

УДК 662.73

ПЕРЕРобКА ТА УТИЛІЗАЦІЯ ОСАДІВ ВІД ОЧИЩЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ ТА ПОБУТОВИХ СТИЧНИХ ВОД

Петрова Ж.О.¹, докт. техн. наук, Бадеха А.В.², аспірант¹Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Марії Капніст, 2а, Київ, 03057, Україна, старший науковий співробітник, bergelzhanna@ukr.net, <http://orcid.org/0000-0001-7385-8495>²Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Марії Капніст, 2а, Київ, 03057, Україна, молодший науковий співробітник, badekha@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0003-3903-3766><https://doi.org/10.31472/tpe.1.2024.12>

У статті наведено експериментальні дані щодо отримання товарних продуктів з відходів очищення дренажних стічних вод звалищ сміття, а саме режимів технології переведення в газову фазу азоту, отримання оксиду кальцію з осади. Проаналізовано результати впливу внесеного в ґрунт осаду на проростання насіння та приріст зеленої біомаси.

The article provides experimental data on the production of commodity products from waste treatment of drainage waste water of garbage dumps, namely the modes of technology for transferring nitrogen to the gas phase, obtaining calcium oxide from sediments. The results of the influence of sediment introduced into the soil on the germination of seeds and the growth of green biomass are analyzed.

Бібл. 9, табл. 1, рис. 6.

Ключові слова: інфільтрат звалища, добрива, осад, оксид кальцію.

Т – температура, °С;

 $V_{\text{повітря}}$ – швидкість повітря, дм³/хв;

Е – ефективність очищення, %;

 C_{NH_3} – концентрація аміаку, мг/дм³;**Скорочення:**

ДСВ – дренажні стічні води;

СВ – стічні води;

Вступ. Головним завданням біотехнології води на теперішній час є підготовка питної води, а перший і найголовніший етап у цьому складному процесі – очищення забруднених вод.

Маємо чітко собі усвідомити і постійно пам'ятати, що вода на Землі не є корисною копалиною одноразового використання, як, наприклад, нафта. Вода – це вічно відновлювальний у Біосфері продукт не просто багаторазового, а нескінченного споживання. Вона постійно використовується й водночас забруднюється геть усіма суцями на Землі організмами, проте безупинно відновлюється, очищується тими самими організмами та іншими – хімічними й фізичними – факторами планетарного та космічного походження [1].

Одна із наймасовіших технологій очищення стічних вод в Україні передбачає відстоювання стічних вод з утворенням осаду, який в подальшому обробляється метановим зброджуванням для знешкодження патогенних мікроорганізмів, розкладання жироподібних речовин тощо. Відділена у відстійниках вода направляється до аеротенків, де контактує з активним мулом. Регенований активний мул подається до контактних резервуарів

зі споруд регенерації, як правило таких самих аеротенків, як і контактні споруди. Після змішування з активним мулом, під час чого мул абсорбує завислі речовини стічних вод, суміш розділяється у вторинних відстійниках, де утворюється очищена стічна вода та вторинний осад. Останній розділяється на два потоки – найбільша частина направляється на регенерацію і потім змішується зі стічними водами, а менша становить надлишковий активний мул і є основною частиною осади, які утворюються на станціях очищення. Через великий їх об'єм мул обробляється шляхом аеробної стабілізації і направляється на мулові майданчики, що виводить з обороту значні площі земель та створює екологічну небезпеку як навколишньому середовищу та і самій людині [2].

В основу технології очищення дренажних стічних вод (ДСВ) звалищ побутових відходів покладено реагентний та баромембранний методи очищення [3].

З напрямів переробки та утилізації осади від очищення промислових та побутових стічних вод привертає увагу використання їх як сировини для отримання товарних продуктів. У розробленій технологічній

схеми передбачено відгонку аміаку повітрям у лужному середовищі. Метод відомий і вважається дешевим. Застосовується він при концентрації аміаку у воді понад 100 мг/дм³ [4]. Експериментально нами встановлено, що концентрація амонійних сполук у ДСВ досягає 1800 мг/дм³, тому використання аміаку газової фази як сировини для отримання азотних добрив є привабливим напрямом. Разом з тим досвід використання вказаного методу для очищення ДСВ відсутній. Це зумовило потребу проведення досліджень щодо впливу температурного режиму, швидкості подачі повітря на ефективність переходу азотних сполук ДСВ у газову фазу. Ще одне завдання цієї роботи – способи утилізації осаду, який утворюється на реагентній стадії очищення ДСВ реагентами. Слід відмітити, що його компонентами є ряд мікроелементів, органічні та мінеральні речовини, тому порушується питання доцільності використання його як органо-мінерального добрива. Разом з тим, з огляду на високі концентрації солей у ДСВ (до 8 г/дм³) та отриманих осадах, виникає сумнів у доцільності внесення їх у ґрунт, оскільки це може призвести до його засолення. Відомо, що на так званих солончаках можуть рости лише деякі види рослин, переважно хвощ. Та все ж таке припущення потребує експериментальної перевірки. Крім того, використання осаду від очищення ДСВ звалищ як добрив, навіть для підживлення декоративних рослин, є сумнівним із санітарно-гігієнічної точки зору, тому що до його складу входять токсичні речовини. Альтернативою може бути отримання з осаду оксиду кальцію

високотермічним способом, адже концентрація сполук кальцію в його складі є високою, оскільки в технології очищення ДСВ передбачена обробка вапняним молоком. Слід зазначити, що термічна обробка осаду дозволить знешкодити токсичні органічні речовини та отримати такі товарні продукти, як CaO та CO_2 , що можуть використовуватись повторно при очищенні ДСВ.

Експериментальні дослідження та їх аналіз. ДСВ, на відміну від природної і стічної води (СВ), є висококонцентрованим водним розчином як за мінеральними, так і за органічними речовинами, що ускладнює технологію його очищення. Так, природна чи стічна вода може бути високомінералізованою з низьким вмістом органічних речовин (шахтна, морська) чи, навпаки, слабомінералізованою зі значним вмістом органічних речовин, наприклад, стоки комплексів з відгодівлі тварин, комбінатів з переробки м'яса, риби. Досвід з демінералізації першої та методи деструкції органічних речовин останньої були основою для розробки технологічної схеми очищення ДСВ звалищ твердих побутових відходів (рис. 1). ДСВ надходить у резервуар (1) для усереднення. На воді з резервуару (1) готували розчин вапняного молока у змішувачі (2). Готовий розчин $\text{Ca}(\text{OH})_2$ зливали в резервуар (3), з якого помпою (8) це вапняне молоко та ДСВ з (1) подавали у відстійник (4), контролюючи швидкість нагнітання вапняного молока та ДСВ ротаметрами (9). Після 30 хв контакту та відстоювання освітлену воду подавали на дегазацію у відстійник (5), а потім у модуль баромембранного

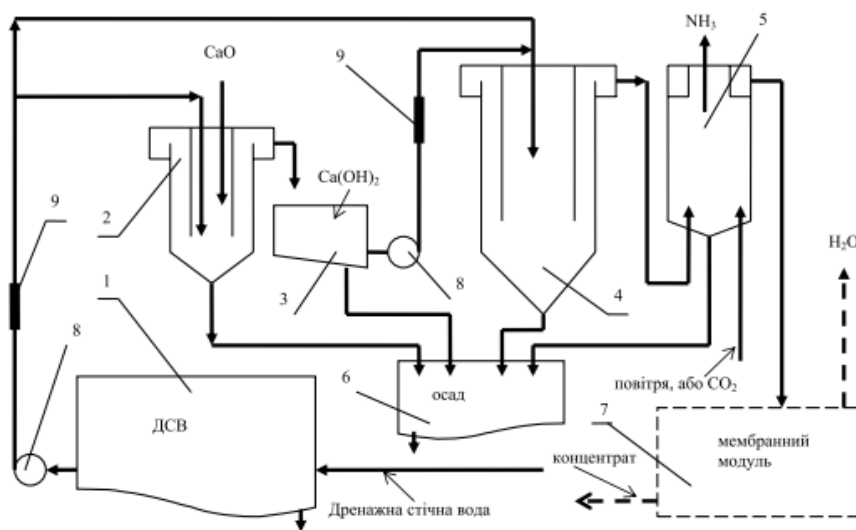


Рис. 1. Принципова технологічна схема стадії очищення реагентами ДСВ звалища:

1 – резервуар для ДСВ; 2 – вертикальний змішувач; 3 – резервуар для вапняного молока; 4 – вертикальний відстійник; 5 – вертикальний відстійник для декарбонізації води та видудання аміаку; 6 – резервуар для збору осаду; 7 – модуль баромембранного очищення ДСВ; 8 – помпа; 9 – ротаметр

розділення (7). У відстійнику (5) СВ підлягала барботуванню повітрям або CO_2 . Для підвищення ефективності процесу відгонки аміаку в газову фазу СВ подавали на дегазацію в (5) через форсунку. Осад від стадії очищення ДСВ реагентами збирали в резервуар (6). Цей осад використовували в експериментальних дослідженнях із визначення його впливу на розвиток рослин та в дослідях з отримання CaO та CO_2 методом термообробки.

Як зазначено раніше, ДСВ має високий вміст мінеральних речовин – 6–8 г/дм³ у сухому залишку (визначено згідно з ГОСТ 18164), органічних речовин – 4500–5030 мг O_2 /дм³ (за ХСК), амонійного азоту – до 1800 мг/дм³ (визначено фотометричним методом). У зв'язку з такою високою його концентрацією нами проведено дослідження з використання NH_4^+ як сировини для отримання азотних добрив під сільськогосподарські культури.

Було досліджено залежність ефективності переходу аміаку в газову фазу від часу насичення ДСВ повітрям. Експеримент проведено за різних температурних режимів, результати представлено на рис. 2 та в таблиці 1.

Як свідчать наведені дані, зміни в ефективності переходу аміаку в газову фазу від часу нагнітання повітря спостерігаються в інтервалі 5–45 хв (рис. 2). Контакт СВ з масою повітря, що нагнітається протягом 40 хв, є достатнім для повноти переходу йонів NH_4^+ в молекули NH_3 .

На підставі результатів (див. табл. 1) можна дійти висновку, що інтенсифікація процесу виділення аміаку в газову фазу може бути забезпечена підвищенням температури ДСВ або прискоренням швидкості подачі повітря в процесі аерації з 3 до 7,5 дм³/хв. Крім того, підвищенням температури ДСВ до 45 °С або зміною швидкості нагнітання повітря (тобто подачі більшого об'єму в одиницю часу) кожним прийомом окремо забезпечується зниження концентрації NH_3 в очищеній воді до 19–25 мг/дм³.

Ефективність переходу аміаку в газову фазу при швидкості подачі повітря 7,5 дм³/хв досягає 80–85 % уже за 20 хв контакту з СВ (у порівнянні з необхідним часом 40 хв при швидкості нагнітання його 3,0 дм³/хв).

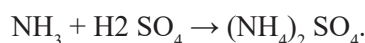
Таблиця 1. Залежність ефективності відгонки аміаку від температури, об'єму доданого у воду повітря та рН ДСВ

№	T, °C	$V_{\text{повітря}}$, дм ³ /хв	C NH_3 , мг/дм ³	pH ДСВ	C NH_3 у ДСВ, мг/дм ³	pH ДСВ ₀	E, %
1	20	3	113,1	11,0	85,0	10,2	24,8
2	20	3	111,0	12,0	58,8	9,9	36,8
3	45	3	128,0	11,1	25,0	9,8	80,4
4	20	7,5	123,8	10,1	19,0	9,6	85,6

Примітка. Час барботування ДСВ повітрям – 20 хв.

Згідно з даними таблиці 1, чим вищий водневий показник ДСВ, тим краща ефективність відгонки аміаку при ідентичності інших параметрів процесу.

З метою утилізації отриманого аміаку в технологічній схемі необхідно передбачити резервуар із сірчаною кислотою для вловлювання повітря, насиченого виділеними з води сполуками азоту, та отримання азотних добрив за реакцією:



У такий спосіб азотні сполуки, якими забруднена ДСВ, можна утилізувати (як сировину) у вигляді азотного добрива, а технологія, в якій використовується CaO для обробки ДСВ, стає економічно вигідною. Так, оксид кальцію застосовується одночасно як для створення умов ефективного перебігу процесу коагуляції електролітів, що гідролізуються в лужному середовищі (у відстійнику (4)), так і для переходу азотних сполук в аміак, тобто в газову фазу (у відстійнику (5)). У подальшому немає потреби кондиціонування осадів на стадії їх зневоднення та знезараження. Як відомо, CaO широко використовують для обробки осадів водоочищення з метою зниження їх питомого опору фільтруванню. Осад ДСВ

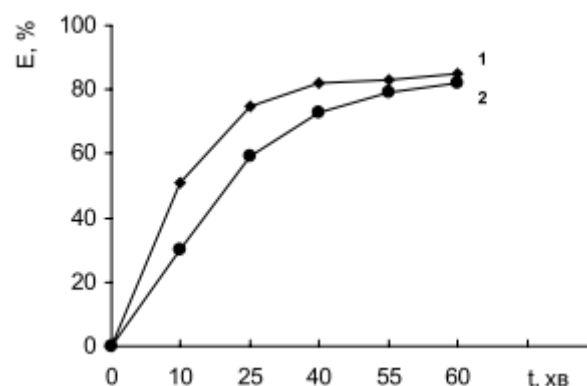


Рис. 2. Залежність ефективності очищення води від аміаку при різних термінах барботування її повітрям та температурах:
1 – $T = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$; 2 – $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$

(6) добре зневоднюється під дією гравітації, оскільки є високолузним, його вологість становить приблизно 65 %. Крім того, осади-коагуляти від стадії очищення ДСВ реагентами можна розглядати як сировину для отримання CaO та CO_2 з метою повторного їх використання [3]. Незважаючи на те, що до складу осаду входить цілий ряд екологічно небезпечних інгредієнтів, інколи його розглядають як потенційне органо-мінеральне добриво, наприклад, для вирощування декоративних рослин. Адже ДСВ включають інгредієнти, необхідні для розвитку рослин, зокрема калій (1100 мг/дм^3), магній (88 мг/дм^3) та органічні речовини.

Визначення впливу на розвиток рослин компонентів осаду або безпосереднього зрошення ґрунту ДСВ звалища проведено в лабораторних умовах. Так, отримані в технологічній лінії очищення ДСВ осади (6) є лужними, а, як відомо, внесення лужних реагентів потребують кислі ґрунти, особливо ті, на яких вирощують злакові культури [5]. Тому експерименти було проведено з використанням зерна пшениці. Враховуючи високу мінералізацію ДСВ звалища, досліді проведено також на посівах гарбузових рослин, оскільки вони різко реагують на засоленість ґрунтів. Результати щодо ефективності проростання зернових культур наведено на рис. 3, а щодо приросту зеленої маси – на рис. 4.

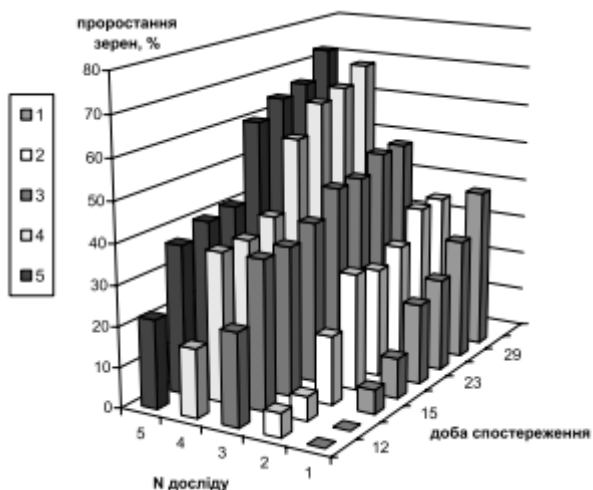


Рис. 3. Залежність ефективності проростання зернових від рН при зрошуванні ґрунту: водопровідною водою (3, 4, 5); дренажною стічною (1, 2) з рН 7 (1, 3) та з додаванням до води для зрошення CaO до досягнення нею рН 10 (2, 4); з внесенням лужного осаду в ґрунт (5). Контрольний варіант – полив водопровідною водою (3)

Відповідно до результатів дослідів, позитивний вплив на проростання зернових спостерігається в лужному середовищі незалежно від способу підвищення лужності ґрунту, що добре узгоджується з результатами, отриманими іншими авторами в аграрній галузі. Як при зрошенні злакових водопровідною водою з доведенням її рН до 10 (4), так і при внесенні лужного осаду від обробки ДСВ оксидом кальцію (5) процес проростання зерен був інтенсивнішим у порівнянні з контролем (3). Разом з тим компоненти ДСВ значно пригнічували проростання зернових як при рН 7 (1), так і при рН 10 (2). Можна відмітити, що і в цьому разі позитивний вплив лужного середовища є помітним (2). Також зазначимо, що при високому значенні рН дещо зменшується негативний вплив компонентів ДСВ (1). Результати спостереження за приростом зеленої маси рослин наведено на рис. 4.

У лужному середовищі стимулюється як процес проростання зерен (рис. 3, 4), так і в подальшому дещо зростає приріст зеленої маси рослин (рис. 4, 4) в порівнянні з контрольним дослідом (3). Разом з тим при зрошуванні ґрунту ДСВ значно уповільнювався не тільки процес проростання зерен, а й приріст зеленої маси (1, 2). На відміну від зрошення посіву ДСВ, водопровідна лужна вода (2) дещо інтенсифікує процеси проростання та приросту біомаси. Загалом, при використанні для зрошування ДСВ спостерігалось пригнічення росту рослин як у порівнянні зі зрошенням їх підлуженою водою з водопроводу, так і контрольним дослідом (рН 7). Таким чином, експерименталь-

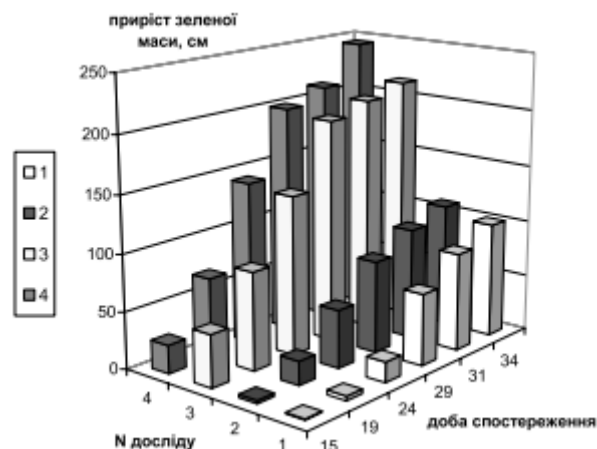


Рис. 4. Залежність ефективності приросту зеленої маси зернових від рН при зрошуванні ґрунту: водопровідною водою (3, 4); дренажною стічною (1, 2) з рН 7 (1, 3) та з додаванням CaO до рН 10 (2, 4). Контрольний варіант (3)

но підтверджено інтенсифікацію розвитку зернових культур на лузних ґрунтах. Пригнічення проростання зерен та приросту зеленої маси зернових культур при зрошенні їх ДСВ (незалежно від рН) можна пояснити високими концентраціями в ній солей.

Для підтвердження цього висновку нами було проведено дослід з використанням для посіву насіння гарбузових, котрі, як відомо, мають виразну реакцію на засоленість ґрунтів. Результати з проростання насіння гарбузових та приросту їх біомаси наведено на рис. 5, 6.

Згідно з результатами дослідів, при внесенні осаду в ґрунт значно пригнічується ефективність проростання гарбузових. Так, на 17-ту добу в контролі проросло 60 % зерен, тоді як у досліді із внесеним осадом – 10–25 %. Над тими зернами, що не проросли, на ґрунті візуально спостерігався білуватий контур з мікрокристалів солі, який повторював форму зерна, що свідчить про адсорбцію солей на їхній поверхні.

Ще інтенсивніше пригнічується розвиток самої рослини за наявності солей у ґрунті. Листя майже не розвивається. Якщо в контролі приріст біомаси з 10-ї доби до 17-ї (за 7 діб) становив 20 %, то при внесенні в ґрунт осаду – лише 5 %.

Таким чином, можна дійти висновку, що недоцільно рекомендувати використання осаду, отриманого при очищенні високомінералізованих ДСВ, як заміну добрив (навіть під декоративні рослини). Внесення такого осаду в ґрунт зумовлює його засолення та засмічення важкими металами. Так, авторами роботи [6] вказується на необхідність зниження вмісту важких металів в осадах, наприклад, ст. Бортничі (м. Київ), при використанні їх як добрива в сільському господарстві. Як виявлено

ними, осади, отримані на різних стадіях очищення навіть такої значно менш токсичної СВ, як побутова, потребують детоксикації перед внесенням у ґрунт. Особливості використання осадів від очищення СВ як добрив та необхідність їх детоксикації наведено в роботі [7]. Крім того, як було встановлено нами, до складу компонентів ДСВ входять і такі токсичні домішки, як синтетичні поверхнево-активні речовини (ПАР), гуанідин та інші похідні гомологічного ряду гуанідину, котрі розкладаються з утворенням ціанаміду, синильної кислоти.

Доцільним з екологічної та економічної точки зору є отримання з осаду ДСВ оксиду кальцію термічним способом та використання його в повторному циклі її очищення, оскільки це дозволить отримати товарні продукти, а отже, забезпечити як утилізацію, так і економічне знешкодження твердих відходів від очищення ДСВ [8; 9]. У процесі експериментальних досліджень з термообробки осаду нами встановлено, що за температури близько 850 °С за 2 год досягається розкладання карбонатів та гідроксиду кальцію (CaCO_3 , $\text{Ca}(\text{OH})_2$) до CaO та CO_2 . За якістю отриманий продукт відповідає ДСТУ Б В 2.7.-90-99 (сорт 2). У результаті диференційно-термічного та термогравіметричного аналізу встановлено, що при 2,5–3-годинній термообробці осаду можна за температури 700 °С забезпечити розкладання його до оксиду кальцію. Відхідні гази такого процесу, збагачені CO_2 , можна утилізувати в технологічному процесі очищення ДСВ для забезпечення умов виведення в осад сполук кальцію (карбонатів) та зниження рН. Таким чином, отримані товарні продукти використовуються повторно в технології очищення ДСВ на стадії очищення її реагентами. Переробка в товарні продукти відходів, отри-

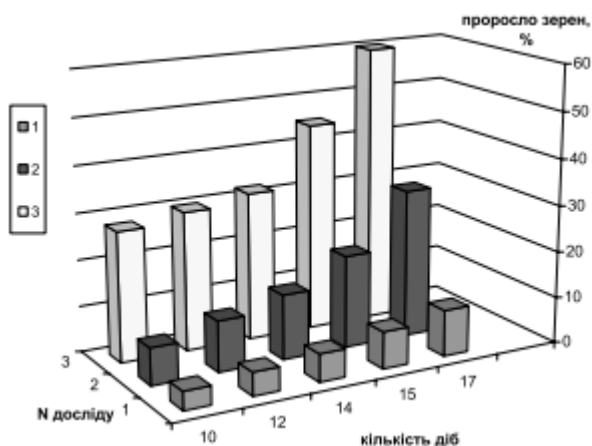


Рис. 5. Залежність ефективності проростання гарбузового насіння від кількості внесеного в ґрунт осаду: 4 % осаду (1); 8 % осаду (2); контрольний варіант – ґрунт (3)

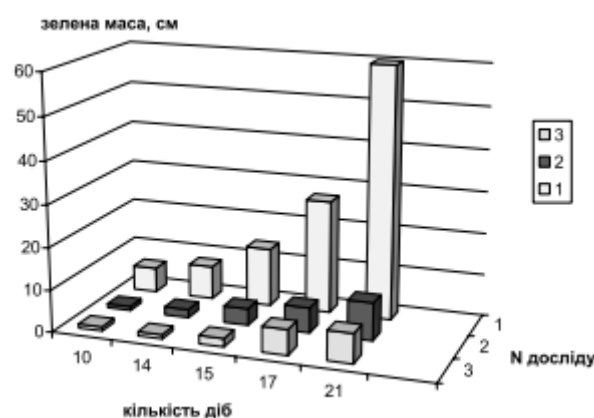


Рис. 6. Залежність ефективності приросту зеленої маси гарбузових від кількості осаду, внесеного в ґрунт: контрольний варіант (1); 4 % осаду (2); 8 % осаду (3)

маних у вигляді газів та твердої речовини при очищенні ДСВ звалища, перетворює їх у цінну сировину. Крім економічності такого підходу до утилізації цінних продуктів, метод можна віднести до запобіжних заходів щодо забруднення атмосфери та ґрунтів.

Висновки

У процесі відгонки аміаку в лужному середовищі встановлено, що об'єм повітря та швидкість його подачі мають становити 7,5 дм³/хв за температури 20 °С. За температури ДСВ 40 °С економічно доцільним є зниження інтенсивності його нагнітання до 3,0 дм³/хв. Внесення лужного осаду з високим вмістом солей у ґрунт негативно впливає на ріст рослин, хоча й стимулює процес проростання зернових. Значно пригнічується ріст гарбузових у порівнянні із зерновими культурами, що спричинено високою засоленістю ґрунтів і меншою стійкістю до цього показника гарбузових. Крім того, високий вміст токсичних речовин вказує на недоцільність внесення такого осаду в ґрунт. З екологічної та економічної точки зору раціональним є отримання з осаду термічним способом оксиду кальцію, який можна повторно використовувати на стадії очищення ДСВ реагентами в технологічній схемі (рис. 1).

ЛІТЕРАТУРА:

1. Гвоздяк П.І. Біотехнологія води (автомонографія). – Київ: Видавничий дім «Києво-Могилянська академія». 2019. – 228 с.

2. Снежкін Ю.Ф., Петрова Ж.А., Пазюк В.М., Новікова Ю.П. Стан технологій очищення стічних вод в Україні та світі // Теплофізика та Теплоенергетика – 2021. – Т. 43, № 1. – С. 5 – 12.

3. Очистка дренажной воды свалок твердых бытовых отходов с использованием оксида кальция для предмембранной обработки / В. В. Гончарук, З. Н. Шкавро, В. П. Бадеха [и др.] // Химия в интересах устойчивого развития. – 2005. – Т. 13, № 5. – С. 605–612.

4. Siagg A.D., Gawor J.B. Zeolites-the way to remove ammonia // Fish. Farm. Int. – 1982. – Vol. 9, № 8. – P. 15.

5. Барабаш О.Ю. Овощеводу-любителю. 770 советов / О.Ю. Барабаш, С. Т. Гутыря, Л. О.Думыч. – К. : Довіра, 1993. – 299 с.

6. Утилизация осадков городских сточных вод / А. Делалио, В. В. Гончарук, Б. Ю. Корнилович [и др.] // Химия и технология воды. – 2003. – № 5. – С. 458–464.

7. The peculiarities of municipal water sludge utilization assoilconditioning additive [Electronic resource] / L. N. Gubanov, V. A. Filin, D. V. Boyarkin, A. V. Kotov // Вода и экология : проблемы и решения. – Mode of access: <http://www.aterandecology.ru>. – Title from the screen.

8. Ігнатенко О.П. Економіко-екологічні аспекти рециклу вторресурсів з твердих побутових відходів / О. П. Ігнатенко // Екологія і ресурси. – 2003. – № 4. – С. 115–120.

9. Твердые бытовые отходы. Проблемы и решения. Технологии, оборудование / А.М. Касимов, В.Т. Семенов, А. М. Коваленко, А. М. Александров. – Харьков : ХНАГХ, 2006. – 301 с.

PROCESSING AND DISPOSAL OF SEDIMENTS FROM THE TREATMENT OF INDUSTRIAL AND DOMESTIC WASTEWATER

Petrova Zh.O.¹, Dr. Sci. (Engin.),

Badekha A.V.², postgraduate

¹*Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine, 2a, Marii Kapnist (Zhelyabova) Str., Kyiv, 03057, Ukraine, Senior Research Scientist, bergelzhanna@ukr.net, <http://orcid.org/0000-0001-7385-8495>*

²*Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine, 2a, Marii Kapnist (Zhelyabova) Str., Kyiv, 03057, Ukraine, badekha@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0003-3903-3766>*

<https://doi.org/10.31472/tpe.1.2024.12>

Treatment of wastewater (filtrates) of solid waste landfills is one of the most acute problems of national importance. Filtrates belong to highly polluted, ecologically dangerous wastewater, as they are characterized by a high content of salts (up to 25,000mg/dm³) and organic substances (chemical oxygen absorption (COD) – 13,000 – 16,000 mg O/dm³). As a rule, filtrates are not cleaned in Ukraine today, and they end up in surface and underground waters without any treatment, which causes enormous damage to the environment.

In the industrially developed countries of the world, the reverse osmosis method is mainly used for the purification of filtrates. Thus, water purification by reverse osmosis requires 25-30% less energy than other methods. In addition, reverse osmosis provides a high degree of water purification from most types of pollution. At the same time, the efficiency and cost-effectiveness of reverse osmosis is largely determined by the adequate preliminary preparation of the filtrate, which prevents contamination of the membranes. In many cases, this is not followed in order to save money when cleaning filtrates.

In this regard, the purpose of this work is to develop a technology for complex processing of filtrates based on membrane methods to obtain clean water that meets the standards of the standard for discharge into open water bodies, and valuable substances that are suitable for industrial use.

In this regard, the purpose of this work is to develop a technology for complex processing of filtrates based on membrane methods to obtain clean water that meets the standards of the standard for discharge into open water bodies, and valuable substances that are suitable for industrial use.

The influence on plant development of sediment components or direct irrigation of the soil with landfill drainage wastewater showed that the introduction of alkaline sediment with a high salt content into the soil has a negative effect on plant growth, although it stimulates the process of grain germination.

In addition, the high content of toxic substances indicates the impracticality of introducing such sediment into the soil. From an ecological and economic point of

view, it is rational to obtain calcium oxide from sediment by a thermal method, which can be reused at the stage of treatment of drainage wastewater with reagents.

References 9, figure 6, table 1.

Key words: landfill leachate, fertilizers, sediment, calcium oxide.

1. *Hvozdiak P.I.* Biotekhnolohiia vody [Biotechnology of water]: automonography. Kyiv: Publishing House "Kyiv-Mohyla Academy, 2019. – 228 p. (in Ukr.)

2. *Sniezkin, Yu., Petrova, Z. Paziuk, V. Novikova, Y.* State of wastewater treatment technologies in Ukraine and the world. Thermophysics and Thermal Power Engineering, 2021, 43, 5-12. <https://doi.org/10.31472/tpe.1.2021.1> (in Ukr.)

3. *Honcharuk B.V.* Ochistka drenazhnoy vodyi svalok tverdyih byitovyih othodov s ispolzovaniem oksida kaltsiya dlya predmembrannoy obrabotki [Treatment of drainage water of landfills of solid household waste using calcium oxide for pre-membrane treatment] / B. V. Honcharuk, Z. N. Shkavro, V. P. Badekha [and others] // Himiya v interesah ustoychivogo razvitiya, 2005, 13, 5, 605–612. (in Rus.)

4. *Siagg A.D., Gawor J.B.* Zeolites-the way to remove ammonia. Fish. Farm. Int., 1982, Vol. 9, № 8, 15.

5. *Barabash O.Yu. Gutyirya S.T., Dumyich L.O.* Ovoshevodu-lyubitelyu 770 sovetov [770 Soviets for an amateur vegetable grower]. Kyiv: Dovira, 1993. 299 p. (in Rus.)

6. *Delalio A.* Utilizatsiya osadkov gorodskih stochnyih vod [Utilization of city sewage sludge] / A. Delalio, V. V. Goncharuk, B. Yu. Kornilovich [and others] // Himiya i tehnologiya vodyi, 2003, № 5, 458–464. (in Rus.)

7. *Gubanov L.N., Filin V.A., Boyarkin D.V., Kotov A.V.* The peculiarities of municipal water sludge utilization assoilconditioning additive [Electronic resource]. Voda i ekologiya: problemy i resheniya. Mode of access: <http://www.aterandecology.ru>. Title from the screen.

8. *Ihnatenko O.P.* Ekonomiko-ekolohichni aspekty retsyklu vtorresursiv z tverdykh pobutovykh vidkhodiv [Economic and ecological aspects of recycling secondary resources from solid household waste]. Ekolohiia i resursy, 2003, № 4, 115–120. (in Ukr.)

9. *Kasimov A.M., Semenov V.T., Kovalenko A.M., Aleksandrov A.M.* Tverdyie byitovyie othodyi. Problemy i resheniya. Tehnologii, oborudovanie [Solid household waste. Problems and solutions. Technologies, equipment]. Kharkov: Harkovskiy natsionalnyy universitet gorodskogo hozyaystva, 2006. 301 p.

Отримано 09.07.2023

Received 09.07.2023

Прийнято до друку 15.02.2024
Accepted for publication 15.02.2024