоємність та трудомістке обслуговування.

Найпоширенішим є **метод напірної флотації**: частину води насичують повітрям під тиском близько 0,4 МПа, після чого при розгерметизації утворюються мікропухирці, які захоплюють частинки осаду і підіймають їх на поверхню. Швидкість ущільнення у цьому методі в 10–15 разів більша, а концентрація твердої фази — вдвічі вища, ніж при гравітаційному ущільненні. За 10–20 хвилин можна досягти результату, який гравітаційне ущільнення забезпечує лише за 2 години.

Відцентрове згущення

Відцентрове ущільнення є одним із найефективніших способів розділення суспензій, яке здійснюється у гідроциклонах, центрифугах чи сепараторах. У порівнянні з гравітаційними методами, швидкість згущення зростає у 10–20 разів, а для сучасних центрифуг — у сотні разів.

Тарілчасті сепаратори забезпечують концентрацію твердих речовин 40–60 г/л при затриманні сухої речовини до 97%, але часто потребують зупинки через забивання сопел.

Центрифуги дозволяють отримати мул із концентрацією 60–70 г/л, проте

створюють значні об'єми фугату, який важко зневоднюється. Через це їх використання для згущення обмежене.

Фільтраційне згущення

Фільтрація рідко використовується як основний метод ущільнення, проте відіграє важливу роль у механічному зневодненні. Для процесу застосовують:

вакуумні барабанні фільтри-згущувачі,
динамічні фільтри.

1.3.2. Кондиціонування

Для забезпечення ефективного зневоднення осади необхідно попередньо кондиціонувати. Мета цього етапу — покращити водовіддачу шляхом трансформації структури осаду та зміни характеру зв'язку води з частинками твердої фази перед подальшим зневодненням і утилізацією. Кондиціонування здійснюють різними методами, серед яких реагентна та теплова обробка, рідкофазне окиснення, а також заморожування з наступним розмерзанням.

Реагентне кондиціонування ґрунтується на процесі агрегації колоїдних і дрібнодисперсних частинок, що призводить до формування більших пластівців, руйнування гідратних оболонок і покращення водовіддаючих властивостей осаду. Як реагенти використовують мінеральні коагулянти (солі заліза, алюмінію, вапно у вигляді 10% розчинів) або синтетичні флокулянти. Середні дози внесення для мінеральних реагентів становлять 5–8% і 15–20% (у перерахунку на суху речовину осаду), а для синтетичних — 0,05–0,2% для сирих і 0,15–0,4% для зброджених осадів. Завдяки цьому забезпечується до 95–96% затримання твердої фази при вологості осаду близько 50%. Мінеральні реагенти достатньо ефективні, але їхнє використання ускладнюється високою вартістю, дефіцитністю, складністю транспортування та зберігання. Натомість синтетичні флокулянти

широко застосовують у процесах центрифугування. Часто можливе комбінування мінеральних та синтетичних реагентів для підвищення результативності.

Теплова обробка передбачає нагрівання осадів до 150–200 °С із витримуванням у герметичній ємності протягом 0,5–2 год. Унаслідок такого впливу структура осаду змінюється, він стає стерильним, краще віддає воду та швидко ущільнюється до вологості 92–94%, після чого легко зневоднюється до 65–70% на вакуум-фільтрах чи фільтр-пресах. Параметри теплової обробки визначають індивідуально відповідно до властивостей конкретного осаду. Механізм цього процесу вивчений недостатньо, а ступінь розпаду органічної речовини залежить від типу осаду.

Рідкофазне окиснення (метод Ціммермана) активно застосовується останні два десятиліття. Воно полягає в інтенсивному окисненні органічної складової осаду киснем повітря за високих температур і тиску. Ефективність оцінюють за ступенем зниження ХСК, що головним чином залежить від температури процесу: для окиснення на 50% потрібна температура 200 °С, для 70% і більше — 250–300 °С. Окиснення супроводжується значним виділенням тепла. За вологості осаду близько 96% кількість теплоти, що виділяється, достатня для самопідтримання температурного режиму, а основні енерговитрати припадають на подачу стисненого повітря. Економічність методу значною мірою визначається вихідною вологістю осаду та можливістю утилізації тепла реакції.

Заморожування та розмерзання — порівняно новий і найменш освоєний метод кондиціонування. Під час заморожування тверді частинки коагулюють, а після розмерзання утворюють зернисту структуру, що добре віддає воду. Після танення такі осади надходять у мулозгущувачі чи на фільтр-преси, а згодом — на мулові майданчики, де вологість зменшується до 60–70%. Заморожування зазвичай проводять при –5...–10 °С протягом 50–120 хв. Метод може бути ефективно застосований у зимовий період за умов природного проморожування. Для цього забезпечують пошарове

наморожування осадів, своєчасне видалення снігу та відведення талої води, оскільки тривалий контакт талої води з осадом відновлює його первинні властивості та знижує водовіддачу. Важливою перевагою методу є те, що отримана вода не містить додаткових забруднень, на відміну від реагентних та теплових способів.

1.3.3. Механічне зневоднення

Механічне зневоднення осадів стічних вод застосовують тоді, коли площі мулових майданчиків є недостатніми або коли подальша утилізація осадів вимагає зменшення їхньої вологості та об'єму. Найчастіше зневоднення здійснюють за допомогою центрифуг або різних типів фільтрувального обладнання.

Фільтрування є найбільш вивченим і широко впровадженим методом механічного зневоднення. Для цього використовують різні конструкції фільтрувальних апаратів: вакуум-фільтри, листові, гравітаційні та віброфільтри. Процес фільтрування ґрунтується на відокремленні твердої та рідкої фаз під дією різниці тисків над фільтрувальним середовищем і під ним.

Вакуум-фільтри є найпоширенішими серед фільтрувальних апаратів завдяки універсальності — вони придатні для зневоднення практично всіх кондиціонованих осадів. Їх застосовують переважно тоді, коли зневоднені осадки підлягають використанню в сільському господарстві або іншим шляхом утилізуються. Разом із тим, робота вакуум-фільтрів потребує складного допоміжного обладнання (вакуум-насосів, компресорів, ресиверів тощо), що ускладнює експлуатацію та потребує значних площ. Основним недоліком є висока вологість отриманого осаду; для її зниження використовують підігрів шару осаду під час просушування.

Ефективність різних типів фільтрів становить:
гравітаційні та віброфільтри — 60–70% видалення механічно зв'язаної вологи;
вакуум-фільтри — до 80%;

листові фільтри — близько 90%;

фільтр-преси — до 98%.

Листові фільтри раніше широко застосовувалися, але нині практично не використовуються через неможливість сухого вивантаження кека та конструктивні обмеження.

У порівнянні з вакуум-фільтрами, фільтр-преси забезпечують отримання осаду з найменшою вологістю, однак мають нижчу продуктивність. Їх застосовують здебільшого тоді, коли необхідне максимальне зневоднення — наприклад, перед спалюванням або сушінням. Вони є менш енергоємними, а сучасні моделі працюють у напівавтономному чи повністю автоматичному режимах. Окремим різновидом є стрічкові фільтр-преси безперервної дії, які відрізняються простою конструкцією, низьким енергоспоживанням і відсутністю потреби в складному допоміжному обладнанні.

Останніми роками особливо широкого поширення набуло центрифугування, що поєднує простоту, економічність та можливість точного регулювання процесу. Принцип роботи центрифуг базується на розділенні суспензій під дією високих відцентрових сил, що виникають у роторі, який обертається. Для зневоднення осадів використовують осаджувальні центрифуги безперервної дії.

У таких центрифугах осад безперервно подається до ротора, де під дією відцентрової сили тверді частинки осідають на його внутрішній поверхні, а рідина відводиться до центральної частини. Це дозволяє розділити осад на тверду фракцію (кек) та рідку (фугат). Після центрифугування вологість осаду становить 60–80%, що значно зменшує його масу й об'єм.

Найпоширенішими є центрифуги марки ОГШ, конструкція яких включає циліндрично-конічний ротор і порожнистий шнек, що обертаються з різними швидкостями. Завдяки різниці у швидкостях шнек повільно переміщує осад до вивантажувальних отворів, тоді як фугат відводиться у протилежному напрямку. Ефективність центрифугування визначається параметрами конструкції, режимами експлуатації та властивостями самого

осаду.

Попри утруднення, пов'язані з подальшим зневодненням фугату, центрифугування вважається найбільш надійним, простим та ефективним методом механічного зневоднення в широкому діапазоні продуктивностей — від 1,4 до 150 тис. м³/добу.

1.3.4. Знезаражування осадів

Осади міських стічних вод містять значні концентрації мікроорганізмів — у тому числі патогенних форм, вірусів, яєць гельмінтів, сальмонел та інших збудників інфекційних захворювань. Тому вони обов'язково мають проходити процедури знезараження. Ефективність знезараження визначають за вмістом у осадах яєць гельмінтів, патогенних і умовно-патогенних бактерій, сальмонел, ентеробактерій та кишкової палички; за потреби проводять аналіз і на інші специфічні збудники.

Обробка осадів може проводитися як у рідкому стані, так і після їх часткового осушування на мулових майданчиках або після механічного зневоднення. Для знезараження застосовують термічні (нагрівання, сушіння, спалювання), біотермічні (компостування), хімічні (внесення хімічних реагентів) та біологічні методи (знищення мікроорганізмів ґрунтовими простішими, грибами та рослинами). Також можливе використання фізичних методів: радіаційного опромінення, ультразвуку, УФ-випромінювання, струмів високої частоти тощо. На практиці найчастіше застосовують термічні, біотермічні й хімічні способи.

Термічне знезаражування. Нагрівання рідких осадів до 100 °С забезпечує повне знищення яєць гельмінтів і значної частини патогенних мікроорганізмів. Більшість патогенних бактерій гине за 5 хв при температурах 52–56 °С, а віруси — протягом 30 хв при 62–74 °С. Термічну стабілізацію зазвичай здійснюють у трубчастих теплообмінниках із використанням пари чи гарячих газів або у спеціальних апаратах заглибленого горіння. При цьому

важливо враховувати, що ефект стабілізації може втрачатися, якщо осад зберігається надто довго перед утилізацією, оскільки можливе повторне розмноження мікроорганізмів.

Хімічне знезаражування. Його застосовують переважно тоді, коли осад планують використовувати як органічне добриво. Як реагенти використовують аміак, тіазон, формальдегід, сечовину. Залишкові концентрації цих речовин запобігають повторному розвитку патогенної мікрофлори та сприяють стабільності обробленого матеріалу. За кордоном (зокрема у США) широкого поширення набуло внесення гашеного чи негашеного вапна. Лужне середовище, яке утворюється при додаванні гашеного вапна, зупиняє процеси гниття та сприяє загибелі яєць гельмінтів. Витримка осаду при $\text{pH} \approx 12,5$ повинна тривати не менше 2 діб. Негашене вапно діє ще ефективніше, оскільки його змішування з осадом супроводжується виділенням тепла, що підвищує температуру маси до 55–70 °C.

Радіаційне знезаражування. Цей метод ґрунтується на обробці осаду прискореними електронами або гамма-промінням у дозах від 1 Мрад, що забезпечує повне знищення патогенних бактерій і яєць гельмінтів. Після такої обробки осад придатний для внесення у ґрунт. Головною умовою є формування рівномірного шару осаду, товщина якого не перевищує глибини проникнення електронів.

Дегельмінтизація осадів. Полягає у знищенні яєць гельмінтів у рідких та механічно зневоднених осадах. Найпростіше проведення процедури в рідких осадах: у них подають гостру пару й перемішують до досягнення температури 60–65 °C.

Біотермічне знезаражування (компостування). Ефективність процесу визначається хімічним складом осадів, наявністю доступних поживних речовин для мікроорганізмів, типом наповнювача, умовами аерації, рівнем перемішування та тепломасообміну. Розроблені різні схеми біотермічної обробки: у штабелях із наповнювачами, у суміші з твердими побутовими

відходами, у біобарабанах сміттєпереробних підприємств, у траншеях із механізованим перемішуванням та аерацією.

У ході біотермічного розкладу органічних речовин осаду відбувається перехід від мезофільної до термофільної фази, що суттєво прискорює біохімічні процеси. Компостування проводять із додаванням наповнювачів — деревної тирси, листя, кори, твердих побутових відходів або сухого осаду. Штабелі зазвичай мають висоту 1,5–3 м (при природній аерації) або до 5 м (при примусовій). Для аерації на основу штабеля укладають перфоровані труби діаметром 100–200 мм; витрата повітря становить 10–25 м³/год на 1 т органічної маси. По периметру облаштовують лотки для збору поверхневого стоку, а верх штабеля вкривають теплоізоляційним матеріалом, щоб уникнути охолодження і запобігти розмноженню мух.

Тривалість компостування — 3–4 місяці. Результатом є сипкий компост, багатий на елементи живлення, речовини, що підвищують родючість ґрунту, та корисну мікрофлору.

При компостуванні суміші осаду та твердих побутових відходів останні попередньо сортують, подрібнюють, вилучають метали. На сміттєпереробних заводах процес може проводитися у спеціальних ферментерах, біобарабанах або механізованих штабелях.

1.3.5. Природні методи зневоднення осадів

До природних способів зневоднення осадів належать:

- борозни, канави та компостні насипи;
- різні типи мулових майданчиків;
- мулові ставки.

Борозни, канави та компостні насипи доцільно застосовувати

переважно на невеликих очисних спорудах. Підсушування у борознах здійснюється шляхом їх наповнення приблизно наполовину рідким осадам. Завдяки контакту з пухким ґрунтом на значній площі поверхні осад висихає протягом кількох днів, після чого борозни заорюють і створюють нові.

Борозни потребують відносно невеликої площі. Наприклад, для підсушування 360 м³ осаду зі вторинних відстійників необхідно близько 1 га землі. За умови подавання осаду раз на десять днів потрібно облаштувати 10 борозен довжиною по 20 м.

Щоб зменшити їхню кількість, можуть використовуватись канали шириною 0,45–0,60 м і глибиною 0,25–0,33 м. Осад у каналі підсихає за кілька днів, після чого її також заорюють. Кількість і площа каналів залежать від тривалості мінералізації осаду. Повторно облаштовувати борозни чи канали на тому самому місці можна лише через 2–3 роки, оскільки проникнення кисню в шар осаду відбувається повільно.

Компостні насипи формують шарами завтовшки 0,10–0,20 м, пересипаючи їх ґрунтом, торфом або іншими пористими матеріалами. Такий прошарок добре поглинає воду, а достатній доступ кисню прискорює мінералізацію. За умови правильного облаштування компостні насипи запобігають забрудненню ґрунту, повітря й підземних вод. Їх розміщують на рівних ділянках, захищених від підтоплення поверхневими водами. Для створення водонепроникної основи зазвичай використовують ущільнену промиту глину завтовшки 0,15–0,30 м. Загальна висота насипу не повинна перевищувати 1,5 м. Тривалість дозрівання компосту залежить від складу та вологості осаду, кліматичних умов і погоди. Готовий компост має рихлу структуру, виглядає як земляний матеріал і не має неприємного запаху.

Мулові майданчики можуть мати різну конструкцію: на природній основі з дренажем або без нього; на штучній (асфальтобетонній) основі з дренажем; каскадні з осаджуванням і поверхневим відведенням води; криті; високонавантажувані; майданчики-ущільнювачі. Їхня робота базується на таких процесах: ущільнення осаду й поверхнєве видалення води, фільтрування

мулової води крізь шар осаду з подальшим її відведенням дренажем, а також випаровування води з відкритої поверхні.

На ефективність зневоднення на мулових майданчиках впливають температура повітря, атмосферний тиск, швидкість вітру, кількість опадів, властивості дренажу та основи, фільтраційні характеристика осадів, товщина шару, що подається, регулярність прибирання підсушеного осаду та наявність технічних засобів для обслуговування й транспортування.

Під час проектування враховують максимальне надходження сонячної радіації та переважаючі напрями вітру, що сприяють випаровуванню. Найчастіше майданчики розміщують за межами території очисних споруд.

Мулові майданчики складаються з окремих карт, обвалованих по периметру. Майданчики на природній основі влаштовують на добре проникних ґрунтах за умови, що рівень ґрунтових вод розташований не менше ніж 1,5 м нижче поверхні карт, і лише тоді, коли допустиме фільтрування мулової води в ґрунт. Якщо рівень ґрунтових вод вищий, необхідне його штучне пониження.

Проектуючи мулові майданчики, рекомендується приймати робочу глибину карт 0,7–1,0 м, ширину верхньої частини валиків — не менше 0,7 м. Ухил розподільних труб визначають розрахунком, але він не повинен бути меншим за 0,01. Кількість карт має становити щонайменше чотири. Осад подається до випусків кожної карти трубами або лотками, які укладають із нахилом 0,01–0,03. Залежно від розмірів карт відстань між випусками становить 10–50 м. Геометричні параметри карт визначають з урахуванням місцевих умов та забезпечення зручності експлуатації: ширина окремих карт — не менше 20 м, довжина — 100–200 м.

Осад, розлитий по картам, зневоднюється переважно завдяки випаровуванню води з поверхні. Частина води додатково інфільтрується у ґрунт. Після підсушування осад збирають бульдозерами або скреперами, завантажують у транспортні засоби та вивозять. Вологість отриманого зневодненого осаду зазвичай становить 75–80 %.

У випадках, коли ґрунти не мають достатніх фільтраційних властивостей або коли проникнення мулової води в землю заборонене санітарними нормами, мулові майданчики облаштовують на штучній водонепроникній основі (глиняній або бетонній), доповненій природним дренажним шаром. Під час зневоднення вода випаровується з поверхні осаду та частково фільтрується через його шар у дренаж, що забезпечує високу швидкість висихання й дозволяє знизити вологість до 80 %.

Ефективність роботи мулових майданчиків значною мірою залежить від дотримання правил експлуатації. Зокрема, при подачі на карту збродженого осаду надто товстим шаром (понад 0,7–0,8 м) гази, що виділяються, спричиняють спливання твердих частинок, формуючи кірку. Вона істотно сповільнює випаровування вологи з нижніх шарів. У тонкому шарі (0,25–0,30 м) розшарування не відбувається.

Майданчики з дренажним шаром мають певні недоліки. Зокрема, виникають труднощі при механізованому збиранні підсушеного осаду. Недостатньо висушений осад під вагою техніки осідає, змішується з піском і засмічує дренаж, через що знижуються його фільтраційні властивості. Це зумовило необхідність пошуку більш ефективних конструктивних рішень.

Перші асфальтовані або асфальтобетонні мулові майданчики без дренажного шару, але з дренажними лотками, були побудовані у США та Великій Британії. Згідно з розробками «Ленгіпрокомунводоканалу», кожен асфальтобетонний майданчик має розміри 40 × 20 м. Уздовж нього прокладають два дренажні лотки, довжина яких приблизно на 15 м менша за довжину самої карти, що дозволяє техніці вільно пересуватися, не пошкоджуючи дренаж. Дренажна основа складається з 20-сантиметрового шару піску крупністю 2 мм, під яким розташований 20-сантиметровий шар гравію, а ще нижче — шар крупної гальки, насипаної на бетонну плиту. За даними американських дослідників, такі дренажі забезпечують інтенсивніше висихання осаду, а кольматацію верхнього піщаного шару завтовшки 3–4 см легко усунути періодичним розпушуванням на глибину 5–6 см.

У регіонах із тривалими зимами, частими дощами або суворими санітарними вимогами застосовують криті мулові майданчики. Їх споруджують за типом теплиць — із верхніми та боковими зашкеленими рамами. Використання таких споруд може бути економічно виправданим, оскільки їхня площа у 3–4 рази менша за площу відкритих майданчиків, хоча їхня вартість приблизно у три рази вища.

Мулові майданчики-ущільнювачі проектують глибиною до 2 м у вигляді прямокутних резервуарів-карт із водонепроникним дном та стінками. Їх робота ґрунтується на здатності осадів розшаровуватися у стані спокою: знизу формується шар ущільненого осаду, над ним — шар мулової води, а зверху — кірка. Мулову воду періодично відводять на різних рівнях за допомогою системи шибєрів, вмонтованих у стінки карти. Такий принцип дає можливість швидко видаляти надлишкову воду та інтенсифікувати зневоднення осаду, який у результаті підсихає до вологості 76–88 %.

Рекомендовані розміри карт майданчиків-ущільнювачів становлять: ширина 9–18 м, довжина 36–66 м; відстань між точками випуску мулової води — 18 м. Для забезпечення механізованого збирання підсушеного осаду карти оснащуються пандусами. Існують типові проекти таких споруд — ТП 902-2-74 та ТП 902-2-75.

Мулові ставки (лагуни) являють собою природні заглиблення, занедбані балки або спеціально обваловані ділянки, у які подають осади стічних вод з метою їх підсушення, подальшого видалення або використання. У багатьох країнах мулові ставки застосовують досить широко, попри значну площу, яку вони займають. Під час їх проектування слід враховувати глибину залягання ґрунтових вод — їх рівень має бути нижчим за дно ставка.

Розрізняють одноступінчасті та двоступінчасті мулові ставки. Розміри одноступінчастих можуть становити 100 × 100 м або 100 × 200 м. Для багатоступінчастих типові параметри становлять 50 × 100 м до 70 × 140 м.

Осад подається на карту одним або двома випусками. Перепуск рідкого осаду та води на наступну ступінь здійснюється за допомогою конструкції

типу «монах», розташованої на протилежному боці від точки подачі. Після накопичення у ставку шару підсушеного осаду завтовшки 0,8–1,0 м і більше його виводять з експлуатації на 2–3 роки. Протягом цього часу відбувається дегельмінтизація та додаткове висихання осаду, після чого ставок очищують.

Для остаточного видалення осадів застосовують глибокі мулові ставки, які після заповнення засипають шаром ґрунту завтовшки 20–40 см. У таких умовах осади перегнивають упродовж 5–6 років.

1.3.6. Термічне сушіння та спалювання осадів

Термічне сушіння осадів — це процес видалення вологи шляхом її випаровування з подальшим відведенням утвореної пари. До термічного сушіння зазвичай спрямовують осади, попередньо зневоднені на фільтр-пресах, вакуум-фільтрах або центрифугах. У результаті сушіння отримують порошкоподібний чи гранульований продукт із вологістю 5–30 %. Такий осад не загниває, не має неприємного запаху, добре транспортується та зручний для подальшої утилізації.

Існують різні методи термічного сушіння: конвективний, радіаційно-конвективний, контактний, сублімаційний, а також сушіння в електромагнітному полі. Найбільш поширеним є конвективний метод, під час якого теплова енергія передається осаду безпосередньо теплоносієм. Як сушильний агент можуть використовуватися гаряче повітря, перегріта пара або топкові гази. Найбільш ефективним є застосування топкових газів, оскільки робоча температура процесу становить 500–800 °С, що дозволяє зменшити габарити обладнання та витрати енергії на транспортування відхідних газів.

Будь-яка сушильна установка включає сушильний апарат та допоміжні компоненти: топку з системою подачі палива, подавач, циклон, скруббер, тягодуттєві пристрої, конвеєри, бункери, засоби автоматизації й контролю. Основний сушильний апарат складається з топки, барабанної сушильної

камери та вентиляційного пристрою. Завантажувальна камера розташована з боку надходження топкових газів, а розвантажувальна — з протилежного боку. Відпрацьовані гази відводяться вентилятором.

Барабан сушарки встановлений під кутом 3–4° до горизонту і приводиться в рух електродвигуном через редуктор та вінцеву шестерню. Серійні барабанні сушарки мають діаметр 1–3,5 м та довжину 4–27 м. Температура вхідних топкових газів становить 600–800 °С, вихідних — 170–250 °С. Осад переміщується барабаном завдяки його обертанню та потоку газів. Частота обертання — 1,5–8 хв⁻¹.

Щоб запобігти налипанню осаду на внутрішні стінки барабана та забезпечити його рівномірне перемішування і подрібнення, всередині підвішують «корабельні» ланцюги. Це дозволяє завантажувати в сушарку осад із вологістю 75–80 %. Після сушіння вологість продукту становить 20–30 %, а сам осад стає стабільним, не містить патогенних мікроорганізмів і яєць гельмінтів.

Спалювання осадів

Спалювання застосовують у випадках, коли утилізація осаду неможлива, економічно недоцільна, коли відсутні території для складування або цього вимагають санітарно-гігієнічні умови. Щоб зменшити витрати енергії, до спалювання спрямовують осади, попередньо зневоднені механічними методами.

Процес спалювання включає такі стадії:

1. **Нагрівання** до 100 °С
2. **Сушіння** при 100–200 °С
3. **Горіння** при 200–500 °С
4. **Прожарювання** при 700–1050 °С для повного вигорання залишків вуглецю
5. **Охолодження**

У сучасній практиці використовують три основні типи установок: барабанні печі, печі з киплячим шаром та багатоподові печі.

Барабанні печі переважно застосовуються на очисних спорудах Франції, Німеччини та Великобританії. Вони мають ті самі недоліки, що й барабанні сушарки: низьку теплову та питомо-механічну продуктивність, значні витрати палива, низький ККД (до 30 %), великі габарити, значну металоємність, швидкий знос футерування та високу вартість будівництва й експлуатації.

Печі з киплячим шаром широко застосовуються за кордоном завдяки своїм перевагам: компактності, простоті автоматизації, відсутності рухомих механізмів у зоні горіння, високому ККД (60–70 %), а також можливості спалювати осади з різним складом та вмістом мінеральних домішок. Процеси сушіння та горіння в них поєднані та проходять дуже інтенсивно. Основним недоліком є висока запиленість димових газів, що потребує складних систем очищення.

Багатоподові печі відзначаються простотою експлуатації, проте мають вагомі недоліки: великі розміри, високу вартість спорудження та швидкий знос скребкових механізмів.

1.3.7. Стабілізація осадів

Стабілізація (мінералізація) осадів проводиться для запобігання їх загниванню, зменшення маси сухої речовини за рахунок розкладання частини органічних компонентів, а також для покращення водовіддачі.

Основними способами стабілізації є:

- мінералізація органічної частини осаду шляхом аеробного окислення, анаеробного зброджування, біотермічних процесів, теплової обробки або рідкофазного окислення;
- підвищення рН до лужних значень внесенням вапна чи інших лужних реагентів;
- застосування сильних окисників (хлору, гіпохлоритів натрію чи кальцію, перманганату калію тощо);

- висушування осаду.

Аеробна стабілізація

Аеробна стабілізація відбувається шляхом тривалої аерації надлишкового активного мулу (ущільненого або ні), а також його суміші з сирим осадом первинних відстійників. У результаті тривалого окиснення осад втрачає здатність до загнивання. Встановлено, що біохімічному розпаду піддається 65–80 % органічної частини активного мулу та близько 60 % — сирого осаду. Жири розкладаються на 65–75 %, білки — на 20–30 %, тоді як кількість вуглеводів практично не змінюється.

Конструктивно аеробні стабілізатори схожі на аеротенки, хоча процес можливий і у відкритих резервуарах. На малих очисних спорудах частіше застосовують стабілізатори повного змішування, проте найефективнішими є споруди типу аеротенків-витискувачів. Після стабілізації осад витримують 1,5–5 годин у спеціальних ущільнювачах або виділеній відстійній зоні самого стабілізатора. Вологість ущільненого осаду становить 96,5–97,5 %. Мулова вода з ущільнювачів (до 100 мг/л завислих речовин і БПКповн до 200 мг/л) повинна направлятися знову в аеротенки (СНиП 2.04.03-85).

Аеробна стабілізація знижує вміст патогенних мікроорганізмів: кількість кишкової палички зменшується на 70–99 %, відбувається інактивація вірусів, але яйця гельмінтів зберігаються. Тому такі осади можна використовувати як добриво лише після дегельмінтизації.

Переваги аеробних стабілізаторів:

- проста конструкція та експлуатація;
- відсутність вибухонебезпечних умов;
- покращення водовіддачі осадів;
- низька чутливість до токсичних домішок, важких металів і ПАР.

Недоліки:

- високі витрати електроенергії на аерацію;
- необхідність подальшого знезараження;

- зниження ефективності взимку через охолодження осаду.

Анаеробна стабілізація

Анаеробна стабілізація передбачає розклад органічних речовин до метану, вуглекислого газу та інших продуктів за участю анаеробних бактерій (*Bacillus*, *Micrococcus*, *Pseudomonas*, *Clostridium*, а також метанових бактерій *Methanococcus*, *Methanobacterium*, *Methanospirillum*, *Methanosarcina* тощо).

Результативність процесу залежить від складу осаду, температури, тривалості зброджування, органічного навантаження, концентрації сухої речовини та режиму перемішування. Зброджування здійснюється в септиках, двоярусних відстійниках, освітлювачах-перегнивачах та метантенках.

Септики забезпечують одночасне освітлення стічних вод і зброджування осаду, що робить їх простими в експлуатації та ефективними за видаленням завислих речовин.

Двоярусні відстійники також поєднують освітлення стічних вод і анаеробне зброджування сирого осаду, надлишкового активного мулу чи біоплівки. Вони широко застосовуються, але мають недоліки: велику глибину споруди та сильне ущільнення осаду до вологості близько 85 %, що уповільнює зброджування.

Освітлювачі-перегнивачі мають розділені камери освітлення та бродіння, що унеможливорює надходження зброженого осаду в зону освітлення. Це дозволяє знизити концентрацію завислих речовин у стічній воді на 70 %, а БСКповн — на 15 %. Перемішування в камері перегнивання прискорює процеси, запобігає утворенню кірки та надмірному ущільненню.

Метантенки застосовують для зброджування сирого осаду, надлишкового мулу чи їх сумішей. На відміну від попередніх споруд, вони працюють при підвищених температурах (33 або 53 °C), оснащені системами перемішування та дозволяють утилізувати біогаз, що робить процес більш інтенсивним та контрольованим.

1.3.8. Використання осадів стічних вод як добрива

Питання застосування осадів стічних вод як добрива широко розглядається в науковій літературі. Існує низка дисертаційних робіт, у яких зазначається, що зневоднений осад (кек) за вмістом основних поживних елементів не поступається органо-мінеральним добривам. Основними обмежувальними чинниками його використання є наявність патогенних мікроорганізмів, підвищених концентрацій важких металів та інших нормованих елементів. За результатами окремих досліджень, в осаді міститься 21 елемент, з яких дев'ять контролюються країнами Західної Європи та США при застосуванні осадів у сільському господарстві. У зразках кеку також не виявлено таких небезпечних для людини та рослин токсичних речовин, як кадмій, ртуть і миш'як.

Було проведено дослідження впливу кеку на ріст і розвиток райграсу посівного (*Zolium peremex*) з метою оцінити можливість його використання для рекультивації порушених територій та створення газонних покриттів. Аналіз біометричних показників рослин показав, що збільшення дози внесеного кеку сприяє інтенсифікації росту райграсу: підвищується густина стояння та швидкість накопичення органічної маси. Проте тривале внесення підвищених доз має пригнічувальний ефект. Так, при нормі 100 т/га маса окремої рослини вдвічі більша, ніж при 200 т/га, тоді як густина травостою за норми 100 т/га є нижчою у два рази. Це підтверджує доцільність застосування кеку під час рекультивації девастрованих земель.

Подібні дослідження щодо гігієнічної оцінки можливості використання осадів Львівських очисних споруд для аграрних потреб проводилися у Львівському національному медичному університеті ім. Д. Галицького. Основне завдання полягало у визначенні допустимості або недоцільності застосування таких осадів у землеробстві. Для дослідження готували спеціальний ґрунт і формували три експериментальні ділянки.

- На першу ділянку вносили осад після центрифугування у нормі 50 т/га.

- На другу — осад, витриманий 1,5 року, у нормі 30 т/га.
- Третю ділянку залишали контрольним варіантом.

На всіх трьох ділянках вирощували овес, забезпечуючи оптимальні умови: освітленість 8000 лк, світловий день 12 годин, температура 16–20 °С, відносна вологість повітря 50–60 %.

Аналіз результатів показав, що максимальна доза осаду (50 т/га) спричинила виражений фітотоксичний ефект — пригнічення проростання та росту рослин. Доза 30 т/га проявила слабший токсичний вплив, але при цьому зафіксовано надмірне надходження до рослин фтору, свинцю, кадмію, миш'яку та марганцю у кількостях, що перевищують гранично допустимі концентрації. Використання меншої дози—10 т/га—потребує додаткових досліджень, рішення щодо яких має приймати адміністрація ЛМКП «Львівводоканал».

1.3.9. Вермикультивування та призначення біогумусу

Останніми роками в аграрній практиці спостерігається активний перехід від інтенсивної хімізації до біологізованих систем землеробства, здатних забезпечувати екологічно чисту продукцію без шкоди для довкілля. Одним із таких сучасних підходів є вермикультивування — технологія промислового отримання біологічного гумусу за участю червоних дощових черв'яків, насамперед каліфорнійського штаму, яка спершу поширилася у США, а згодом — у багатьох країнах світу.

Біогумус, продукт життєдіяльності цих черв'яків, значно перевершує за якістю традиційні компости, а за ефективністю — у багато разів гній сільськогосподарських тварин. Його основна перевага полягає в тому, що вирощена на біогумусі продукція не накопичує нітратів, нітритів і важких металів, що є особливо цінним для виробництва дитячого, дієтичного та органічного харчування. Вчені звертають увагу на унікальність біогумусу: він містить повний набір елементів живлення рослин у збалансованих,

оптимальних співвідношеннях. Крім того, у ньому присутня значна кількість корисної мікрофлори, ферментів, стимуляторів росту й інших біологічно активних речовин, які прискорюють проростання насіння, покращують укорінення розсади, підвищують імунітет рослин та сприяють очищенню ґрунту від токсинів і патогенів. Це робить біогумус особливо ефективним для тепличного господарства, де високі рівні вологості та недостатня аерація часто призводять до ослаблення рослин. Біогумус формується у сотні разів швидше, ніж природний гумус, має пролонговану дію (3–4 роки) та в десятки разів ефективніший за традиційний гній.

У межах Львова та області накопичуються значні обсяги органічних відходів — як побутових, так і виробничих (деревообробних, молочних, пивоварних, консервних, м'ясних, дріжджових, цукрових і паперових підприємств). У традиційних системах поводження з відходами вони переважно потрапляють на звалища, забруднюючи довкілля. Натомість їх можна повністю утилізувати за допомогою черв'яків, отримуючи цінне органічне добриво без формування шкідливих залишків. Внесення біогумусу та самих черв'яків у ґрунт є також ефективною протиерозійною технологією.

В Україні у вермикультурі найчастіше використовують *Eisenia foetida* та червоний каліфорнійський гібрид. Під загальною назвою «дощові черв'яки» об'єднують кілька груп класу олігохет, що не утворюють єдиної таксономічної категорії, але мають подібні морфологічні та екологічні риси. На території України найпоширеніші представники родини Lumbricidae, яка налічує близько 180 видів, з них приблизно третина зустрічається у нашій країні. Серед них для вермикультивування придатними є кілька видів: *Eisenia foetida*, його підвиди *E. f. foetidae* та *E. f. andrei*, дощовий черв'як *Lumbricus veneta* та інші.

У результаті селекції була отримана високопродуктивна популяція *Eisenia foetida*, здатна ефективно переробляти свіжий курячий послід, збагачений іншими органічними компонентами. Порівняльні дослідження показали, що цей вид перевершує каліфорнійський гібрид та інші

досліджувані форми за швидкістю адаптації до послідних субстратів і загальною продуктивністю.

Останнім часом у землеробстві простежується тенденція до відмови від надмірної хімізації на користь біологічних методів, які забезпечують отримання екологічно чистої продукції та не спричиняють забруднення довкілля. Одним із напрямів такого екологізованого підходу стало вермикультивування – технологія промислового виробництва органічного добрива (біогумусу) за участю дощових черв'яків. Вперше ця система була впроваджена у США, після чого швидко поширилася в багатьох країнах світу.

Біогумус, що утворюється в процесі життєдіяльності черв'яків, значно перевершує за ефективністю традиційні компости і в десятки разів – гній сільськогосподарських тварин. Його головна перевага полягає в тому, що продукція, вирощена на цьому добриві, практично не містить нітратів, нітритів та важких металів. Це робить біогумус особливо цінним для виробництва дитячих, дієтичних та екологічно чистих продуктів.

Науковий інтерес викликає той факт, що біогумус містить повний спектр елементів живлення у пропорціях, оптимальних для рослин. Крім цього, він насичений корисною мікрофлорою, ферментами, природними стимуляторами росту та іншими біологічно активними речовинами. Завдяки цьому біогумус:

- прискорює проростання насіння;
- підвищує приживлюваність розсади;
- зменшує вразливість рослин до хвороб;
- сприяє очищенню ґрунту від токсичних речовин і патогенної мікрофлори;
- особливо ефективний у тепличних умовах, де надмірна вологість і слабе освітлення пригнічують рослини.

Біогумус утворюється у сотні разів швидше, ніж природний гумус, і забезпечує істотне підвищення родючості ґрунтів. Його дія триває 3–4 роки і за ефективністю він у десять разів перевищує звичайний гній.

Проблема органічних відходів та можливості їх перероблення

На території Львова та області накопичуються значні обсяги органічних відходів, які часто потрапляють на офіційні та стихійні сміттєзвалища, у ліси та на поля, погіршуючи екологічний стан довкілля. Подібні відходи утворюються як у приватних господарствах (гній, фекалії, рослинні рештки, зіпсовані овочі та фрукти), так і на підприємствах різних галузей: деревообробної, пивоварної, молочної, м'ясної, консервної, дріжджової, цукрової, паперової та ін.

Вермикультивування дає змогу повністю переробляти ці відходи у цінне органічне добриво без утворення шкідливих залишків, на відміну від інших методів утилізації. Внесення біогумусу або запуск дощових черв'яків у ґрунт є також дієвим засобом протиерозійного захисту.

Черв'яки, що застосовуються у вермикультивуванні

В Україні нині використовують переважно *Eisenia foetida* та червоний каліфорнійський гібрид. Під назвою «дощові черв'яки» об'єднують представників кількох родин класу олігохет, які відрізняються певними морфологічними та екологічними особливостями. Більшість видів, поширених в Україні, належить до родини Lumbricidae, яка включає близько 180 видів, з яких приблизно третина трапляється на території нашої держави.

Із родини люмбрицид для вермикультивування придатні кілька видів, серед яких:

- *Eisenia foetida* та його підвиди *E. f. foetidae*, *E. f. andrei*;
- *Lumbricus veneta*;
- деякі інші види.

У результаті селекції була отримана популяція *Eisenia foetida*, здатна ефективно трансформувати свіжий курячий послід у поєднанні з іншими органічними компонентами.

Порівняльні дослідження показали, що цей вид має вищу продуктивність і коротший період адаптації до субстрату на основі курячого посліду, ніж каліфорнійський гібрид або звичайні гнойові черв'яки.

1.4. Мікроміцети в антропогенних екотопах

Подібно до бактеріальних угруповань, ґрунтова мікобіота чутливо реагує на інтенсивний антропогенний вплив. Різні форми забруднення відображаються на чисельності мікроміцетів, їх видовому різноманітті та співвідношенні еколого-трофічних груп. Найбільшу стійкість до високих концентрацій токсичних речовин і важких металів проявляють саме мікроскопічні гриби.

У науковій літературі накопичено чимало екологічних досліджень, присвячених поширенню мікроміцетів у техногенно трансформованих ґрунтах. Зокрема, вивчення мікобіоти ґрунтів поблизу мідеплавильного комбінату на півдні Швеції показало суттєве забруднення ґрунтів міддю, цинком і свинцем до рівня 20 мг/л на відстані 1,5 км від джерела забруднення. Зі зростанням вмісту металів кількість видів *Penicillium* і *Oidiodendron* зменшувалася, натомість частіше траплялися *Paecilomyces farinosus*, *Geomyces rannorum* та представники роду *Mortierella*. У ділянках із сильним забрудненням міддю і цинком реєстрували види *Aspergillus* і *Penicillium* (*A. terreus*, *A. ustus*, *A. alliaceus*, *P. funiculosum*, *P. vermiculatum*, *P. oxalicum*, *P. corylophyllum*), а також *Trichoderma koningii* та *Mucor racemosus*.

Поблизу промислових підприємств, у ґрунтах з підвищеним вмістом іонів міді, цинку та заліза, домінували представники родів *Cladosporium*, *Tritirachium*, *Alternaria*, *Sporotrichum*, *Peyronellaea*, *Coniothyrium*, *Torula*, *Asteromyces*, *Pithomyces*, *Aureobasidium*, *Nigrospora*, *Diplodia* та *Gliomastix*. Більшість із цих грибів — меланінвмісні, що свідчить про адаптивну реакцію мікобіоти на токсичні впливи.

Подібні закономірності встановлено й у місцях видобутку залізної руди в Кривбасі, де ґрунти містять підвищені концентрації іонів заліза, ванадію, алюмінію та інших металів. Найчастіше тут траплялися *Cladosporium*, *Penicillium* та *Aspergillus*. Крім того, в криворізьких відвалах було виявлено

активне накопичення грибної біомаси; саме гриби та бактерії виступали ключовими компонентами цих екосистем, де вони фіксували CO₂ та зв'язували важкі метали, сприяючи природній рекультивації субстратів.

Дослідження впливу міді, свинцю та цинку на ґрунтову мікрофлору показали, що в умовах забруднення змінюється як видовий склад, так і чисельність дейтероміцетів. У зразках чорнозему, відібраних подалі від промислових об'єктів, було ідентифіковано 20 видів мікроміцетів із 8 родів. У контрольних ґрунтах переважали *A. flavus*, *A. fumigatus*, *Oidiodendron majus*, *P. funiculosum*, *P. tardum* та *T. koningii*. Після внесення 1000 мг свинцю кількість видів скоротилася до 16, а серед домінантів залишилися лише *A. flavus*, *A. fumigatus*, *P. funiculosum* і *P. tardum*. Автори припустили, що гриби не лише адсорбують іони важких металів, але й вступають із ними у складні біохімічні взаємодії, пов'язані зі зв'язуванням металів із ферментами та біополімерами клітини.

Протягом останніх років активно досліджували ґрунти північних районів (Соловецькі острови, о. Діксон, о. Вайгач, Земля Франца-Йосифа). Після обробки цих ґрунтів заводськими стоками видовий склад грибів змінювався за рахунок появи *Fusarium*, *Chrysosporium pannorum*, *Acremonium strictum*, *Scopulariopsis* та *Candida*. Одночасно збільшувалася кількість меланінвмісних форм, серед яких було виявлено види, типові для умов із високим вмістом ртуті (*Chrysosporium pannorum*) та міді (*Aureobasidium pullulans*, *Scytalidium* sp.).

Загальна чисельність мікроскопічних грибів у ґрунтах, забруднених важкими металами, може навіть зростати, хоча видовий склад істотно змінюється. Грибні угруповання формуються в основному з толерантних до токсичного навантаження видів. Уже на ранніх етапах сукцесій спостерігаються значні зміни, на основі яких визначають групу видів — індикаторів забруднення. Наприклад, за концентрацій ртуті 50 мкг/кг (що в понад 300 разів перевищує фоновий рівень) із дев'яти видів контрольних зразків зберігалися лише *Trichoderma viride* та *Mucor plumbeus*, тоді як

Aspergillus ustus і *A. niger* демонстрували різке зростання чисельності. Таким чином, сильне забруднення призводить до зниження видової різноманітності та домінування обмеженої кількості толерантних мікроміцетів.

За умов значного забруднення ґрунту свинцем (перевищення фону у 50–200 разів) зменшується частка домінантів, зокрема *Chaetomium globosum*, тоді як кількість стійких видів (*Monocillium indicum*, *A. flavus*) помітно зростає. Загалом забруднення промисловими викидами спричинює порушення структури ґрунтових мікроценозів. У найбільш забруднених ділянках переважають меланінвмісні гриби.

Термін «індустріальний меланізм» використовується для опису переважного поширення темнопігментованих форм організмів у регіонах зі значним техногенним навантаженням. Одними з перших його прикладів були темнозабарвлені форми сонечок *Adalia bipunctata* у районі Бірмінгема та березовий п'ядун у промислових зонах Англії. Аналогічна тенденція спостерігається і серед грибів: пентакетидний меланін *Cladosporium cladosporioides* здатний сорбувати іони Zn^{2+} , Hg^{2+} , Cr^{3+} , La^{2+} , Pb^{2+} і Th^{3+} , що підтверджує роль меланінвмісних мікроміцетів у детоксикації техногенних екосистем.

2. МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

2.1. Мікологічний аналіз осадів стічних вод

Об'єктами дослідження слугували осади стічних вод Львівських міських очисних споруд:

- осад після оброблення флокулянтом серії «Цетаг» та зневоднення на комплексі обладнання «ФАБ-Міні» (фірма Allied Colloids, Німеччина) з використанням центрифуги ОГШ-502К;
- осад, що зберігався на мулових майданчиках упродовж трьох років.

2.1.1. Методика відбору проб

Відбір проб осаду здійснювали залено від строку його витримування на мулових майданчиках. Як контроль використовували зразки ґрунту зі Стрийського парку.

Проби осаду та ґрунту відбирали з поверхневого шару на глибині 5–8 см. Перед висіванням зразки розводили десятикратно. Ґрунтові суспензії висівали у чашки Петрі, заливали відповідним живильним середовищем та інкубували в термостаті протягом 10 діб при температурі 25–27 °С. Як живильне середовище застосовували підкислений сусло-агар із додаванням антибіотиків.

Ідентифікацію мікроміцетів проводили за морфолого-фізіологічними ознаками відповідно до загальноприйнятих українських та міжнародних визначників.

Упродовж дослідження було відібрано понад 10 проб осаду. Встановлено 41 вид грибів, що належать до трьох класів (*Zygomycetes*, *Ascomycetes*, *Deuteromycetes*) та родини *Dematiaceae*.

2.1.2. Метод визначення коефіцієнта схожості (за Соренсеном–Чекановським)

Для оцінювання ступеня флористичної подібності між різними екотопами використовували коефіцієнт схожості Соренсена–Чекановського, який обчислюється за формулою:

$$S = \frac{2 \cdot C}{A + B} \cdot 100\%,$$

де

C – кількість спільних видів у двох порівнюваних екотопах;
A, B – загальна кількість видів, властивих кожному з екотопів окремо.

Різницю між мікофлорами двох екотопів вважали достовірною, якщо значення коефіцієнта було меншим за 50 %.

Кількість грибних пропагул у 1 г сухого ґрунту визначали за формулою:

$$\hat{a} = \frac{\acute{a} \cdot \hat{a} \cdot \tilde{a}}{\ddot{a}},$$

де

a – кількість грибних пропагул на 1 г сухого ґрунту;

b – середня кількість колоній у чашці;

v – розведення, з якого здійснювали посів;

g – кількість мілілітрів суспензії, висіяної в чашку;

d – маса сухого ґрунту, відібраного для аналізу.

2.1.3. Метод визначення частоти трапляння видів грибів

Для кожного виду грибів визначали частоту трапляння, що характеризує їхню приуроченість до певного екотопу. Показник частоти обчислювали окремо для кожного виявленого виду.

2.1.4. Метод кореляційних плеяд

Метод кореляційних плеяд передбачає обчислення парних кореляцій між ознаками та побудову умовної моделі «кореляційного циліндра», вертикальна вісь якого відображає абсолютні значення коефіцієнтів кореляції, що зростають знизу догори. Якщо уявно виконати розтин цього циліндра на різних рівнях ($r = 0,1$; $r = 0,5$ тощо), то на кожному рівні формується «кореляційне кільце».

Розміщуючи ознаки по колу та з'єднуючи корельовані між собою пари лініями (хордами), отримуємо графічне представлення грибних комплексів. На нульовому рівні всі характерні для угруповання ознаки зв'язані між собою. Із підвищенням рівня розтину кількість кореляційних зв'язків поступово зменшується, і стають помітними основні угруповання — плеяди. Характер і швидкість цього процесу є специфічними для кожної вибірки. Ступінь втрати зв'язків оцінюють через коефіцієнт гомогенності (E), який відображає частку збережених зв'язків відносно їх загальної кількості.

Плеядою вважають групу ознак, що зберігають між собою сильні кореляційні зв'язки ($r \geq 0,6$). Отже, метод полягає у визначенні парних кореляцій між ознаками об'єкта, побудові кореляційних кілець на рівні $r = 0,5$ – $1,0$, виділенні плеяд та аналізі їх внутрішньої структури.

Для кожного з родів (або видів) грибів, виявлених у досліджуваних середовищах, визначали частоту трапляння. Кореляційні плеяди будували з урахуванням тривалості утримування осаду на очисних спорудах.

Отримані результати подано графічно у вигляді секторних діаграм та схем кореляційних плеяд (рис. 2.1–2.10), що дозволило виділити структуроутворюючі роди (види), відповідальні за формування окремих грибних комплексів. Плеяди, які відрізнялися за будовою та складністю, поєднували види з подібною реакцією на дію певного екологічного чинника.

Статистичну обробку результатів та всі необхідні розрахунки виконували за допомогою спеціалізованої комп'ютерної програми,

розробленої Ю. С. Садовніком (Інститут мікробіології та вірусології НАН України).

2.2. Хімічний аналіз осадів стічних вод

Зразки осаду відбирали з поверхневого шару глибиною 5–8 см. Перед проведенням аналізу видаляли сторонні включення, висушували матеріал протягом 3–4 днів при кімнатній температурі, подрібнювали у фарфоровій ступці та просіювали крізь сито з діаметром комірок 0,1 см.

Дослідження вмісту металів здійснювали згідно з методикою «Ґрунти. Відходи. Методика виконання вимірювань масової частки металів атомно-абсорбційним методом», використовуючи атомно-абсорбційний спектрофотометр С-115-М1.

2.3. Застосування вермикультури для утилізації осадів

Для досліду з каліфорнійським черв'яком використовували пластикові ємності з дренажними отворами на дні. Посудини наповнювали наполовину осадом різного строку витримання, після чого додавали аналогічну кількість суміші біогумусу з вермикультурою. Для забезпечення оптимальних умов розмноження та росту черв'яків додавали подрібнену соломку і щоденно зволожували вміст ємностей до завершення експерименту.

Життєздатність вермикультури в осадах різного віку оцінювали лабораторним методом: з кожного варіанта відбирали 1 г осаду, досліджували його під мікроскопом і за кількістю личинок визначали рівень виживання черв'яків.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1. Результати мікологічного аналізу осадів стічних вод

Мікологічний аналіз осадів є важливим етапом дослідження, оскільки дозволяє вивчити їх видову структуру та оцінити потенціал для подальшої утилізації. Дослідження мікроміцетів дозволяє виявляти індикаторні види, що сигналізують про наявність різних забруднювачів, а також знаходити штами з активними деструктивними властивостями щодо органічних сполук та іонів важких металів.

Специфічні комплекси мікроміцетів у техногенних екотопах можуть слугувати надійним показником антропогенного впливу на навколишнє середовище. Встановлено, що видовий склад мікроміцетів суттєво змінюється залежно від екологічних умов, що простежувалося при порівнянні осадів різного терміну утримування та контрольного ґрунту.

Як показано в таблиці 3.1, характерними для всіх досліджуваних середовищ були світлозабарвлені представники **Mortierella isabellina**, а також меланінвмісні види **Rhizopus nigricans**, **Penicillium nigricans**, **P. notatum**, **Aspergillus niger**, які вирізняються високою стійкістю до забруднення та здатні заселяти різні екотопи.

Найменш різноманітним за видовим складом виявився осад після цеху зневоднення, де було виявлено лише 14 видів мікроміцетів. У той же час аналогічна кількість видів (28) була виявлена в осадах з терміном утримування 2 та 3 роки, а також у контрольному ґрунті.

Для контрольного ґрунту було характерне значне різноманіття видів родів **Penicillium** (6 видів) та **Aspergillus** (5 видів), а також представників класу **Zygomycetes** (*Mortierella isabellina*, *M. ramanniana*, *Rhizopus nigricans*, *R. oryzae*, *Mucor hiemalis*). В окремих випадках були зафіксовані види **Aspergillus sydowii**, **A. ustus**, **Fusarium culmorum**, **F. moniliforme**, **F. merismoides**, **Mycelia sp.**, що зустрічалися лише в цьому середовищі.

Щодо осаду після цеху зневоднення, то в ньому виявлено унікальний вид **Sclerotium sp.**, який, за даними літератури, витісняє характерні для екотопу види та відповідає за знешкодження специфічних забруднень.

Спільним видом для осаду після цеху зневоднення та осаду з терміном утримування 6 місяців є меланінвмісний представник родини **Dematiaceae** – **Myrothecium verrucaria**.

Таблиця 3.1 - Видовий склад мікроміцетів у п'яти вивчених середовищах

Найменування класів, родів і видів	Осад після цеху зневоднення	Осад, термін утримання якого 6 міс.	Осад, термін утримання якого 2 роки	Осад, термін утримання якого 3 роки	Конт- рольний ґрунт
1	2	3	4	5	6
Клас Zygomycetes					
Mortierella isabellina Oudem	+	+	+	+	+
Mortierella ramanniana (Moller) Linnem.var ramanniana Evans	-	-	+	+	+
Rhizopus nigricans Ehrenb	+	+	+	+	+
R. oryzae Went and Prin	-	+	+	+	+
Mucor hiemalis Wehmer	-	-	-	+	+
M. silvaticus Hagem	-	-	+	+	-
Клас Ascomycetes					
Chaetomium globosum Kunze: Steud	-	-	+	+	-
Клас Deuteromycetes					
Родина Moniliaceae					
Trichoderma koningii Oudem	-	+	+	+	+
T.viride Pers :Gray	-	-	+	+	+

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5	6
<i>Botrytis cinerea</i> Pers : Cocca et Ballo	-	-	+	+	+
<i>Verticillium album</i> (Preuss)	-	-	+	+	+
<i>Verticillium digitatum</i> (Pers:St.-Am) Sacc.	-	-	+	+	-
<i>P. jensenii</i> Zaleski	-	-	+	+	+
<i>P. cyclopium</i> (Westing) Sams., Stolk et Hadlok	+	+	+	-	-
<i>P. nigricans</i> Bain.:Thom	+	+	+	+	+
<i>P. notatum</i> Westl.	+	+	+	+	+
<i>P. ochro-chloron</i> Biaour	+	+	+	-	-
<i>P. expansum</i> Lk:Gray	-	+	+	+	-
<i>P. corylophilum</i> Dierckx	-	-	-	+	+
<i>P. lividum</i> Westl.	-	-	-	+	+
<i>P. luteum</i> Zukal.	-	-	-	+	+
<i>Aspergillus candidus</i> Lk:	-	-	+	+	+
<i>A. niger</i> v. Tiegh	+	+	+	+	+
<i>A. sydowii</i> (Bain. Sart) Thom et Chmch	-	-	+	+	+
<i>A. ustus</i> (Bain) Thom	-	-	-	-	+
<i>Sclerotium</i> sp.	+	-	-	-	-
Родина Tuberculariaceae					
<i>Fusarium sambucinum</i> Fuck	-	-	+	+	+
<i>F. culmorum</i> (W. G. Sm.) Sacc	-	-	-	-	+
<i>F. moniliforme</i> Sheld	-	-	-	-	+
<i>F. merismoides</i> Corda	-	-	-	-	+

1	2	3	4	5	6
Родина Dematiaceae					
<i>Myrothecium verrucaria</i> et (Alb.Schw.) Ditm.:Steudel	+	+	-	-	-
<i>Torula herbarum</i> Pers.:	-	+	+	+	+
<i>Humicola</i> sp.	+	+	+	-	-
<i>Alternaria alternata</i> (Fr.)Keissl	-	+	+	+	-
<i>Aurobasidium pullulans</i> (d By) Arnaud	+	+	+	-	+
<i>Cladosporium cladosporioides</i> (Fres.) de Vries	+	+	+	+	-
<i>Doratomyces stemonitis</i> (Pers.:Steud) Morton	-	+	+	+	+
<i>Phomopsis meliloti</i> Grove	+	+	+	-	-
<i>Mycelia sterilia</i> (dark)	+	+	+	+	-
<i>Mycelia</i> st. (w.)	-	-	-	-	+

Загалом, видовий склад осаду з терміном утримання 6 місяців (19 видів) не був значно різноманітнішим порівняно з осадом після цеху зневоднення; переважну частину становили меланінвмісні види, здатні витримувати високий рівень забруднення середовища.

Порівнюючи осади з термінами утримання 2 та 3 роки, виявлено велику кількість спільних видів. Серед них – майже всі представники класу **Zygomycetes** (крім **Mucor hiemalis**), а також види класу **Ascomycetes** родини Moniliaceae (**Trichoderma koningii**, **T. viride**, **Botrytis cinerea**, **Verticillium album**, **Penicillium digitatum**, **P. jenseni**, **P. nigricans**, **P. notatum**, **P. expansum**, **Aspergillus candidus**, **A. niger**), представники родини Tuberculariaceae (**Fusarium sambucinum**), а також види родини **Dematiaceae** – **Torula herbarum**, **Alternaria alternata**, **Cladosporium cladosporioides**, **Doratomyces stemonitis**, **Mycelia sterilia**.

Таким чином, результати свідчать, що видовий склад осаду після цеху зневоднення та осаду з терміном утримання 6 місяців значно бідніший порівняно з осадами більш тривалого зберігання.

Для всіх видів було визначено частоту зустрічання (таблиця 3.2). В осаді після цеху зневоднення домінуючими (частота >50%) були **Penicillium ochrochloron**, **Sclerotium sp.**, **Myroecium verrucaria**, **Aureobasidium pullulans**, **Mycelia sterilia (dark)**. У 6-місячному осаді найбільше навантаження припадало на **Humicola sp.**, **Alternaria alternata**, **Mycelia sterilia (dark)**. Аналогічна картина спостерігалася в осаді з терміном утримання 2 роки, де домінували **Humicola sp.** та **Mycelia sterilia (dark)**.

В осаді з терміном утримання 3 роки та в контрольному ґрунті не було видів із частотою стрічання понад 50%, проте види **Humicola sp.** та **Alternaria alternata** залишалися значущими, з частотою відповідно 48,2% та 47,8%.

Таксономічний аналіз досліджуваних осадів і ґрунту демонструє наявність мікроміцетів, що здатні адаптуватися до екстремальних умов.

Таблиця 3.2 - Еколого-таксономічна характеристика видів в екстремальних екотопах

Вид	Частота стрічання, q ²				
	Екотопи				
	Осад після цеху зневоднення	Осад, термін утримання якого 6 міс.	Осад, термін утримання якого 2 роки.	Осад, термін утримання якого 3 роки	Контрольний ґрунт
1	2	3	4	5	6
<i>Rhizopus nigricans</i> Ehrenb	36,8	37,4	39,5	27,4	10,5
<i>Mortierella isabellina</i> Oudem	25,4	28,6	25,5	38,5	15,6
<i>Penicillium cyclopium</i> (Westing) Sams., Stolk et Hadlok	48,4	43,9	41,7	-	-

<i>P. nigricans</i> Bain.:Thom	25,6	34,5	34,7	35,3	12,4
<i>P. notatum</i> Westl.	37,2	30,3	37,5	29,4	15,6
<i>P. ochro-chloron</i> Biaour	54,2	48,4	47,6	-	-
<i>Aspergillus niger</i> v.Tiegh	29,7	37,6	27,5	19,8	10,4
<i>Sclerotium</i> sp.	57,1	-	-	-	-
<i>Myrothecium verrucaria</i>	54,6	49,6	-	-	-
<i>Humicola grisca</i>	44,8	43,6	41,6	-	-
H.sp.	-	54,1	57,2	48,1	14,4
<i>Torula hebarum</i> Pers.:	34,7	33,2	21,6	-	-
<i>Aureobasidium pullulans</i> (de By) Arnaud	57,2	39,3	29,4	-	8,4
<i>Alternaria alternata</i> (Fr.)Keissl	-	57,2	49,3	47,7	-
<i>Doratomyces stemonitis</i> (Pers.rSteud) Morton	-	47,2	44,1	37,2	15,8
<i>Phomopsis meliloti</i> Grove	43,5	38,4	33,6	-	-
<i>Mycelia sterillia</i> (dark)	50,2	51,3	51,1	37,4	-

Кореляційний аналіз п'яти досліджуваних середовищ показав, що в осаді після цеху зневоднення сформувалися відносно примітивні лінійні комплекси та комплекси типу «трикутника», представлені переважно меланінвмісними видами (*Myrothecium verrucaria*, *Sclerotium* sp., *Aureobasidium pullulans*, *Mycelia sterilia* (dark), *Phomopsis meliloti*) (рис. 3.1 а, б).

В осаді з 6-місячним терміном утримання сформувалися більш складні грибні комплекси, представлені плеядами типу «зірки» (рис. 3.2), у складі яких також домінували меланінвмісні види (*Penicillium cyclopium*, *Doratomyces stemonitis*, *Alternaria alternata*, *Humicola grisca*, *Torula herbarum*), але спостерігалось і представлення світлозabarвленого виду (*Penicillium nigricans*).

Осад з терміном утримання 2 роки характеризувався ще більш складними структурами грибних угруповань – плеядами типу «конверт» та «поламаної зірки» (рис. 3.3 а, б).

На відміну від грибних угруповань у осаді після цеху зневоднення, угруповання у 3-річному осаді та в контрольному ґрунті були більш високоорганізованими, представленими плеядами типу «конверт» (рис. 3.4 б) та структурами «сітка-зірка» і «розетка» (рис. 3.5 а, б).

Варто відзначити, що в ґрунті спостерігалася значно більша кількість світлозabarвлених видів (*Penicillium lividum*, *P. luteum*, *Aspergillus candidus*, *Fusarium moniliforme*, *F. merismoides*, *Penicillium jenseni* – рис. 3.5 а; *Mortierella isabellina*, *Rhizopus nigricans*, *Mucor hiemalis*, *Botrytis cinerea*, *Aspergillus candidus*, *Penicillium corylophilum* – рис. 3.5 б) порівняно з осадами.

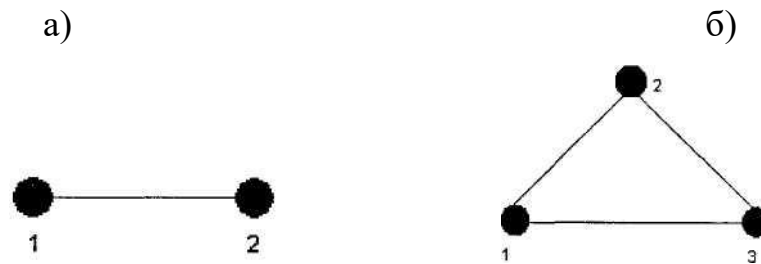


Рис. 3.1. Комплекси мікроміцетів в осаді після цеху зневоднення.

1. *Myrothecium verrucaria*
2. *Sclerotium* sp.
3. *Phomopsis meliloti*

1. *Mycelia sterilia* (dark)
2. *Aurobasidium pullulans*

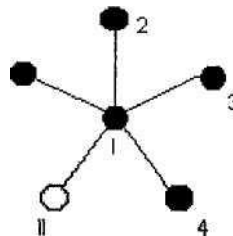


Рис. 3.2. Комплекси мікроміцетів в осаді, термін утримування якого 6 місяців

- I. *Penicillium cyclopium*
- II. *P. nigricans*
1. *Doratomyces stemonitis*
2. *Alternaria alternata*

3. *Humicola grisca*
4. *Torula herbarum*



Рис. 3.3. Комплекси мікроміцетів в осаді, термін утримування якого 2 роки

0. *Torula herbarum*
1. *Humicola grisca*
2. *Alternaria alternata*
3. *Penicillium cyclopium pullulans*
4. *P. ochro-chloron*
5. *P. nigricans*
6. *Doratomyces stemonitis*
7. *Phomopsis meliloti*
8. *Mycelia sterilia* (dark)
9. *Aspergillus niger*

1. *Humicola sp.*
2. *Humicola grisca*
3. *Alternaria alternata*
4. *Aurobasidium*



Рис. 3.4. Комплекси мікроміцетів в осаді, термін утримування якого 3 роки:

1. *Penicillium notatum*
2. *Mortierella isabellina*
3. *Rhizopus nigricans*

1. *Verticillium album*
2. *Alternaria alternata*
3. *Chaetomium globosum*
4. *Trichoderma viride*

5. Cladosporium cladosporioides

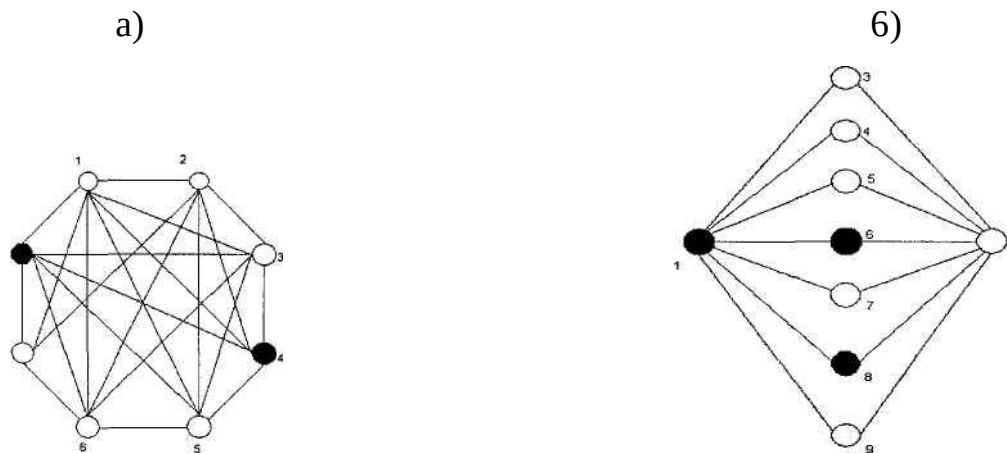


Рис. 3.5. Комплекси мікроміцетів в контрольному ґрунті.

1. Mortierella isabellina
2. Rhizopus nigricans
3. Mucor hiemalis
4. Torula herbarum
5. Botrytis cinerea
6. Aspergillus candidus
- 7 Penicillium corylophilum
8. Doratomyces stemonitis

- 1 .Aurobasidium pullulans
2. Penicillium lividum
3. P. luteum
4. Aspergillus candidus
5. Fusarium moniliforme
6. Doratomyces stemonitis
7. Fusarium merismoides
8. Torula herbarum
9. Penicillium jenseni

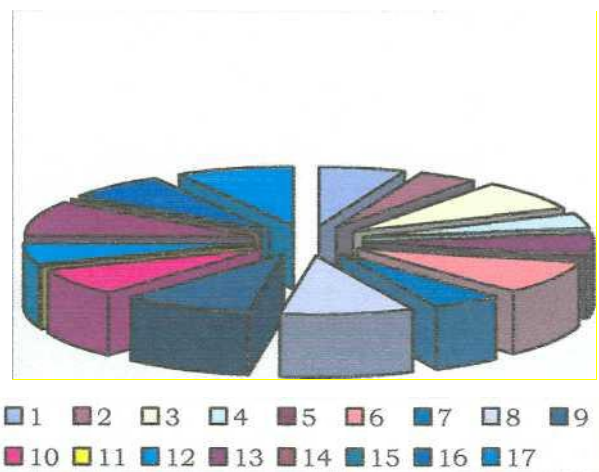


Рис. 3.6. Вміст мікроміцетів в осаді після цеху зневоднення.

1.-Rhizopus nigricans Ehrenb; 2.-Mortierella isabellina Oudem; 3.-Penicillium

cyclopium (Westing) Sams., Stolk et Hadlok; 4.-*P. nigricans* Bain.:Thom; 5.-*P. notatum* Westl.; 6.-*P. ochro-chloron* Biaour; 7.-*Aspergillus niger* v.Tiegh; 8.-*Sclerotium* sp.; 9.-*Myrotecium verrucaria*; 10.-*Humicola grisca*; 11.-*H. sp.*; 12.-*Torula hebarum* Pers.; 13.-*Aurobasidium pullulans* (d By) Arnaud; 14.-*Alternaria altemata* (Fr.)Keissl; 15.-*Doratymyces stemonitis* (Pers.:Steud) Morton; 16.-*Phomopsis meliloti* Grove; 17.-*Mycelia sterillia* (dark).

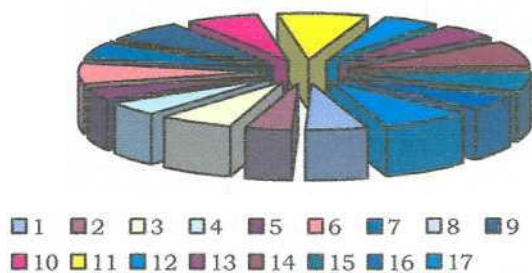


Рис. 3.7. Вміст мікроміцетів в осаді, термін утримування якого 6 місяців.

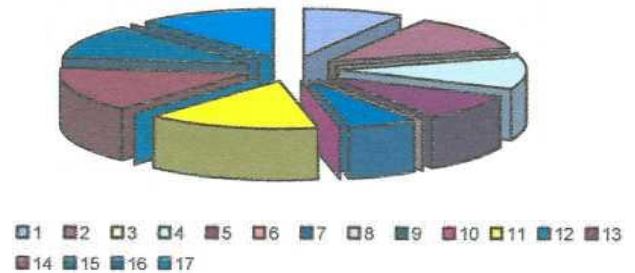


Рис. 3.9. Вміст мікроміцетів в осаді, термін утримування якого 3 роки.

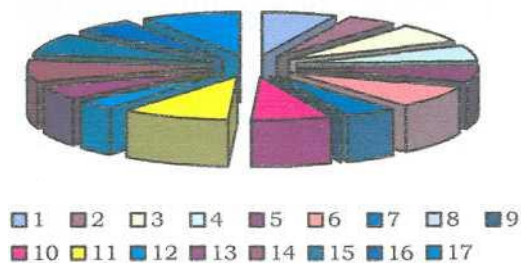


Рис. 3.8. Вміст мікроміцетів в осаді, термін утримування якого 2 роки.

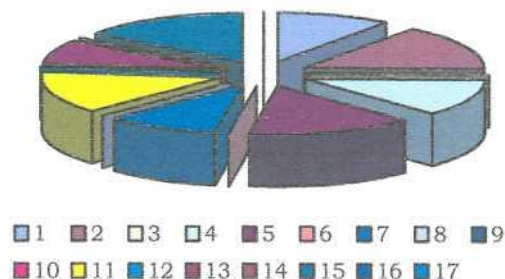


Рис. 3.10. Вміст мікроміцетів в контрольному ґрунті.

Таблиця 3.3 - Порівняння видового складу мікроміцетів осаду після цеху зневоднення та контрольного ґрунту

Найменування класів, родів і видів	Осад після цеху зневоднення	Контрольний ґрунт
1	2	3
Клас Zygomycetes		
Mortierella isabellina Oudem	+	+
Mortierella ramarmiana (Moller) Linnem.var ramanniana Evans	+	+
Rhizopus nigricans Ehrenb R. oryzae Went and Prin	+	+
Mucor hiemalis Wehmer	-	+
M. silvaticus Hagem	-	-
Клас Ascomycetes		
Chaetomium globosum Kunze: Steud	-	-
Клас Deuteromycetes		
Родина Moniliaceae		
Trichoderma koningii Oudem	-	+
T.viride Pers :Gray	-	+
Botrytis cinerea Pers : Nocca et Ballo	-	+
F. culmorum (W. G. Sm.) Sacc	-	+
F. moniliforme Sheld	-	+
F. merismoides Corda	-	+
Родина Dematiaceae		
Myrothecium verrucaria et (Alb.Schw.) Ditm.:Steudel	-	-
Cladosporium cladosporioides (Fres.) de Vries		
Torula herbarum Pers.:	-	+
Doratomyces stemonitis (Pers.:Steud) Morton	+	-
Altemaria alternata (Fr.)Keissl	-	-
Humicola sp.		

Verticillium album (Preuss)	-	-
Mycelia sterilia (dark)	-	+
Phomopsis meliloti Grove	+	
Penicillium digitatum (Pers:St.-Am) Sacc.	+	-
P.cyclopium (Westing) Sams.,Stolk et Hadlok	-	+
Mycelia st. (w.)	-	+
P. notatum Westl.	-	-
P. jenseni Zaleski	-	+
P. ochro-chloron Biaour	+	-
P. nigricans Bain.:Thom	+	+
P. lividum Westl.	+	+
P. expansum Lk:Gray	-	-
P. corylophilum Diercfx	-	+
A. niger v. Tiegh	-	+
P. luteum Zukal.	-	+
Aspergillus candidus Lk:	-	+
Sclerotium sp.	+	+
A. oryzae (Ahlenburg) Cohx	-	+
A. ustus (Bain) Thom		
A. sydowii (Bain. Sart) Thom et Chruch	-	+
Родина Tuberculariaceae		
Fusarium sambucinum Fuckel	-	+

3.2. Результати хімічного аналізу осадів стічних вод

Згідно з даними таблиці 3.4, у осаді після цеху зневоднення зафіксовано найвищі концентрації металів, таких як мідь, свинець, кадмій, цинк, хром, кобальт, нікель, марганець та залізо. Концентрація кадмію перевищувала ГДК у 20 разів, цинку – у 15 разів, свинцю – у 14 разів, міді – у 4 рази, хрому – майже у 14 разів, кобальту та нікелю – у 2 рази. Вміст марганцю та заліза залишався у межах допустимих норм.

В осаді з терміном утримання 6 місяців перевищення ГДК спостерігалось для цинку (майже у 9 разів), міді (у 3,5 рази), свинцю (у 3 рази) та хрому (у 13 разів).

Зі збільшенням терміну утримання осадів на мулових майданчиках концентрації важких металів помітно знижуються, що, ймовірно, пов'язано з їх вимиванням у підземні води.

Таблиця 3.4 - Результати хімічного аналізу осаdів стічних вод

Термін утриман- ня осаду	Мідь (рухома форма), мг/кг	Свинець (рухома форма), мг/кг	Кадмій (рухома форма), мг/кг	Цинк (рухома форма), мг/кг	Хром (рухома форма), мг/кг	Кобальт (рухома форма), мг/кг	Нікель (валовий вміст), мг/кг	Марганець (валовий вміст), мг/кг	Залізо (валовий вміст), кларки
Після цеху зневод- нення	12,521	82,745	10,231	345,37	81,262	10,712	143,9	298,0	5164,0
6 місяців	10,430	18,293	2,584	198,264	78,379	8,919	52,05	244,2	4112,0
2 роки	1,445	17,654	2,566	148,856	30,943	7,421	31,44	213,6	4036,0
3 роки	0,881	11,464	1,843	54,88	17,498	6,118	26,18	198,2	3760,0
ГДК	3,1	6,1	0,6	22,8	6,1	5,1	85,2	1500,0	35000

3.3. Результати використання вермикультури для утилізації осадів стічних вод

Лабораторний аналіз показав, що в осаді після цеху зневоднення яйця каліфорнійського черв'яка мали темне забарвлення і майже не виживали, тобто «згоряли». Це може свідчити про високий вміст аміаку в осаді.

У осаді з терміном утримання 6 місяців також спостерігався низький рівень виживання черв'яків.

В осаді з терміном утримання 2 роки черв'як розмножувався, але кількість яєць в 1 г осаду залишалася невеликою.

Найсприятливішим середовищем для розмноження вермикультури виявився осад з терміном утримання 3 роки, де спостерігалася найбільша кількість яєць і личинок.

Таким чином, застосування вермикультури доцільне лише для осадів, термін утримання яких не менше 3 років.

4. РЕКОМЕНДАЦІЇ

Для ефективної утилізації осадів стічних вод, на основі результатів досліджень, рекомендується застосовувати червоних каліфорнійських дощових черв'яків у осадах, які перебувають на мулових майданчиках щонайменше 3 роки.

У таких осадах концентрація важких металів значно нижча, ніж у свіжозневоднених, а також достатньо органічної речовини для нормального росту, розвитку та розмноження вермикультури.

Для прискорення процесу перетворення осадів на біогумус доцільно додавати суміш черв'яків і готового біогумусу.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАСЕЛЕННЯ

5.1. Заходи для попередження травматизму

При роботі з атомно-абсорбційним спектрофотометром С-115-М1 слід пам'ятати, що це прилад, який вимагає точності та обережності. Перед вмиканням приладу в мережу необхідно переконатися, що ручки регулювання струму лампи з пустотілим катодом ЛПК, дейтерієвої лампи ДДС і фотопомножувача знаходяться в крайньому лівому положенні, а їх клавіші включення в на положенні вимкнення. Вмикання і вимикання лампи з пустотілим катодом і дейтерієвої лампи необхідно завжди проводити при нульовому струмі. Порушення цього правила може привести до передчасного виходу лампи з ладу.

Також під час роботи потрібно бути особливо обережними при роботі з балонами стиснених газів. В процесі роботи з полум'ям ацетилен-оксид азоту необхідно періодично очищати кінець насадки від нагару, що утворюється, спеціальною металевою пластинкою ЗІП.

Після закінчення роботи необхідно, перед тим, як погасити полум'я, промити систему, розпилюючи дистильовану воду протягом не менше 15 хв.

Для того, щоб уникнути травматизму виробничого характеру в лабораторіях та в польових умовах зі студентами навчальних закладів проводиться ввідний інструктаж про умови роботи і правила внутрішнього розпорядку.

Керівник групи зобов'язаний до виїзду на роботи провести інструктаж своєї групи щодо безпечного ведення робіт.

Персонал хімічних і бактеріальних лабораторій повинен досконало знати, як правильно поводитися з відповідними реактивами і приладами.

Поглиблення та перевірка знань персоналу по правилам поводження з реактивами та забезпечення виконання правил техніки безпеки проводиться один раз в квартал.

Відбір проб води є важливим і відповідальним етапом у всьому комплексі дослідження води. Результат аналізу в значній мірі залежить від правильності відбору проб, стану посуду і способу консервування проб.

Проби відбираються у тих місцях, де є добре перемішування води і відсутнє попадання сторонніх сумішей (осаду, плаваючих домішок).

Для відбору проб води на повний аналіз беруть бутель ємністю 5 дм³ з притертим корком чи пробкою. Для короткого аналізу використовують бутель ємністю 2 дм³. Бутель має бути чисто вимитий і ополіснутий дистильованою водою.

Проба води з відкритої водойми береться в місці водозабору батометрами різної конструкції. Дозволяється відбір проб води бутлем, Пробу беруть на відстані 0,5 - 0,75 м від поверхні і дна водойми і не ближче, ніж 1,5-2 м від берега.

Проби з підземного джерела відбираються в години максимальної витрати води. Із артезіанської свердловини через пробовідбірні крани, не частіше, ніж один раз в квартал.

Проби води із водопровідних кранів здійснюються через 10-15 хвилин після вільного спуску води при повному відкритті крану. Перед відбором проби бутель промивають двічі водою, що відбирається. Бутель заповнюють до верху водою і закривають так, щоб під пробкою залишився невеликий шар повітря. На місці проводиться визначення хлору, озону і запаху.

Відбір проб води оформляється актом, в якому вказується: назва джерела, його адреса, місце і глибина відбору, відстань від берега, об'єм проби, метеоумови при відборі, вид проби, особливі умови відбору, мета відбору, адреса і назва лабораторії, умови транспортування, зберігання, методи консервування, посада, прізвище, ім'я, по-батькові особи, що проводила відбір проб, і її підпис.

Для транспортування проби бутель з водою пакують в ящик чи корзину або в сумку-холодильник.

Доставлену воду рекомендується досліджувати в день відбору проб. У

випадку неможливості проведення аналізу води в день відбору, вода зберігається в охолоджувачі: незабруднена - 72 год; мало забруднена - 48 год.

Консервування проб води має на меті збереження компонентів, що визначаються у воді, і її властивостей у тому стані, в якому вони знаходилися в ній в момент взяття проби. Консервування необхідне особливо в тих випадках, коли компонент, що визначається піддається змінам і коли відповідне визначення не можна провести відразу на місці відбору проби і в цей же день в лабораторії.

Універсальної консервуючої речовини не існує. Для повного аналізу води потрібно відібрати пробу в декілька бутлів, які консервуються різними консервуючими речовинами. Для визначення вмісту деяких компонентів слід брати проби в окремі бутлі для кожного з цих визначень.

Детальні правила відбору і консервування проб повинні бути викладені в технологічних інструкціях в кожній лабораторії.

5.2. Виробнича санітарія та гігієна праці, заходи їх покращення

Виконуючи досліді в лабораторії, лаборанти повинні працювати в спецодязі, що передбачений нормативами. На столах потрібно тримати лише ті реактиви і в таких кількостях, які потрібні безпосередньо для роботи. Тверді реактиви у вигляді порошку чи кристалів зберігаються у скляних банках з притертими корками.

Реактиви, які розкладаються під впливом світла (перманганат калію, реактив Неслера), зберігають у пляшках з темного скла, чи в пакетах з темного паперу.

Реактиви, яким притаманна гігроскопічність (нітрит натрію, фтористий калій), зберігаються в банках, кришки яких заливаються парафіном.

Концентровані кислоти (сірчана, соляна, азотна) зберігаються окремо від інших реактивів у витяжній шафі.

Деякі реактиви, такі, як фтористоводнева кислота, не можна зберігати у

скляній тарі. Для них виробляється тара із ебоніту.

Працюючи з реактивами, потрібно знати їх властивості, особливо, якщо вони отруйні чи можуть утворювати з іншими реактивами вибухові суміші. Всі банки повинні мати етикетки з назвами речовин, які в них зберігаються.

Забороняється використовувати реактиви без точного встановлення їх природи, насипати їх у погано вимитий і недостатньо висушений посуд, висипати назад в банку розсипаний реактив. Після взяття дози для виконання аналізу, кришку банки з гігроскопічною речовиною потрібно запарафінувати.

Працювати з вогнебезпечними і отруйними речовинами особам, які не ознайомлені з правилами користування ними, суворо забороняється.

Працівники, що направляються на роботи в експедиційні умови, повинні обов'язково пройти попередньо медичний огляд. Мета його - встановлення придатності персоналу до польових робіт, які йому доведеться проводити в конкретних фізико-географічних умовах.

Спецодяг і спецвзуття, що видається робітникам повинні утримуватися в абсолютній чистоті. Необхідно ретельно слідкувати за чистотою рук і одягу працівників, які проводять відбір проб для аналізу води. Контроль за особистою гігієною робітників покладається на завідувача лабораторією.

5.3. Протипожежна безпека в лабораторіях

В ЛАБОРАТОРІЯХ ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ:

- прибирати приміщення із застосуванням бензину та інших легкозаймистих рідин;
- оббивати стіни приміщення горючими тканинами;
- проводити відігрівання замерзлих трубопроводів, обладнання та інженерних комунікацій, будинків і споруд пальними сумішами, лампами та іншими засобами із застосуванням відкритого вогню;
- проводити пожежонебезпечні роботи в лабораторіях в той час, коли там проводяться заняття із студентами;

- залишати без нагляду прилади і установки, що є під дією напруги;
- застосовувати електропобутові прилади.

Приступаючи до роботи в лабораторії, необхідно перевірити справність приладів, а також положення тумблерів у виключеній позиції; положення регуляторів напруг; непошкодженість високовольної проводки; наявність заземлень.

Всі роботи проводяться в приміщенні без підвищеної небезпеки: суха струмонепровідна підлога; нормальні кліматичні умови. При роботі з приладами в лабораторії повинно знаходитись не менше двох чоловік.

Для роботи в лабораторії з електроприладами встановлені такі протипожежні вимоги:

- у встановлені терміни проводити перевірку ізоляції кабелів, проводів, надійності з'єднань, заземлень, занулення режиму роботи електродвигунів;
- переносні світильники повинні бути обладнані скляними ковпаками, сітками, застосовувати для таких світильників тільки гнучкі кабелі і провід з мідними прожилками;
- забороняється застосовувати кабель і провід з пошкодженою ізоляцією, що втратила в процесі експлуатації електроізоляційні властивості;
- категорично забороняється застосовувати з метою опалення і приміщень нестандартні (саморобні) нагрівальні електроплитки;
- забороняється користуватися пошкодженими розетками,
- відгалуженими і з'єднуючими коробками;
- установка електроарматура повинна бути ізольована від горючих конструкцій негорючими матеріалами;
- забороняється використовувати рамки, вимикачі, штепсельні розетки і таке інше для підвішування одягу, а також заклеювати їх шпалерами, плівками та іншими синтетичними матеріалами. При роботах

з електрообладнанням в лабораторіях встановлені наступні протипожежні вимоги:

- забороняється застосовувати в навчальних процесах і зберігати речовини і матеріали з невідомими параметрами по пожежній безпеці;
- легковибухові і легкозаймисті речовини (ефір, бензол, спирт) в приміщенні лабораторії повинні знаходитися в кількостях не більше однієї літри в добре закупореній посудині, заповненій не більше, як на $3/4$ об'єму і на відстані від джерела тепла;
- обладнання, апарати і трубопроводи, в яких знаходяться речовини, котрі виділяють вибухові, пожежонебезпечні пари, гази чи порошок, повинні бути герметичні;
- забороняється виконувати операції на обладнанні, установках та верстатах, які можуть спричинити загоряння та пожежу
- температура поверхні обладнання під час роботи не повинна перевищувати температуру навколишнього повітря більше, ніж на $45\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- гарячі поверхні трубопроводів в приміщеннях, в яких вони можуть викликати небезпеку загоряння матеріалів чи вибуху газів, парів, рідин чи порошку, повинні бути ізольовані негорючими матеріалами для пониження температури поверхні до безпечної величини;
- обладнання повинно підлягати технічному ремонту і обслуговуванню згідно з технічними умовами, в терміни, за графіком, затвердженим керівником лабораторії.

Правилами протипожежної безпеки встановлено, що в кожному приміщенні, в залежності від площі, повинна бути певна кількість вогнегасників. В лабораторії, де проводились досліді і загальна площа якої 260 м^2 , кількість вогнегасників має бути рівна трьом. Застосовуються вогнегасники марки ОПУ-5 (порошкові), які є найбільш ефективними в даних умовах, оскільки лабораторія оснащена електроприладами.

ВИСНОВКИ

1. Мікологічний аналіз осадів стічних вод різного терміну утримання на мулових майданчиках дозволив виділити 41 вид мікроміцетів, що належать до трьох класів (*Zygomycetes*, *Ascomycetes*, *Deuteromycetes*) та родини *Dematiaceae*.
2. Найбідніший видовий склад спостерігався в осаді після цеху зневоднення — лише 14 видів, тоді як в осадах терміном утримання 2 та 3 роки та у контрольному ґрунті виявлено по 28 видів.
3. Вид *Sclerotium* sp. зустрічався лише в осаді після цеху зневоднення; за літературними даними, він витісняє характерні для цього екотопу види і бере участь у знешкодженні специфічних забруднень.
4. Для всіх видів досліджуваних середовищ визначали частоту стрічання, а кореляційні плеяди будували з урахуванням терміну утримання осаду на очисних спорудах.
5. У осаді після цеху зневоднення домінуючими видами (частота стрічання >50%) були *Penicillium ochro-chloron*, *Sclerotium* sp., *Myrothecium verrucaria*, *Aureobasidium pullulans* та *Mycelia sterilia* (dark).
6. В осаді з терміном утримання 6 місяців найбільше навантаження несли *Humicola* sp., *Alternaria alternata* та *Mycelia sterilia* (dark).
7. У осаді 2-річного терміну утримання домінували *Humicola* sp. та *Mycelia sterilia* (dark).
8. В осаді з терміном утримання 3 роки та в контрольному ґрунті не спостерігалось видів із частотою стрічання понад 50%, проте слід враховувати, що *Humicola* sp. та *Alternaria alternata* у трирічному осаді мали значне навантаження — 48,2% та 47,8% відповідно.
9. Кореляційні плеяди осадів після цеху зневоднення та осадів терміном утримання 6 місяців і 2 роки формувалися переважно меланінвмісними видами, що свідчить про несприятливий екологічний стан середовища.

10. На відміну від грибних угруповань осаду після цеху зневоднення, у осаді 3-річного терміну утримання та в контрольному ґрунті формувалися більш високоорганізовані угруповання (плеяди типу „конверт”, „сітка-зірка” та „розетка”).

11. Хімічний аналіз показав, що в осаді після цеху зневоднення концентрації кадмію перевищували ГДК у 20 разів, цинку — у 15 разів, свинцю — у 14 разів, міді — у 4 рази, хрому — майже у 14 разів, кобальту та нікелю — у 2 рази.

12. Зі збільшенням терміну утримання осадів на мулових майданчиках концентрації важких металів суттєво знижуються.

13. Застосування червоних дощових черв'яків у осаді після цеху зневоднення неможливе через повну загибель яєць та дорослих особин.

14. Вермикультура ефективна лише для осадів, термін утримання яких не менше 3 років.

15. Для прискорення та підвищення ефективності утилізації осадів стічних вод у майбутньому доцільне поєднання використання вермикультури з додаванням біогумусу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Біланюк Л. М., Патики В. П. Біологічна утилізація відходів і осадів стічних вод : монографія. Київ : Наукова думка, 2008. 256 с.
2. Бойчук І. В. Мікологія : підручник. Київ : Либідь, 2003. 350 с.
3. Воробйова О. І. Мікроміцети ґрунтів України : монографія. Харків : ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2005. 240 с.
4. Гамулька Б. М. Біоконверсія органічних відходів за допомогою вермикультури : навч. посіб. Львів : ЛНУ ім. І. Франка, 2010. 180 с.
5. ДСТУ 4770.3:2007. Якість ґрунту. Визначення грибної мікрофлори ґрунту.
6. ДСТУ 7369:2013. Осади стічних вод. Вимоги до використання в сільському господарстві.
7. Державні санітарні правила і норми щодо поводження з осадами стічних вод. Київ : МОЗ України, 2001.
8. Жуковський О. М. Мікробіологія ґрунтів : навч. посіб. Київ : Академперіодика, 2006. 280 с.
9. Злобін Ю. А. Основи екології. Київ : Лібра, 1998. 248 с.
10. Іванов В. В., Петрук О. М. Біологічні методи очищення та утилізації осадів стічних вод // Вісник аграрної науки. 2012. № 5. С. 45–50.
11. Калетнік Г. М., Присяжнюк О. І. Біотехнології утилізації органічних відходів : монографія. Вінниця : ВНАУ, 2014. 320 с.
12. Коваленко Т. М. Вермикультура як екологічно безпечна технологія переробки органічних відходів // Агроекологічний журнал. 2015. № 2. С. 63–68.
13. Ковальчук В.А. Очистка стічних вод. Рівне: ВАТ «Рівненська друкарня», 2002. 614с.
14. Кравченко В.С. Водопостачання і каналізація. Підручник. „Кондор”, 2003. 288 с.

15. Курдіш І. К. Ґрунтова мікробіологія : навч. посіб. – Київ : Аграрна наука, 2010. – 400 с.
16. Маненко А.К., Іванова О.П. Гігієнічне обґрунтування можливості використання намулу львівських міських споруд по очищенню стічних вод у сільськогосподарському виробництві к добрива /ЛДМУ ім. Д.Галицького. Львів, 2001. 6 с
17. Методи мікробіологічного аналізу ґрунту : метод. вказівки. Київ : НУБіП України, 2009. 76 с.
18. Методичні рекомендації з використання осадів стічних вод у землеробстві. Київ : МінАПК України, 2003. 64 с.
19. Пати́ка В. П., Кононенко М. А. Біологічні основи утилізації осадів стічних вод : монографія. Київ : Урожай, 2005. 240 с.
20. Степанюк В. В., Мащенко І. А. Вермикомпостування та біогумус у сучасних агротехнологіях. Київ : Аграр Медіа Груп, 2011. 180 с.
21. Тітова Л. В. Екологічні аспекти використання осадів стічних вод // Екологія і природокористування. 2016. № 4. С. 112–118.
22. Рекомендаційні матеріали з впровадження вермикультури для виробництва біогумусу і білкової маси червоних дощових каліфорнійських черв'яків / Розробл. Фермерським господарством „Біогумус Помірчого". Львів, 2004.
23. Ядчишин Г.В. Біотехнологія утилізації осадів стічних вод з допомогою мікроміцетів ґрунту та вермикультури // тези доповідей ІХ Міжнар.науково-практ.конф. „Екологія. Людина. Суспільство". К., : НТУУ „КПІГ. 2006. 172с.
24. Edwards C. A., Arancon N. Q. Vermiculture Technology: Earthworms, Organic Wastes, and Environmental Management. Boca Raton : CRC Press, 2010. 600 p.
25. Usmani Z., Sharma M., Gupta P. Fungal Bioremediation of Sewage Sludge // Journal of Environmental Management. 2017. Vol. 203. P. 262–270.

26. Haug R. T. The Practical Handbook of Compost Engineering. Boca Raton : Lewis Publishers, 1993. 718 p.
27. WHO. Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater. – Geneva : World Health Organization, 2006. 196 p.
28. FAO. Use of Sewage Sludge in Agriculture. Rome : FAO, 2007. 122 p.