Бінарна лекція-конференція "Утилізація міських осадів сумісно з виробництвом біодобрив"

План

1. Які є методи утилізації мулу зі станцій біоочищення?
2. Які є типи знезараження мулу термообробкою, якщо такі є?
3. Які є типи мулу?
4. Що далі відбувається з мулом?
5. Які є методи модифікації активного мулу зброджуванням?
6. З якої сировини крім активного мулу та осадів стічних вод можна виробляти біодобрива?

Вступ

Відомо, що на території України зосереджено близько 8% світових запасів чорноземів та інших родючих ґрунтів, однак внаслідок систематичного порушення науково обґрунтованих принципів ведення землеробства природна родючість їх катастрофічно падає. Останні роки землеробство ведеться при різко від'ємному балансі в ґрунті гумусу, азоту, фосфору та калію. Так, за даними фахівців щорічні витрати гумінових речовин за останні 20 років становлять більше 570 кг/га, що перевищує в 1,6 раза цей показник за попередні 80 років.

Світова тенденція компенсації втрат родючості ґрунтів полягала у внесенні мінеральних добрив. Зокрема в країнах західної Європи кількість діючої речовини, внесеної мінеральними добривами, становить більше 300 кг/га при оптимальних співвідношеннях N:P:K. Але такий підхід призводить до надмірної мінералізації ґрунтів, що також сприяє виносу гумінових речовин. Максимальна кількість добрив, яка вносилась в Україні в 1990 р. в перерахунок на діючу речовину становила 140-180 кг/га з оптимальним співвідношення N:P:K, але починаючи з 1996 р. цей показник зменшився в 7 разів і застосовувалися, в основному, азотні добрива. Проблема фосфорних і калійних добрив в Україні поки що є невирішеною. Для задоволення своїх продовольчих проблем в Україні збільшилась розорюваність ґрунтів до 57,3%, що перевищує в 1,5-2 рази цей показник в країнах західної Європи і в 3 рази в США. Для запобігання екологічної катастрофи необхідно зменшити розорюваність ґрунтів на 74%, або на 14 млн. га.

Враховуючи особливість багатофакторних процесів, пов'язаних зі зменшенням інтенсивності виносу поживних і гумінових речовин, доцільно розробляти технології, направлені на утилізацію відходів, що містять компоненти, які можуть бути використані для компенсації втрат родючості ґрунтів. [1]

1. Які є методи утилізації мулу зі станцій біоочищення?

Лектор 1: Мул, який утворюється в результаті тільки аеробного очищення водних стоків, анаеробного очищення чи комбінованої схеми, може бути утилізованим через:

1) поховання у ґрунт;
2) поховання в морі;
3) спалювання;
4) знезараження та використання (пастеризація, термообробка, термофільне зброджування, радіаційна обробка).

У країнах ЄС щорічно утворюється близько 6 Мт мулу (на сухі речовини - с .р.), з яких до 30 % застосовується як добриво в сільському господарстві, що дуже вигідно як з погляду зростання врожайності, так і в плані поліпшення ґрунту.

Зброджений мул зазвичай має вигляд пульпи, містить 5,1 % азоту, 1,6 % фосфору і 0,4 % калію (на с. р.). Доступність мулового азоту для сільськогосподарських культур становить 50-85 %, а фосфору 20-100 % (порівняно з суперфосфатом), що за вмістом цих елементів не поступається гною. У інших типів мулу менше живильних речовин, і вони менш привабливі для фермерів. Жоден з типів мулу не містить значних кількостей калію, тому мул не можна розглядати як комплексне добриво. Проте його використання для підживлення ґрунту сприяє зростанню врожайності. [2]

Лектор 2: Але ж сучасні дослідження, проведені в університеті міста Торонто, показали, що в каналізаційних відходах, використовуваних як добрива для харчових культур, присутня велика кількість кадмію і свинцю. Ці метали можуть бути засвоєні сільськогосподарськими культурами в кількостях, небезпечних для здоров'я людей і тварин. Медичні дослідження вказують на зв'язок між кадмієм і гіпертонічними, серцево-судинними і дихальними хворобами. Свинець може привести до порушення діяльності головного мозку або до смерті.

Сучасне дослідження, проведене у Німеччині, також показало, що за останні декілька років кількість патогенів в необроблених каналізаційних відходах не зменшилася і навіть було відмічено збільшене число випадків захворювання гепатитом, сальмонельозом і бичачим цистеркозом.

Існують значні розбіжності відносно того, в якій мірі аеробний компост високої якості знищує хвороботворні бактерії, присутні в поживному матеріалі (особливо в каналізаційних відходах і, якщо він застосовується, то в побутовому смітті). Одна точка зору, дана в статті, опублікованій в 1974 р. у Німеччині, полягає в тому, що при підвищенні температури до 70°С усі хвороботворні мікроби за тиждень гинуть. У іншій статті того ж року (ФРН) стверджується, що температура від 65 до 70°С, при якій, як правило, відбувається процес компостування, недостатньо висока, щоб знищити усі хвороботворні мікроби, віруси, бактерії і бацили, що знаходяться в смітті і каналізаційних відходах. Проте дослідження процесу розкладання на заводах по виробництву компосту показали, що можуть

утворюватися мікробіологічні речовини, діючі як антибіотики, які вбивають навіть теплостійкі хвороботворні мікроби. Ці антибіотики, очевидно, ефективно працюють після первинного процесу компостування, що триває зазвичай від 3 до 7 діб, в ході так званого процесу витримки. При цьому компост зберігають в штабелях, часто у відкритих, протягом 3 міс. Раніше цей процес вважався допоміжним, проте у зв'язку з отриманими даними він набуває первинного значення.

При використанні каналізаційних відходів для поливу процес витримки відсутній. Було знайдено, що ентеровіруси потрапляють в ґрунт і забруднюють зростаючі в ній овочі.

Паразити можуть також бути рознесені з каналізаційних відходів. Інфекція, що викликається гачкоподібним глистом, поширена майже у всьому світі, була зменшена до дуже малої міри в більшості країн Європи і США. Проте проведенні Агентством охорони середовища в 1971 р. перевірки показали, що два з п'яти зразків маркірованого компосту містили яйця і личинки гельмінтів. Ці результати мають велике значення при використанні таких компостів в районах, де люди ходять босоніж. Личинки проникають через шкіру, проходять печінку і накопичуються в легенях. Зараження гачкоподібним глистом викликає анемічний синдром. Зараження стронгілоїдами має м'яку форму – катаральний ентерит із слизовими виділеннями, проміжні форми – набряклий ентерит і важкі форми – виразковий ентерит. Синдром вісцелярної міграції личинок великого солітера і аскарии спостерігається у дітей у віці від одного до чотирьох років, що їли брудну їжу.

Фекальними відходами людей можуть бути обумовлені наступні хвороби: бактерійні інфекції: тифоїдна лихоманка, паратиф, холера, шигеллоз (бацилярна дизентерія); вірусні інфекції: поліомієліт, віруси Коксаки, інфекційний гепатит (існує багато інших кишкових вірусів), протозоальні інфекції: гістолітична амебна дизентерія; гельмінтози: солітери рибний, бичачий і свинячий, гострик, червоподібна аскарида, власоголов людський, гачкоподібний глист.

Хвороби, обумовлені фекальними відходами тварин, такі: сальмонельоз; інфекції від кишкового протозоа свиней (паразитуюча інфузорія); гельмінтози: свинячий глист, стрічкові глисти тварин і гидатидний черв'як. [3]

***Лектор 1**:* Заходи для усунення іонів важких металів чи мінімізації їх дії на навколишнє середовище вживають у всіх країнах з урахуванням двох *типів токсичної дії:*

1) фітотоксичність, яка знижує кількість і якість урожаю;
2) зоотоксичність, за якої метали накопичуються в рослинах до рівня, що робить їх токсичними до моменту вживання.

У різних країнах найтоксичнішими вважають різні метали, і допустимі межі їх концентрацій різні. У Німеччині встановлена питома концентрація кадмію не вище за 20 мг/кг, в Данії – 8 мг/кг, у Великобританії обмеження на

концентрацію деяких елементів змінюються залежно від типу ґрунту, у який вносять мул.

Швидкість асиміляції для будь-якого елемента [у т с. р./(га в рік)] обчислюється за формулою: $V_{асиміляції}$= [(A-B):C] [1000:D]

Метал *D* – період асиміляції, тобто 30 років	Допустима межа концентрації *A*, кг/га	Загальна концентрація в мулі З, мг/кг	Концентрація елементу в грунті *У*, мг/кг	Швидкість асиміляції, т/(га>год)
Цинк	560	1650	40	9,5
Кадмій	5	34	1	2,7
Свинець	1000	150	30	207,6
Мідь	280	400	15	19,7
Нікель	70	30	10	53,3
Цинковий еквівалент	560	2690	150	2,9

Табл. 1. Швидкість асиміляції різних металів

Допустиму швидкість асиміляції мулу визначають за швидкістю асиміляції найповільнішого елемента, що асимілюється. Передбачається, що після закінчення 30-річного періоду річна швидкість асиміляції стає однаковою для всіх елементів, але цей термін може бути більшим.

З металів найбільше накопичується зоотоксичний кадмій, тому в чинних у США нормативах основна увага приділяється його визначенню. З інших металів мають значення фітотоксичні мідь, цинк і нікель, проте їх токсичність дискусійна, тому у Великобританії використовується концепція цинкового еквівалента, основана на порівняльній токсичності цинку, міді і нікелю, яка дорівнює 1:2:8.

Цинковий еквівалент визначається так: *ЦЕ=Zn+2Cu+8Ni.*

Крім того, токсичність елемента може бути оцінена за методикою, запропонованою науковою групою Девіса, за вимірюваннями довжини коріння, що утворюється спеціальними різновидами кукурудзи та ячменю.

Правильне застосування різних національних норм використання мулу може запобігти забрудненню довкілля як патогенними організмами, так і токсичними елементами.

Лектор 2: Поховання в морі – поширений спосіб у Великобританії, яка скидає у море щорічно понад 107 т вологого мулу. Решта європейських країн менше застосовує цей підхід. Поховання мулу (та інших твердих відходів) у морі регулюється щорічними ліцензіями, які видає Міністерство сільського господарства (у Англії та Уельсі). Ці ліцензії, в яких визначено місця скидання, а також кількість і якість речовини, що скидається, складені так, щоб задовольняти вимоги двох міжнародних угод: Лондонській конвенції і конвенції Осло. Так запобігають необмеженому скиданню токсичних речовин. Будь-яка потенційна дія на навколишнє середовище в морі регулярно контролюється. Ці обстеження здійснюють для того, щоб скидання мулу істотно не впливало на морські організми.

Лектор 1: Процедура спалювання мулу відіграє значну роль у технологіях його ліквідації, використовуваних у деяких країнах Західної Європи (у Франції — 30 % мулу, в Данії – 100 % мулу, у Великобританії широко не застосовується), як додаткове біологічне паливо.

Існують два основні типи установок для спалювання мулу: з декількома печами і з кисневим піддуванням.

У разі утворення великих об'ємів осадів стічних вод, що містять солі важких металів, доцільно використовувати спалювання та інші способи утилізації, наприклад, з отриманням замінників нафти і кам'яного вугілля. Підраховано, що при спалюванні 350 тис. т активного мулу можна отримати паливо, еквівалентне 700 тис. барелів нафти і 175 тис. т вугілля [1 барель – 159 л].

Альтернативний звичайному спалюванню підхід – спалювання біогазу в мулі за допомогою занурених пальників (Великобританія і Німеччина). Експлуатаційні умови в такому реакторі (Великобританія) дають змогу досягти температури 55°С протягом 3 год.

Однією з переваг методу спалювання є те, що отримане паливо зручно зберігати. У разі спалювання активного мулу виділена енергія витрачається на виробництво пари, яка негайно використовується, а при переробці мулу на метан потрібні додаткові капітальні витрати на його зберігання. [2]

2. Які є типи знезараження мулу термообробкою, якщо такі є?

Лектор 2: **Спосіб пастеризації** використовується переважно в Швейцарії і Німеччині, щоб запобігти поширенню *Salmonella* при внесенні мулу на поля. Необхідною умовою нагрівання мулу до 65-70 °С є витримка його при цій температурі протягом 20-30 хв. в апаратах відповідної конструкції.

Процес	Тип процесу	Завантаження, $м^3$/добу	Споживана	
			теплова, $мДж/м^3$	е.
Sulzer	Періодичний		134–160	2,
Alpha	»	30–40	105–147	6,
CFP	»	3–20	120–160	2,
MTS	Напівбезперервний	4–9	–	1,
Alfa Laval	Безперервний	4	130	3,

Табл. 2. Основні параметри процесу пастеризації

Вищий ефект пастеризації досягається при нагріванні осаду до 80-90°С з подальшою витримкою протягом 5 хв. Оскільки концентрована суспензія мулу має високу в'язкість, перед висушуванням її заздалегідь підігрівають. Якщо ж біомаса надалі використовуватиметься як кормова добавка, то необхідна *теплова обробка.* А також необхідні строгий контроль вмісту шкідливих речовин, зокрема отрут, хімікатів, солей важких металів

тощо в готовому продукті і визначення придатності використання його як добрива для сільськогосподарських культур.

Реактори можуть працювати як в періодичному, так і в безперервному режимі, нагрівання зазвичай здійснюється декількома послідовно розташованими теплообмінниками. Теплообмінники також використовуються для охолоджування після закінчення пастеризації, що знижує вартість процесу і дає змогу охолодити мул до температури мезофільного анаеробного зброджування, що необхідно дія запобігання повторному розвитку ентеробактерій.

Як свідчить досвід Швейцарії, пастеризація дає змогу досягти цілком прийнятного рівня чистоти – 100 кл ентеробактерій/г (яйця гельмінтів нежиттєздатні).

Спосіб термообробки вимагає набагато жорсткіших умов, ніж пастеризація, як правило, високий тиск і температура близько 200°С, з метою покращання властивостей мулу перед зневодненням та отримання стабільних й інертних твердих частинок, проте не користується великою популярністю у Великобританії, хоч застосовується у Франції і Німеччині. На установці "Bottrop" мул піддається попередньому нагріванню до температури 195°С під тиском 1,5 МП А та подається на 30 хв. парової обробки в основний реактор.

Лектор 1: Основною проблемою при термообробці є концентрація рідин - до 25 000 мг/л за ХПК, що вимагає поправок при проектуванні основної стадії біоокиснення. Проте здатність стоків до біодеградації після термообробки невелика і тому в них після очищення залишатиметься органічний вуглець.

Термофільне зброджування як аеробне, так і анаеробне, дає змогу досягти значного рівня *знезараження.* Згідно із сучасними теоріями переважаючим процесом знезараження *є* аеробне зброджування, особливо від *Salmonella spp.* (при температурі *54 - 60°С* кількість патогенних клітин в сирому мулі близько *2500 кл* на 100 млн. клітин мулу, а в збродженому вони відсутні). [2]

3. Які є типи мулу?

Лектор 2: Технічні методи обробки мулу зводяться до досягнення певного ступеня зневоднення. Але треба враховувати, що насправді не існує якогось узагальненого *"сирого осаду",* а є цілий ряд осадів з різними характеристиками, зумовленими їх природою і ступенем переробки.

Типи мулу:

1) первинний – утворюється в первинному відстійнику, містить сирі тверді частинки (концентрація *3—4 %* с. *р.);*

2) гумований – надмірна біоплівка з краплинних біофільтрів (типова концентрація 2 %);

3) активний – флокульована біомаса (бактерії та найпростіші), що утворюється при очищенні стічних вод активним мулом (концентрація *8-12* г*/л);*

4) вторинний – активний або гумований мул;

5) спільно осаджений – спільно осаджена суміш первинних і вторинних твердих продуктів, що осіли в первинному відстійнику:

6) сирий – не оброблений жодним способом (іноді первинний або спільно осаджений).

Різні типи сирих осадів стічних вод спочатку не відрізняються високою концентрацією твердих компонентів. Тому згідно із сучасними теоріями утилізації мулу здебільшого необхідно забезпечувати певний ступінь зневоднення ще до початку основних процесів переробки.

Технологічні схеми та способи обробки і подальшого зневоднення органічного осаду і надмірного активного мулу, що утворюються в аеротенках-відстійниках та метантенках, складаються, як правило, із декількох фізико-хімічних стадій. [2]

4. Що далі відбувається з мулом?

Лектор 1: Фізико-хімічні стадії технології обробки осадів:

1) попереднє ущільнення (відстоювання, реагентна обробка, флотація тощо):
2) зброджування або стабілізація, а також кондиціонування органічних осадів термореагентною обробкою;
3) знезводнення;
4) термічна сушка (спалювання).

З метою зневоднювання осади спочатку обробляють у метантенках чи аеробних стабілізаторах, потім піддають механічному зневодненню в гідроциклонах, центрифугах, чи фільтрах, фільтр-пресах, після чого передають на мулові площадки для остаточного висушування.

Технології утилізації осадів стічних вод і надмірного активного мулу:

1) відстоювання стічних вод (первинне, вторинне);
2) реагентна обробка сирого мулу (коагуляція та флотація);
3) термофільне зброджування та стабілізація;
4) загущення осадів та надмірного мулу флотацією *(напірне, електричне);*
5) фільтрування (центрифугування, сепарування, прес-фільтрація);
6) випаровування і висушування осадів;
7) пастеризація мулу;
8) термічна сушка мулу;
9) спалювання осадів та активного мулу;
10) природне висушування мулу.

Лектор 2: Одним з найпростіших способів зневоднення є тривале осадження під дією сили тяжіння – *відстоювання (первинне і вторинне).*

Первинне відстоювання застосовується безпосередньо після скидання стічних вод, яке може здійснюватися як в періодичному, так і у

безперервному режимі, причому для збільшення швидкості осадження в конструкції відстійника може бути передбачений спеціальний пристрій з вертикально встановлених стрижнів.

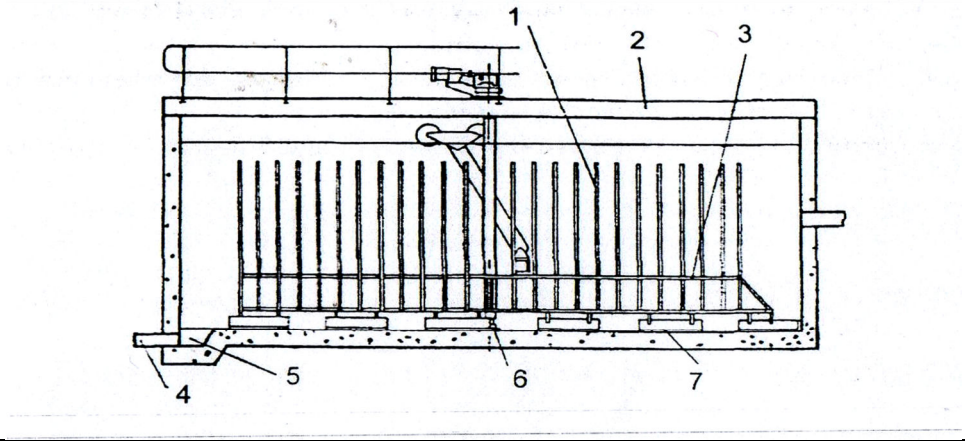

Рис.* 1. *Типовий відстійник, забезпечений вертикально встановленими стрижнями

Концентрація мулу досягається за рахунок тиску верхнього шару осаду, що вичавлює воду з шару твердих частинок.

Вторинне відстоювання застосовується для мулу, який пройшов стадію анаеробного зброджування. Осадовий відмерлий та надлишковий мул, що утворюється *в аеротенках* та *вторинних відстійниках* в результаті біоочищення, має високу вологість 97-98 %.

Для підвищення ступеня вилучення біомаси активного мулу рекомендують вводити в початкову суспензію *мінеральні коагулянти або синтетичні флокулянти.*

Лектор 1: *У метантенках,* що с герметичними циліндричними резервуарами, протягом декількох годин при температурі 33-53 °С відбувається *бродіння мулу.* При обробці в метантенку мул втрачає водоутримуючу здатність, його вологість знижується до 92-94 %. У процесі бродіння виділяється газ, здебільшого метан, з теплотворною здатністю до 5000 ккал/м^3. З 1 кг осаду (за сухою речовиною) утворюється близько 1 м^3 газу густиною 1 кг/м^3.

Лектор 2: В *аеробних стабілізаторах,* які являють собою звичайні аеротенки, активний мул піддасться посиленій аерації протягом декількох діб. Витрата повітря при цьому сягає 2 м^3/год. на 1 м^3 місткості стабілізатора. Вологість мулу після *зброджения та стабілізації* знижується на 2-3 %, він значною мірою втрачає свою водоутримуючу здатність.

Переваги *способу загущення* осадів та надмірного мулу *флотацією* суспензії активного мулу – простота апаратного оформлення способу; незначна тривалість процесу; задовільні показники згущування суспензії активного мулу (*ступінь згущування 3,0-5,0;* не потрібна попередня реагентна обробка.

Лектор 1*:* Доволі значного поширення набула *напірна флотація* для ущільнення надмірного активного мулу. При використанні такого методу

для зневоднення надмірного активного мулу мікробну біомасу можна *згущувати в 305 разів* при достатньо простому апаратному оформленні процесу напірної флотації. Проте втрати мікробної біомаси з освітленою водою мулу у разі згущування активного мулу напірною флотацією у деяких випадках порівняно великі. Для зменшення втрат мікробної біомаси і підвищення ступеня згущування в початкову суспензію активного мулу перед флотацією іноді додають реагенти (наприклад, розчини електролітів або поліелектролітів).

Дослідження показали, що одним з ефективних методів попереднього ущільнення активного мулу є також *електрофлотація* зі ступенем згущування 3-5 при початковій концентрації 0,6-1,0 % абсолютно сухих речовин, а *енерговитрати* становлять близько 1-2 кВт·год на 1 м^3 початкової суспензії (за відповідної щільності струму).

Високоефективним методом згущування осадів стічних вод і надмірного активного мулу є *центрифугування* на неперервнодіючих осаджувальних горизонтальних центрифугах з вивантаженням осаду. Перевага цих центрифуг – висока продуктивність і низька питома витрата енергії і маси. Недоліки – невисокий ступінь згущування осаду, а також швидке зношування шнека і ротора. Переваги способу – простота, економічність і низька вологість згущувального продукту: недолік – велике співвідношення твердої фази з освітленою рідиною (фугатом), що призводить до необхідності додаткової стадії очищення фугату.

Лектор 2: *Технологічна схема комплексного зневоднення активного мулу* з попередньою термореагентною обробкою, ущільненням напірною флотацією і з подальшим згущуванням в центрифугах і сепараторах також вважається перспективною і практичною.

Під час механічного зневоднення вологість осаду може бути знижена до 65-70 %, а об'єм його, порівняно із сирим осадом (вологість 98 %), зменшується у 15-20 разів.

Подальше зневоднення суспензії активного мулу досягається *випаровуванням і сушкою або лише сушкою.* Для висушування надмірного активного мулу й осадів стічних вод рекомендують розпилювальні сушарки, безперервні сушарки струменевого типу і сушарки з інертним псевдозрідженим носієм. Для зневоднення мулу з коагулянтами рекомендується застосовувати сушарку *зі зваженим шаром інертних тіл.*

Найефективнішим технологічним способом зневоднення осадів і надмірного активного мулу, що утворюються під час очищення стічних вод, є термічна сушка. Перспективними є способи, які передбачають використання барабанних вакуум-фільтрів, центрифуг, з подальшою термічною сушкою та одночасною грануляцією, які дають змогу отримувати продукт у вигляді гранул, який не загниває і зручний для транспортування, зберігання і внесення до ґрунту органо-мінерального добрива, що містить азот, фосфор, мікроелементи.

Природне висушування є остаточним висушуванням осаду на *мулових площадках.* Площадки мають вигляд вирівняних ділянок (карт) площею 0,25-

2 га, обвалованих невисокими (0,7-1 м) дамбами. Тут у природних умовах протягом декількох місяців (до року) відбувається висушування і компостування мулового осаду. [2]

5. Які є методи модифікації активного мулу зброджуванням?

Лектор 1: Щорічний приріст біомаси активного мулу досягає декілька мільйонів тонн. У зв'язку з цим виникає необхідність в розробленні таких способів утилізації, які дають змогу розширити спектр застосування активного мулу.

Біологічним процесом стабілізування мулу з метою його розкладу, знезараження або подальшого використання є компостування (перегнивання) мулу. *Компостований муловий осад* є добрим органічним добривом у сільському господарстві. Активний мул особливо багатий азотом і фосфорним ангідридом, мікроелементами – такими як мідь, молібден, цинк.

Мулові осади стічних вод і *надмірний активний мул,* які заздалегідь були піддані обробці, що гарантує подальшу їх стійкість до гниття, а також відсутність патогенних мікроорганізмів і яєць гельмінтів, можуть бути використані як *добриво з очисних споруд,* що має достатньо великий вміст біогенних елементів, а обмеження для застосування можуть бути пов'язані лише з більшим за норму вмістом сполук важких металів. Токсикологічні дослідження таких осадів вказують на можливість переробки сирих осадів і надмірного активного мулу в цементному виробництві.

Відомо доволі багато ефективних і достатньо простих за апаратурним оформленням способів вилучення шкідливих домішок зі стічних вод для усунення можливого впливу токсичних речовин (зокрема важких металів) на ріст рослин і накопичення їх в рослинах і ґрунті.

На державному рівні розробляють регламенти використання аналогічних добрив з очисних споруд. Зокрема, у практиці використання осадів стічних вод у Німеччині за санітарними нормами допускається застосування як добрив тільки таких, що не зашивають, стабілізованих, термічно висушених, компостованих і пастеризованих осадів стічних вод.

Зброджування – метод модифікації та біознезараження мулу (термофільне, мезофільне, анаеробне, аеробне).

Вплив об'ємів мулу на тип зброджування.

Агентство з охорони довкілля встановило, що окиснення 40 % твердих компонентів є показником успішного зброджування 1,23 кг ХПК/кгЛФ та <0,2 кг БПК мулу/кгЛФ.

Оскільки в результаті термофільного аеробного зброджування забезпечується практично той самий ступінь стабілізації мулу, що і у випадку анаеробного зброджування, то:

1) аеробне зброджування мулу слід застосовувати при великих об'ємах перероблюваних відходів (понад 50 000 населення);
2) анаеробне зброджування мулу вигідніше застосовувати за малих об'ємів.

Лектор 2: Почнемо з анаеробного зброджування. *Анаеробне зброджування* (ферментативний процес, в якому кінцеві продукти складаються переважно з діоксиду вуглецю і метану) здійснюється як при знижених, так і при підвищених температурах, хоча найпоширеніше мезофільне зброджування. Характерна особливість цього процесу – необхідність витримки мулу в анаеробних умовах протягом тривалого часу (зазвичай 30 днів) при температурі 30-37 °С і більш-менш нейтральних значеннях *pH*.

У цих умовах зброджування фракції мулу з очисних станцій (ліпіди, вуглеводи, білки) руйнуються спочатку за допомогою гідролітичних та ацидогенних бактерій, а потім метаногенних. Ацетат, водень і діоксид вуглецю можуть виступати як попередники метану. Проте в більшості систем до 70 % метану утворюється з метильної групи ацетату за допомогою ацетофільних метаногенних бактерій (наприклад, *Methanothrix, Methanosarcina spp.).* Гідрогенофільні метаногенні бактерії такі як *Methano-bacterium spp.,* утворюють решту метану з водню і діоксиду вуглецю.

Спрощена схема метаболічного шляху біодеградації полімерів до метану:

Гідроліз – Ацетогенез (Полімери – Мономери – Піруват – Органічні сполуки – акцептори електронів); *Метаногенез* (Метан + вода – гідрофільні метаногени) та (Метан + вуглекислий газ – ацетофільні метаногени).

На цих стадіях також спостерігається симбіоз між різними бактеріями, які беруть участь у ферментації: облігатними відновниками протонів, ацетогенними відновниками протонів і метаногенними бактеріями. Оскільки водень може діяти як інгібітор деяких з цих видів мікроорганізмів, то парціальний тиск водню можна розглядати як регулятор проміжного катаболізму жирних кислот і утворення метану. У такому разі необхідно підтримувати *концентрацію водню* на мінімальному рінні. Якщо мул містить значну кількість сульфатів, то вони можуть бути відновлені в сульфіди за допомогою сульфатвідновлюючих бактерій (наприклад. *Desulphovibrio spp.).* Оскільки ці мікроорганізми конкурують з метаногенами за попередники метану – ацетат і водень, а ефективність споживання цих компонентів у них вища, ніж у метаногенів, то вихід метану зменшується.

Лектор 1: Дві важливі умови, необхідні для повнішого проведення процесу *мезофільного зброджування:*

1) ретельне перемішування;

2) *ефективність систем підведення теплоти.*

Перемішування необхідне для зведення до мінімуму таких процесів, як злипання, осадження великих частинок або утворення піни, а також сприяє видаленню газу і встановленню однакової температури у всьому об'ємі реактора.

Існують два основні *способи перемішування* — за допомогою механічних пристроїв і за рахунок рециркуляції газу. Зазвичай швидкість рециркуляції газу при перемішуванні становить 0,94 $м^3$ вільного газу на 1 $м^2$ площі тенка на 1 год. Для перевірки ефективності перемішування можуть

застосовуватися радіоактивні мітки: тритій – дія водної фази і золото-198 — для твердих компонентів. Витрата енергії на перемішування становить від 2 до 14 Вт/м^3.

Підведення теплоти може здійснюватися або прямим введенням гострої пари, або за допомогою теплоносіїв – як правило, води. У будь-якому випадку для отримання теплоти на початковій стадії процесу зазвичай спалюють деяку кількість біогазу.

При проектуванні установок для зброджування мулу основними параметрами є:

1) час перебування твердих частинок;
2) об'ємне навантаження по леткій фракції твердих речовин.

Окрім того, що існують відмінності між високошвидкісними і звичайними процесами зброджування, значні відмінності параметрів є і у стандартних процесах. Наприклад, значення часу перебування можуть становити від 10 до 30 діб, а навантаження – від 0,48 до 8,5 кг/(м^3·добу). Разом з тим, було показано, що за часу утримування менше ніж 12 діб метаногенні бактерії можуть вимиватися з установки, а при витраті менше за 1,71 кг/(м^3·добу) установка може експлуатуватися як з періодичним, так і з постійним завантаженням.

Тому під час проектування установок для зброджування приймають такі початкові дані – час утримування 20 діб, а витрата — 2 кг/(м^3·добу).

Місткість ферментера можна розраховувати також способом, основаним на обліку еквівалентної кількості жителів *N: $V=1{,}8\cdot 25\cdot 10^{-3}N$.*

У цій формулі кількість мулу на душу населення приймається 1,8 л/добу при вмісті твердих частинок (за сухою речовиною) до 4,5 %, що еквівалентно навантаженню за твердими частками 1,8 кг/(м^3·добу).

У більшості зброджувачів завантажуваний мул зазвичай містить 3-5 % твердих частинок, з яких 75 % – летка фракція. При зброджуванні близько половини всієї ЛФ перетворюється на біогаз, причому середній вихід біогазу становить І м^3 на 1 кг зруйнованих летких компонентів твердої речовини. Порівнюючи різні реактори (наприклад, за продуктивністю і навантаженням), враховують точний реальний об'єм апарата (вводять поправку на зменшення об'єму через накопичення піску, великих частинок тощо, що можуть досягати до 30-50 %).

Лектор 2: Останніми роками особлива увага приділяється *підвищенню продуктивності установок зброджування.* Одним з основних способів досягнення цієї мети є попередня концентрація мулу перед зброджуванням, що уможливлює випуск компактніших зброджувачів, які можуть переробляти більшу кількість мулу з меншим часом перебування твердих частинок, а це дає такі переваги, як збільшення газовиділення і зменшення об'єму мулу на остаточну ліквідацію.

Незалежно від проектування необхідними умовами є регулярний контроль за механізмом процесу зброджування і *підтримка основних параметрів зброджування* у встановлених межах. До основних контрольованих параметрів належать споживання жирних кислот (200-500

мг/л оцтової кислоти), лужність (3500-5000 мг/л гідрокарбонату) і *pH* 7-7.5 (буферна ємність унаслідок взаємодії між амонійними і гідрокарбонатними іонами). При вищій концентрації кислоти проходить інгібування метаногенної активності. Щоб не допустити токсичного впливу лужних металів, враховують гранично допустиму концентрацію натрію 3,5-5 г/л; і калію 2,5-4 г/л.

Крім того, як токсичні агенти, в мулі можуть міститися іони важких металів і хлорпохідні вуглеводнів, що викликають істотне (20 %) інгібування процесу зброджування в концентрації токсичних речовин (на сухі речовини): хлороформ – 15 мг/кг, трихлоретан – 20 мг/кг, чотирихлористий вуглець – 200 мг/кг, кадмій – 2200 мг/кг, мідь – 2700 мг/кг, нікель – 2000 мг/кг, аніонні детергенти – 15000 - 20000 мг/кг.

Кращим способом усунення ксенобіотиків з мулу очисних станцій є обмеження їх концентрації в стічних водах, які подаються на очищення за *постійного контролю за скиданням промислових стоків у каналізацію,* враховуючи, що дія токсичних агентів має адитивний характер, а кожне істотне зниження газовиділення та підвищення вмісту діоксиду розглядають як ознаку потенційних недоліків. Як правило, отриманий при нормальному зброджуванні мулу газ містить 65-70 % метану.

Подальше вдосконалення процесу визначається економічними показниками й ефективністю витрат.

Зокрема, більша частина установок, що працюють у Великобританії, є системами, що складаються з двох тенків, – повністю закритого анаеробного тенка і тенка для остаточного ущільнення, який може бути як закритим, так і відкритим. Зброджений мул порівняно з первинним відстоюється повільніше, тому вторинний зброджувач не може працювати як відстійник через газовиділення і наявність мікробульбашок газу періодичної аерації протягом 2 год. з інтенсивністю 0,5-5 м^3 повітря/(м^3·год), при цьому мул містить 2,5 % твердих частинок. Щоб отримати такий самий ступінь осадження неаерованого мулу, необхідно було б 90-100 діб.

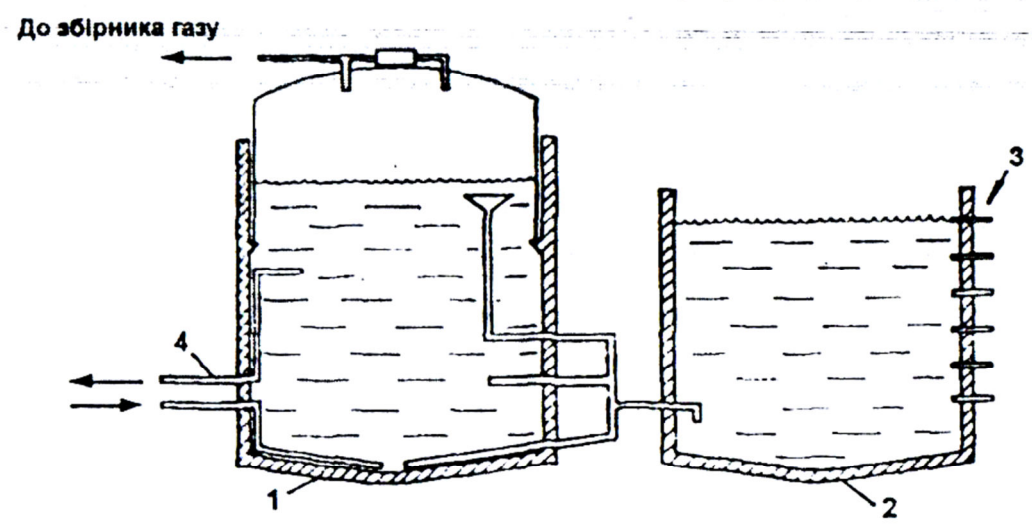

Рис. 2. Типова схема двостадійного зброджування мулу

1 - первинний; 2 - вторинний; 3 - спускові клапани; 4 - обігрів рециркуляцією мулу

Анаеробне зброджування може здійснюватися і в термофільних умовах (50- 55 °С). При такому процесі зброджування закінчується за коротший час і супроводжується вищим газовиділенням порівняно зі звичайною установкою, проте цей процес не мав істотного комерційного успіху і застосовується швидше для дезінфекції.

Лектор 1: Що стосовно аеробного зброджування. Зброджування мулу можливе і в аеробних умовах, головне – добитися стабілізації твердих компонентів при достатньому навантаженні забруднень за умови ретельного перемішування та тривалості аерації, достатньої для окиснення зброджуваних органічних речовин бактеріями з вивільненням енергії зв'язків на нові клітинні структури з ефективністю утримуван**н**я теплоти близько 70 %.

Аеробне зброджування популярне в Північній Америці.

Передумови саморозігрівання (американські науковці Джевелл і Кебрік):

1) у мулі повинна бути значна кількість зброджуваної органіки (6,8-15 кг/м^3 на добу за ХПК), достатньої дія виділення енергії 105-126 кДж/л;
2) ефективність перенесення кисню при аерації чи оксигенації повинна перевищувати 10 % (у біохімічних реакціях має витрачатися понад 10 % кисню, який подається);
3) реактор повинен бути добре ізольований;
4) підвищення температури мулу (від 13-23-37-39 до 40-50 °С) при вивільненні енергії;
5) співвідношення температури і часу перебування мулу повинно перевищувати 150 °С на добу;
6) аерація або оксигенація киснем протягом аеробного зброджування < 1,5 мг O_2/г ЛФ, (3-10 діб).

Останнім часом зростає інтерес до *комбінованих очисних систем,* наприклад, до використання агломерату сорбенту й активного мулу (система біологічно активованого сорбенту) при очищенні промислових стічних вод, яка вважається однією з найефективніших очисних технологій. Так, якщо до складу промислових стічних вод входять різні органічні і неорганічні забруднюючі речовини, то при проектуванні й експлуатації біологічно активної системи враховують стійкість до інгібування забруднювачами біологічних процесів очищення, зокрема, інгібування споживання кисню біоактивним сорбентом за найвищих концентрацій пестициду 3,5-дихлорфенолу (В. Рачмс, Литва). [2]

6. З якої сировини крім активного мулу та осадів стічних вод можна виробляти біодобрива?

Лектор 2: До сучасних напрямків утилізації промислових відходів відносяться розробка технологій одержання органомінеральних добрив.

Так, був запропонований спосіб одержання комплексних добрив «Теллура-М» і «Теллура-БИО» які містять макро- та мікроелементи, корисну мікрофлору, природні біологічно активні речовини, що підвищують захисні властивості рослин.

Фахівцями ЗАТ "Еко-азот" створено комбіновані гранульовані органомінеральні добрива на основі компосту, що містять гумінові речовини, застосування яких дало позитивні результати.

Запропонована технологія одержання гумінових добрив з бурого вугілля Якутії (Ленський басейн) ґрунтується на електрохімічному способі термовилуговування одержання гумінових речовин з бурого вугілля і торфів.

У Сибірському науково-дослідному інституті торфу (Томськ, Російська Федерація) Алексеєвим Т. П., Перфільєвим В. Д., Кріниціним Г. Г. розроблено спосіб одержання органомінеральних добрив пролонгованої дії з домішками сорбенту на основі торфу. Застосування цього методу пов'язано із значними капітальними затратами на розробку родовищ торфу і створення відповідної інфраструктури виробничих комплексів для одержання готової продукції.

Ще одним прикладом розробки цих авторів є органомінеральне гумінове добриво "Дарина". Основою цього добрива є біологічно активні речовини, виділені з екологічно чистої природної реліктової сировини – озерного сапропелю, що складається з високоактивних гумінових кислот, фульвокислот, амінокислот, ферментів, вітамінів і мінеральних елементів.[1]

Дещо інший підхід запропоновано розробниками "Лігногумітів". Гуматизовані органомінеральні добрива з використанням "Лігногумітів Ф" (ГОМД) – це модифіковані гуміновими компонентами типові мінеральні добрива (карбамід, аміачна селітра, суперфосфат, амофос, нітроамофоска, суперфоска, азофоска, сульфоамофос) чи тукові суміші. Використання таких добрив дозволяє підвищити ефективність засвоєння рослинами поживних мінеральних компонентів добрив, знизити енерговитрати при їх внесенні. Разом з тим, ефективність дії цих модифікованих добрив суттєво залежить від природних умов, тому що гумінові речовини, нанесені на добрива у вигляді тонкої оболонки, можуть швидко розчинятись при надмірній вологості, що зумовлює надходження стимулятора росту до рослини в дуже короткі строки. [4]

Фахівцями АТЗТ "Балтконверсія" розроблено технологію обробки сапропелю, що дозволила вводити в добриво макро- і мікроелементи, необхідні для динамічного розвитку рослин (азот, фосфор, калій, мідь, марганець, цинк, молібден)

Лектор 1: Але ж наведені способи одержання органомінеральних добрив не забезпечують рівномірного розподілення компонентів по всьому об'єму гранули.

Добривами нового покоління є гранульовані органомінеральні добрива із змінним співвідношенням поживних та стимулюючих речовин, захищених патентом України. Гранульований продукт, виготовлений згідно з новою технологією, має мінеральні та органічні складові, співвідношення

яких визначається ґрунтовокліматичними умовами їх застосування. Готовий продукт являє собою тверді кулясті частинки діаметром 1,8 - 4,5 мм з рівномірним розподілом компонентів по *всьому об'єму* й механічною міцністю 1,8/2,5 кг/гранулу (4/6 МПа)

Характерною ознакою дія органомінеральних добрив, отриманих на основі переробки сульфату амонію, є поряд із вмістом азоту та інших компонентів наявність сірки (21 %), що дуже важливо при вирощуванні ряду сільгоспкультур, зокрема, бавовни та рису.[1]

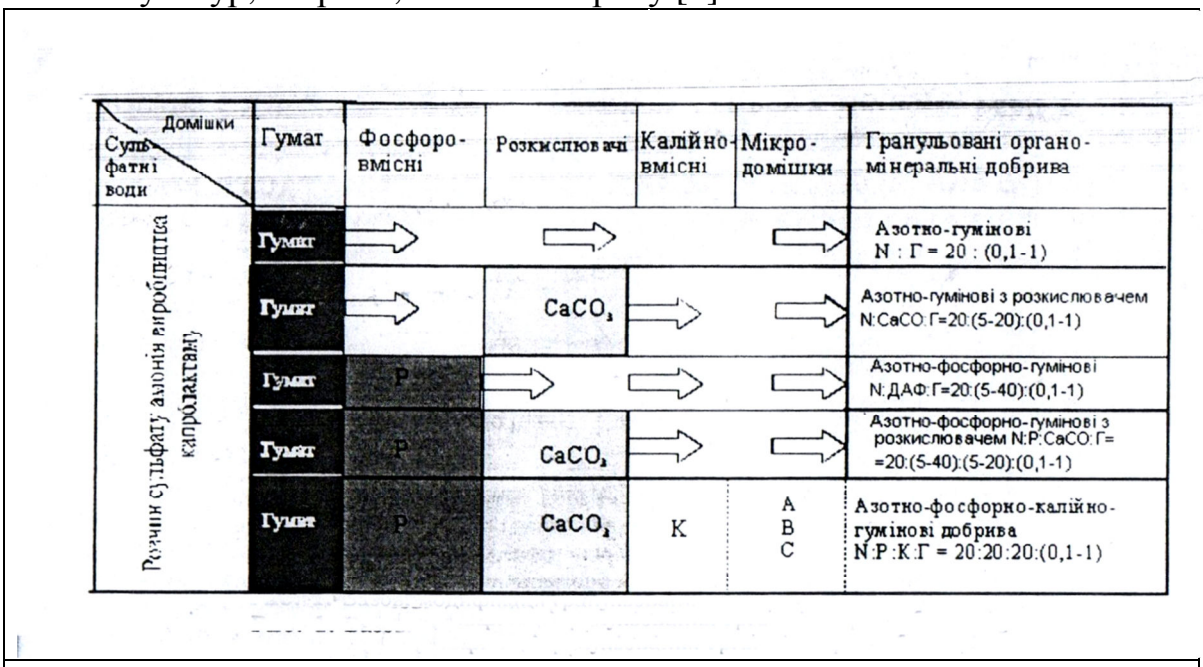

Рис. 3. Базові модифікації гранульованих органомінеральних добрив

З урахуванням рекомендацій фахівців на пілотній установці визначено технологічні умови одержання модифікацій гранульованих органомінеральних комплексних добрив, (рис. 3.). Детальне вивчення впливу різних модифікацій органомінеральних добрив на кількісні та якісні показники врожаю окремих сільськогосподарських культур показало, що приріст врожайності коренеплодів цукрових буряків при застосуванні комплексних органомінеральних добрив становить *52 + 73 %* по відношенню до контролю .[5]

Отже, запропонований спосіб одержання гранульованих органомінеральних добрив дозволяє покращити врожайність сільськогосподарських культур при одночасному запобіганні виснаження ґрунтів. [1]

Висновок

Існує велика кількість способів утилізації активного мулу та осадів що утворились під час відстоювання стічних вод, але доцільнішою, з точки зору вирішення проблем АПК, є використання їх у сільському господарстві як добриво. Це зумовлено великим вмістом у них біогенних елементів. Але

обов’язкова попередня обробка даної сировини для запобігання гниття і знищення патогенних мікроорганізмів.

З метою забезпечення принципів сталого розвитку в Україні доцільно зосередитися на розробці технології й постановки на виробництво нового покоління комплексних органомінеральних добрив з відходів промисловості та вітчизняної гуміновмісної сировини, що забезпечує впровадження принципів раціонального землекористування та підвищення екологічної безпеки в промисловості. Застосування різних способів термічної утилізації промислових та побутових відходів може бути менше після екологічної експертизи проектів з урахуванням наслідків для навколишнього середовища, яке буде визначати якість життя наступних поколінь. [1]

Контрольні запитання

1. Які речовини містить зброджений мул, що робить його привабливим для використання у сільському господарстві в якості добрива?
2. З якими небезпеками може бути пов’язане використання каналізаційних відходів в якості добрива?
3. Які підходи до утилізації мулу використовуються в різних країнах?
4. Яких умов вимагає спосіб термообробки мулу на відміну від пастеризації?
5. За якими параметрами відрізняються різні типи мулу?
6. Як проводиться комплексне зневоднення активного мулу?
7. Що рекомендують вводити для підвищення ступеня вилучення біомаси активного мулу в початкову суспензію при вторинному зброджуванні?
8. При яких об'ємах слід використовувати аеробне зброджування? А при яких анаеробне?
9. Які умови необхідні для мезофільного зброджування?
10. Які мікроорганізми використовуються для зброджування мулу?
11. Як підвищується ефективність установок зброджування?
12. Які переваги мають гранульовані органомінеральні добрива?

Перелік посилань

1. Вилсон Д. Утилизация твердых отходов / пер. с англ. : Тетерин Э. Г. – М.: Стройиздат, 1985. – С. 134.
2. Корнієнко Я. М. Аналіз та систематизація методів і способів утилізації промислових відходів / Я. М. Корнієнко, А. Р. Степанюк // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2006. – №2(32) – С. 56 – 59.
3. Екологічна біотехнологія: навч. посібник / Швед О.В., Миколів О.Б., Комаровська-Порохнявець О.З. та ін. – Львів: Львівська політехніка, 2010. – С. 167.

4. Евилевич А. Утилизация осадков сточных вод / Абрам Евилевич. – М.: Стройиздат, 1989. – 315 с.
5. Корнієнко Я. М. Засади техногенної безпеки в агропромисловому комплексі України / Корнієнко О.З., Заграй Я.М., Будженрак А.І. // Наукові вісті НТУУ. – 2001. – №3. – С. 129 – 135.