

2. ЕКОЛОГІЯ ТА ДОВКІЛЛЯ



Науковий вісник НЛТУ України
Scientific Bulletin of UNFU

<https://nv.nltu.edu.ua>

<https://doi.org/10.15421/40290216>

Article received 15.02.2019 p.

Article accepted 28.03.2019 p.

УДК 620.95.502



ISSN 1994-7836 (print)
ISSN 2519-2477 (online)

@✉ Correspondence author

O. M. Shkvirko

oksanashkvirko@gmail.com

О. М. Шквірко, І. С. Тимчук, М. С. Мальований

Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів, Україна

АДАПТАЦІЯ СВІТОВОГО ДОСВІДУ УТИЛІЗАЦІЇ ОСАДІВ СТІЧНИХ ВОД ДО ЕКОЛОГІЧНИХ УМОВ УКРАЇНИ

Розглянуто проблеми з утилізації осадів стічних вод. Очищення комунальних стічних вод призводить до накопичення великої кількості осадів, що портує раціонального та збалансованого підходу до їх утилізації. Осад стічних вод є цінним енергетичним та матеріальним ресурсом, який можна використовувати як вторинну сировину. Найпопулярнішими методами утилізації є: захоронення, спалювання, використання у сільському господарстві як добрив, виробництво будівельних матеріалів. Охарактеризовано нові способи з утилізації осадів стічних вод, які використовують у світі, серед яких: рекультивация земель, кар'єрів та звалищ, виробництво біогазу та теплової енергії, виділення цінних елементів і металів, а також виробництво адсорбентів. Встановлено, що у США та країнах Європейського Союзу основну кількість утворених осадів використовують у сільському господарстві як добрива, а в Японії – для виробництва будівельних матеріалів. Розглянуто наявні проблеми, які пов'язані з накопиченням та утилізацією осадів стічних вод в Україні. Більшість осадів, які утворюються на території України, підлягають захороненню. Визначено можливість використання осадів стічних вод у виробництві будівельних матеріалів та виготовленні коагулянтів. Встановлено, що в умовах України найперспективнішим методом утилізації осадів стічних вод є використання їх як добрив у сільському господарстві.

Ключові слова: осад стічних вод; утилізація; вторинна сировина; добрива; будівельні матеріали.

Вступ. Швидке зростання населення та розвиток виробництва спричиняють багато проблем, які пов'язані зі збільшенням споживання природних ресурсів. Водночас недосконалість виробництва призводить до того, що більшість сировини, яку не використовують у виробництві, перетворюється на відходи і зокрема на стічні води. Під час очищення стічних вод утворюється значна кількість осадів, які, накопичуючись на мулових майданчиках, негативно впливають на навколишнє середовище (забруднення ґрунтів та підземних вод, утворення парникових газів тощо) та життя людей.

За даними (Astrelin, 2010; Kasprzak et al., 2017; Klessidis et al., 2012; Venkatesan et al., 2014; Zhen et al., 2017), щороку у Сполучених Штатах Америки утворюється 6,5 млн т осадів стічних вод, з яких 29 % підлягають захороненню: у Китаї – 6,25 млн т, понад 83 % з яких неналежно скидають; у Японії – 2 млн т, з яких 52 % використовують для виробництва будівельних матеріалів; у Європейському Союзі – 10 млн т, з яких більш як 36 % використовують у сільському господарстві; в Україні – 3 млн т, з яких від 3 до 5 % використо-

вують як вторинну сировину, переважно для виробництва органіко-мінеральних добрив.

Зважаючи на значні обсяги утворення та накопичення осадів стічних вод, у світі актуальною є проблема їх оброблення та утилізації. Питання утилізації осадів стічних вод потрібно вирішувати комплексно з питаннями очищення стічних вод. Особливого значення утилізація осадів стічних вод набуває тоді, коли вирішує не тільки природоохоронне завдання, а й економічне, сприяючи поповненню сировинних і матеріальних ресурсів не лише в Україні, а й у світі, а також дає змогу перетворити водоохоронні об'єкти в безвідходні та самокупні.

Метою роботи є огляд сучасних способів утилізації осадів стічних вод в Україні та світі.

Викладення основного матеріалу. Внаслідок очищення стічних вод утворюється велика кількість осаду, який може бути цінним матеріальним та енергетичним ресурсом, і його можна використовувати як вторинну сировину. Тому вчені з усього світу намагаються шукати нові та ефективні способи використання та утилізації

Інформація про авторів:

Шквірко Оксана Михайлівна, аспірант, кафедра екології та збалансованого природокористування.

Email: oksanashkvirko@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-2040-7871>

Тимчук Іван Степанович, канд. с.-г. наук, асистент, кафедра екології та збалансованого природокористування.

Email: i.s.tymchuk@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-9344-3035>

Мальований Мирослав Степанович, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри екології та збалансованого природокористування. Email: mmal@lp.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0002-3868-1070>

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

Citation APA: Shkvirko, O. M., Tymchuk, I. S., & Malovanyy, M. S. (2019). Adaptation of the world experience in the utilization of sewage sludge to the ecological conditions of Ukraine. *Scientific Bulletin of UNFU*, 29(2), 82–87. <https://doi.org/10.15421/40290216>

осадів стічних вод.

Сьогодні основними способами утилізації осадів стічних вод є захоронення, спалювання та використання у сільському господарстві як органо-мінеральних добрив, проте в деяких країнах світу його також використовують для рекультивациі земель, кар'єрів та закритих звалищ, виробництва будівельних матеріалів або отримання теплової енергії. У табл. 1 наведено дані з утилізації осадів стічних вод у різних країнах світу (Kelessidis et al., 2012; Matsumiya, 2014; Mininni et al., 2014; Zhen et al., 2017).

Як видно з табл. 1, здебільшого відносно поводження з осадами стічних вод світові тенденції спрямовані на спалювання або використання у сільському господарстві. Найбільша частка використання осадів стічних вод у сільському господарстві припадає на Португалію – 87 %, Іспанію – 65 %, Велику Британію – 69 % та США – 47 %. У Німеччині та Нідерландах більшу частину утворених осадів спалюють, що становить 51 та 68 % відповідно. В Японії понад 52 % осадів стічних вод використовують для виробництва будівельних матеріалів.

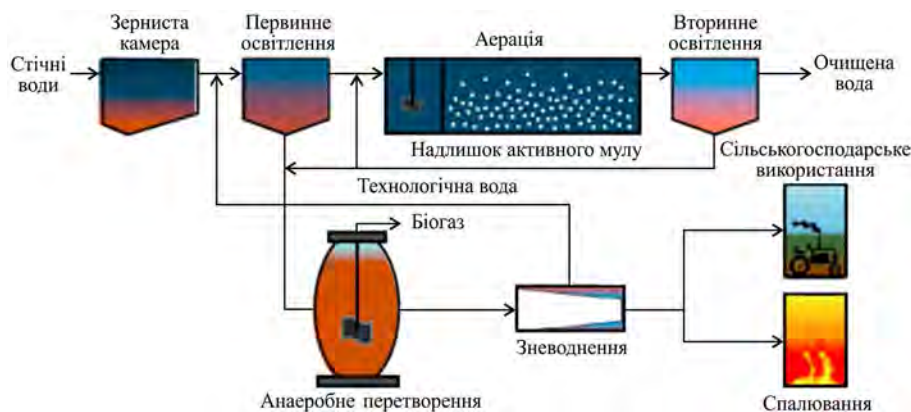


Рис. 1. Класична схема поводження з осадами стічних вод

Табл. 2. Середній склад осадів стічних вод

Параметр,	Ahmed et al., 2010	Tyagi & Lo, 2013	Dubovyi & Tabakaieva, 2014	Hamood & Khatib, 2016	Kaletnik & Honcharuk, 2016	Paya et al., 2018
Суша речовина, %	-	5-9	-	6	-	2-8
Азот, %	3	1,5-4	0,7-1,5	2,5	3,02	1,5-4
Фосфор, %	2	0,8-2,8	0,9-1,4	1,6	2,33	0,8-2,8
Калій, %	0,5	0-1	0,1-0,2	0,4	0,21	0-1
Магній, %	1,5	-	-	-	0,95	-
Кальцій, %	50	-	-	-	3,48	-
pH	-	5-8	5,3-6,7	6	-	-
Органічна речовина, %	65	-	41-45	-	-	-

У Європейському союзі значну перевагу надають аеробному та анаеробному перетворенню осадів стічних вод. Найчастіше анаеробне перетворення осадів стічних вод застосовують в Іспанії, Великій Британії, Італії, Фінляндії та Словаччині, а технологію аеробного перетворення осадів стічних вод – у Чехії та Польщі (Kelessidis et al., 2012). Дослідженнями встановлено, що під час аеробного перетворення в осаді стічних вод у великій кількості утворюються гумінові кислоти, а під час анаеробного – основними компонентами осадів стічних вод є білки та ароматичні амінокислоти, що свідчить про можливість використання осадів стічних вод як органо-мінеральних добрив у сільському господарстві (Du & Li, 2017).

Значна частка використання осаду стічних вод припадає на сільське господарство. Це пов'язано з тим, що в осаді стічних вод міститься велика кількість різних

Табл. 1. Способи утилізації осадів стічних вод у світі

Країна	Спосіб утилізації, %				
	захоронення	спалювання	сільське госп. п. (добрива)	будівельні матеріали	інше
США	28	15	47	6	4
Китай	14	-	3	-	83
Японія	20	15	11	52	2
Швеція	22	5	23	-	50
Фінляндія	-	-	10	-	90
Польща	18	3	22	-	57
Велика Британія	7	17	69	-	7
Німеччина	5	51	30	-	13
Нідерланди	5	68	-	20	7
Іспанія	17	5	65	-	13
Португалія	7	-	87	-	6
Україна	95	-	5	-	-

Окрім традиційних способів утилізації осадів стічних вод, які наведені в табл. 1 і які використовують у світі, велику частку займають нові, не менш ефективні методи. На рис. 1 наведено класичну схему очищення стічних вод та можливі способи утилізації осадів стічних вод, яку використовують у багатьох країнах світу (Zhou et al., 2017).

поживних речовин, таких як фосфор: азот, калій та ін., і тому він є цінним органо-мінеральним добривом. У табл. 2 представлено середній склад осадів стічних вод за різними дослідженнями (Ahmed et al., 2010; Dubovyi & Tabakaieva, 2014; Hamood & Khatib, 2016; Kaletnik & Honcharuk, 2016; Paya et al., 2018; Tyagi & Lo, 2013).

Представлені в табл. 2 дані свідчать про те, що середній склад осадів стічних вод є практично однаковим у дослідженнях всіх авторів, проте спостерігаємо і деякі відмінності. Це може бути пов'язано з географічним розташуванням станцій очищення стічних вод, сезоном відбору проб, а також наявністю промислових об'єктів. Загалом, як видно з табл. 2, досліджувані зразки осадів стічних вод у необхідній кількості містять усі основні біогенні елементи, такі як: фосфор ~ 2,5 %, азот ~ 4 % та калій ~ 0,5 %.

Одним з основних обмежень використання осадів стічних вод як добрив є вміст у їх складі патогенних мікроорганізмів і яєць гельмінтів, які є небезпечними для тварин і людей, та багатьох токсичних речовин, зокрема важких металів. Утилізація осадів стічних вод у сільському господарстві є найбільш популярною в Іспанії, Ірландії, Франції та Великій Британії (Fijalkowski et al., 2017; Horodnii, 2013; Mininni et al., 2014; Pavšič et al., 2014).

У деяких країнах Європейського Союзу, таких як: Нідерланди та Люксембург, гранульований осад стічних вод експортують до інших країн для їх спалювання або ж компостування (Kelessidis et al., 2012). Окрім цього, в Нідерландах упродовж багатьох років здійснюють відновлення фосфору з осаду стічних вод. Близько 32 % утворених тут осадів стічних вод сьогодні використовують для виробництва цементу та як паливо на електростанціях (Kalogo & Monteith, 2012).

У Швеції, Фінляндії, Німеччині та Великій Британії осад стічних вод впродовж багатьох років використовують для меліорації та рекультиваци земель, порушених внаслідок промислових розробок. За даними (Di Vonito, 2008; Twardowska et al., 2004), використання осаду стічних вод у суміші з вапном дало позитивні результати під час рекультиваци сміттєзвалищ та відпрацьованих кар'єрів з видобутку вугілля.

Спалювання осадів стічних вод є основним методом утилізації у Швейцарії, Німеччині та Польщі. В остан-

ній країні розглядають можливість отримання енергії з осадів стічних вод (Werle, 2015).

Починаючи з 80-х років, у Сполучених Штатах Америки для утилізації осадів стічних вод застосовують компостування осаду спільно з твердими побутовими відходами з метою отримання біогазу (Sorokina & Kozlovska, 2012). Також у США існує декілька технологій з отриманням відновлювальної енергії, які пов'язані з обробкою осадів стічних вод. Ці технології включають виробництво електричної та механічної енергії, а також отримання тепла завдяки метану, отриманого внаслідок анаеробного перетворення осадів стічних вод (Kalogo & Monteith, 2012). Новітні технології забезпечують додатковий енергетичний шлях, способом перетворення вологих осадів стічних вод у біологічну нафту, яку можна було б фракціонувати на різні рідкі види палива, зокрема дизельне та бензинове (Seiple et al., 2017).

Спалювання осаду стічних вод допомагає отримати золу, яка є цінним продуктом для виробництва будівельних матеріалів. На рис. 2 зображено схему спалювання осадів стічних вод (Donatello & Cheeseman, 2013).

Принцип роботи такого процесу полягає в тому, що осад стічних вод з резервуару для змішування надходить у стрічковий прес для зневоднення. Після цього зневоднений шлам потрапляє у камеру з псевдозрідженим шаром для горіння, куди паралельно подають гаряче повітря (близько 500-600°C).

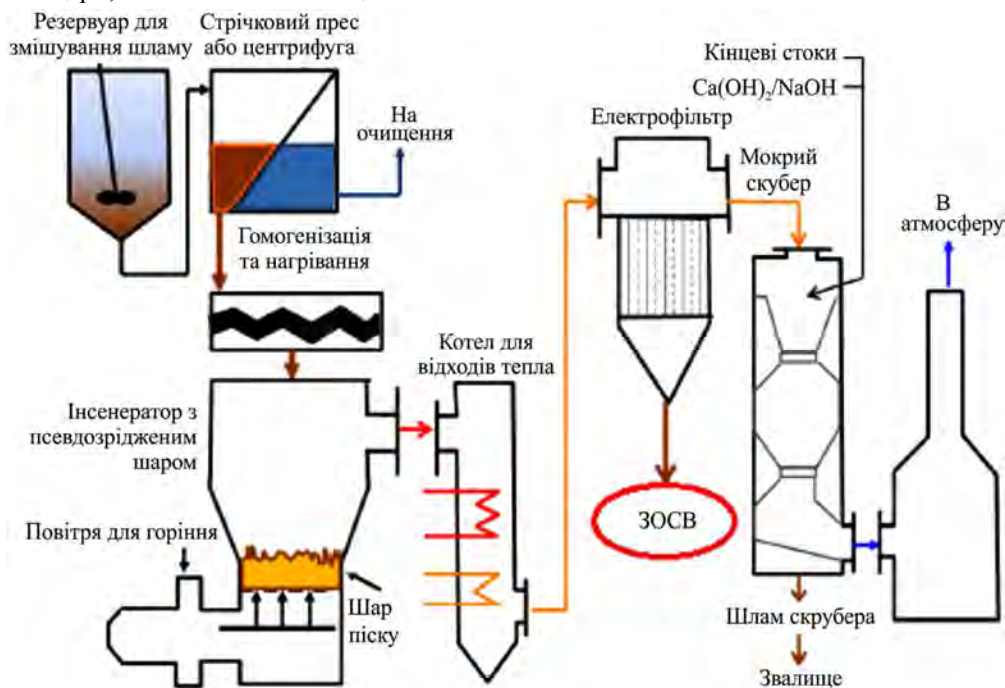


Рис. 2. Схема спалювання осаду стічних вод

Температура піщаного шару зазвичай становить 750 °С. Перебуваючи в камері для горіння, з осаду стічних вод випаровується вода, а також повністю спалюються до газів легкі метали та органічні сполуки. Решта неорганічного матеріалу виноситься з камери у вигляді дрібних частинок разом із відпрацьованими газами. Зола (ЗОСВ), яка утворюється під час спалювання осадів стічних вод, зазвичай вловлюється електрофільтрами або циклонами після проходження через теплообмінник.

Димовий газ, який утворюється, очищують за допомогою мокрого скрубера з дозуванням кислоти або лугів. У процесі очищення утворюється додатковий шлам,

який зневоднюється і скидається на звалище небезпечних відходів.

Кінцевий продукт спалювання – золу – успішно використовують для виробництва будівельних матеріалів. Так, у штаті Джорджія золу від спалювання осадів стічних вод використовують для виробництва цегли, в Міннесоті – як добавку до асфальтобетонних сумішей, в Меріленді – висушений осад стічних вод використовують як паливо для цементних печей. У Сан-Дієго осад стічних вод застосовують для виготовлення штучного каменю – наповнювача для виробництва бетону (Kalogo & Monteith, 2012; Sorokina & Kozlovska, 2012).

Хоча процес спалювання є досить ефективним під час утилізації осадів стічних вод, проте він потребує значних енергетичних та фінансових затрат на спалювання, також значні затрати виникають у процесі транспортування золи на підприємства, які використовують її для виготовлення будівельних матеріалів.

Впродовж останніх трьох десятиліть для утилізації осаду стічних вод у Японії переважно використовують термічні процеси, такі як: спалювання, газифікація, сушіння та карбонізація (Matsumiya, 2014). На думку японських вчених, одним із перспективних способів утилізації стічних вод є плавлення, внаслідок якого виробляють шлакокамін (Sorokina & Kozlovska, 2012). За останні декілька років 45 % осадів стічних вод було використано для виробництва будівельних матеріалів, 30 % – для виробництва цементу, 13 % – для виробництва енергії (Matsumiya, 2014). Також у Японії розроблено проект, у якому обезводнені осади стічних вод перетворюють на паливне вугілля. Окрім цього, розроблено нову систему виробництва електроенергії з використанням синтез-газу, що утворюється внаслідок піролізу осаду стічних вод (Kalogo & Monteith, 2012).

Осад стічних вод в Японії є цінним джерелом для виділення різних елементів, таких як: фосфор чи азот, з яких виготовляють добрива, а також для виготовлення біосорбентів, які використовують для очищення промислових стічних вод від іонів важких металів (Tuagi & Lo, 2013).

Будучи однією з найбільш густонаселених країн світу, Китай щорічно продукує близько 6,25 млн т осадів стічних вод (Feng et al., 2015), понад 80 % з яких до недавня незаконно скидалися у навколишнє середовище. Як і в інших країнах світу, у Китаї значно поширеними методами утилізації осадів стічних вод є захоронення, спалювання та використання у різних галузях економіки.

Перспективним напрямом є отримання із осаду стічних вод біогазу та електроенергії. За даними (Yang et al., 2015), внаслідок використання анаеробного очищення та зневоднення стічних вод упродовж року в Китаї може бути вироблено понад 2,5 млрд м³ біогазу, який зможе генерувати більш як 4 млрд кВт електроенергії. Також у Китаї осад стічних вод використовують для виробництва цегли, цементу та інших будівельних матеріалів. Окрім цього, спільне спалювання стічних вод із вугіллям використовують як додаткове паливо в цементних і цегельних печах, а також на електростанціях (Chen et al., 2012; Kalogo & Monteith, 2012; Paya et al., 2018).

Китайські вчені розробляють нові технології щодо вилучення та відновлення фосфору з осаду стічних вод. За даними (Arulrajah et al., 2011; Karunanithi et al., 2016), осад стічних вод у середньому містить 174000 мг/кг⁻¹ органічного вуглецю (C), 17700 мг/кг⁻¹ – загального азоту (N) та 13350 мг/кг⁻¹ – загального фосфору (P), які можна використовувати для виробництва добрив.

Сьогодні у Китаї для виділення фосфору з осаду стічних вод використовують новітні технологічні процеси, які дають змогу виділити фосфор із супернатантів переробленого осаду після розділення рідкої та твердої фаз. Важливим компонентом цих технологій є реактори кристалізації. Такі технології допомагають відновлювати 80-90 % розчиненого фосфору з осадів стічних вод (Zhou et al., 2017).

Також у Китаї вивчено та випробувано на пілотних установках нові технології видалення з осадів стічних вод біогенних елементів живлення. Ці технології включають: анаеробне окислення аміаку (ANAMMOX); скорочену нітрифікацію та денітрифікацію; одночасну нітрифікацію та денітрифікацію (SND) та безкисневе денітрифікуюче видалення фосфору. Серед цих технологій найбільшу перевагу надають ANAMMOX, тому що вона є енергозберігаючою та ефективною і може бути реалізована за допомогою різних конфігурацій реакторів, зокрема біоплівкові (Jin et al., 2014).

Поряд з іншими країнами світу, в Україні проблема утворення та накопичення осадів стічних є актуальною, адже кількість накопиченого осаду сягає більше 5 млрд т, з яких лише 5 % використовують як вторинну сировину, а 95 % відправляють на захоронення.

Сьогодні в Україні більшість осадів стічних вод, які не підлягають захороненню, використовують у сільському господарстві як органо-мінеральні добрива. За даними (Petruk et al., 2013; Rudnytskyi, 2013), використовуючи такі добрива в кількості 500-600 кг/га, спостерігаємо збільшення урожаю вівса та картоплі в середньому на 20 %, кукурудзи – на 33,5 %, ріпаку – на 24 % тощо. Також під час застосування добрив на основі осадів стічних вод покращуються якісні показники ґрунту, а саме збільшується вміст гумусу. В екологічних умовах України саме такий спосіб утилізації осадів стічних вод є найкращим та найефективнішим.

Проте в останні декілька років українські вчені почали розглядати нові можливості щодо використання осадів стічних вод. Так, наприклад, на заводі інституту "Южгірпроцмент" встановили можливість використання 3-10 % зневодненого осаду у складі цементних сировинних сумішей. За даними (Zasidko et al., 2017) встановлено, що завдяки додаванню до суміші для виробництва цегли фіксууючої добавки з осадів стічних вод у кількості 5 % від її загальної маси спостерігаємо збільшення пористості цегли та її міцності.

Дослідженнями (Drozd & Bizirka, 2011) встановлено, що завдяки додаванню 6 % органо-мінерального порошку на основі осадів стічних вод до суміші для виробництва асфальтобетону спостерігаємо високий коефіцієнт водостійкості та збільшення міцності.

Окрім цього, прикладом успішної утилізації накопиченого осаду стічних вод також є розроблена в НТУ "КПІ" технологія конверсії осаду в цінний кондиційний MnSO₄·5H₂O та сировину для виготовлення керамічних виробів та мінеральних пігментів (Astrelin, 2010).

Також в Україні існує проблема, яка пов'язана із застарілим обладнанням та перевантаженням на очисних спорудах. Зважаючи на це, в деяких містах вже здійснюють роботи з реконструкції та модернізації очисних споруд, завдяки чому осад стічних вод можна буде перетворювати в золу, біогаз тощо. Так, у м. Києві на Бортницькій станції аерації завдяки групі японських проектних організацій TEC International Co., Ltd., Nihon Suiko Sekkei Co., Ltd., та Nippon Koei Co., Ltd буде проведено будівництво Блоку №1, а також реконструкцію Блоку № 2 та 3, на яких буде передбачено біологічне очищення стічних вод зі створенням в аеротенках зон нітрифікації та денітрифікації, а також будівництво гравітаційних та механічних мулоушільнювачів для термоутилізації осаду. Кінцевим продуктом очищення стіч-

них вод буде зола, яку можна використовувати у промисловості (Proekt, 2013).

На Дніпровському та Володимирському водопроводах у м. Києві осад стічних вод використовують для інтенсифікації процесу коагуляції, що дає змогу економити до 30 % коагулянта $Al_2(SO_4)_3$. Встановлено також, що осад стічних вод можна використовувати для регенерації коагулянтів. Завдяки цьому у виробництво можна повернути близько 80 % відпрацьованих коагулянтів та зменшити об'єми накопичення осадів стічних вод (Sorokina & Kozlovska, 2012).

У м. Львові на очисних спорудах планується будівництво біогазової станції. Ця станція буде складатися зі споруд для зброджування у метантенках осаду первинних відстійників та надлишкового активного мулу аеротенків. Біогаз, що утвориться внаслідок зброджування, будуть використовувати для виробництва електричної та теплової енергії (Kiziev et al., 2016; Proekt, 2017).

Враховуючи проблеми, які склалися в містах України з накопиченням великої кількості осадів стічних вод, основним завданням у вирішенні цієї проблеми повинно бути чітке визначення того, який спосіб утилізації буде найдоцільнішим та економічно вигідним. Зважаючи на наявні економіко-екологічні проблеми, найоптимальнішим способом утилізації може бути використання осадів стічних вод як добрив у сільському господарстві або як компонент для створення субстрату для рекультивативі порушених земель, кар'єрів та звалищ.

Висновки. Проаналізувавши літературні джерела, встановлено, що осад стічних вод є цінним матеріальним та енергетичним ресурсом, який можна використовувати як вторинну сировину. Переважно осад стічних вод використовують у сільському господарстві як добрива, проте у світовій практиці існують й інші успішні способи утилізації осадів стічних вод. У США та Китаї його використовують для виробництва біогазу, в Японії та Нідерландах – для виділення цінних компонентів (фосфору, азоту, вуглецю тощо) та виробництва будівельних матеріалів. У деяких країнах Європейського Союзу осад стічних вод використовують для рекультивативі та меліорації порушених земель.

Зважаючи на успішний досвід утилізації осадів стічних вод, Україна повинна запозичувати досвід інших держав світу, в яких більшу частину утворених осадів використовують як вторинну сировину, що дає змогу виконати не лише природоохоронне завдання, але й економічне. Перспективним способом утилізації осадів стічних вод для України є виготовлення на їх основі субстратів для рекультивативі техногенно порушених земель, а також використання їх у сільському господарстві.

Перелік використаних джерел

- Ahmed, H. Kh., Fawy, H. A., & Abdel-Hady, E. S. (2010). Study of sewage sludge use in agriculture and its effect on plant and soil. *Agriculture and Biology Journal of North America*, 1(5), 1044–1049. <https://doi.org/10.5251/abjna.2010.1.5.1044.1049>
- Arulrajah, A., Disfani, M. M., Suthagaran, V., & Imteaz, M. (2011). Select chemical and engineering properties of wastewater biosolids. *Waste management*, 31(12), 2522–2526. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.07.014>
- Astrelin, I. M. (2010). The current state of the problem of accumulation and recycling of waste water in Ukraine. (Ser. Khimiia, khimichna tekhnologija ta ekologija). *Collection of Scientific Papers "Vestnik NTU "KhPI"*, 10, 35–51. [In Russian].
- Chen, H., Yan, S.-H., Ye, Z.-L., Meng, H.-J., & Zhu, Y.-G. (2012). Utilization of urban sewage sludge: Chinese perspectives. *Environmental Science and Pollution Research*, 19(5), 1454–1463. <https://doi.org/10.1007/s11356-012-0706-0>
- Di Bonito, M. (2008). Sewage sludge in Europe and in the UK: Environmental impact and improved standards for recycling and recovery to land. *Environmental Geochemistry*, 251–286. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53159-9.00011-5>
- Donatello, S., & Cheeseman, C. R. (2013). Recycling and recovery routes for incinerated sewage sludge ash (ISSA): A review. *Waste Management*, 33(11), 2328–2340. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.05.024>
- Drozd, G. Ia., & Bizirka, I. I. (2011). Sewage sludge as asphalt modifier. *Collection of Scientific Papers DonGTU*, 34, 199–205. [In Russian].
- Du, H., & Li, F. (2017). Characteristics of dissolved organic matter formed in aerobic and anaerobic digestion of excess activated sludge. *Chemosphere*, 168, 1022–1031. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.10.108>
- Dubovyi, V. I., & Tabakaieva, M. H. (2014). Effect of sewage sludge on productivity and quality of wheat. *Zbalansovane pryrodokorystuvannia*, 3, 127–131. [In Ukrainian].
- Feng, L., Luo, J., & Chen, Y. (2015). Dilemma of Sewage Sludge Treatment and Disposal in China. *Environmental Science & Technology*, 49(8), 4781–4782. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b01455>
- Fijalkowski, K., Rorat, A., Grobelak, A., & Kacprzak, M. J. (2017). The presence of contaminations in sewage sludge – The current situation. *Journal of Environmental Management*, 203, 1126–1136. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.05.068>
- Hamood, A., & Khatib, J. (2016). Sustainability of sewage sludge in construction. *Sustainability of Construction Materials*, 625–641. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100370-1.00024-x>
- Hara, K. (2009). Sewage sludge treatment and recycling systems in Japan: Trends challenges and future perspectives. *Waste Management*.
- Horodnii, M. M. (2013). Problems of using sewage sludge for fertilizer production. *Visnyk ahrarnoi nauky*, 9, 45–50. [In Ukrainian].
- Jin, L., Zhang, G., & Tian, H. (2014). Current state of sewage treatment in China. *Water Research*, 66, 85–98. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.08.014>
- Kacprzak, M., Neczaj, E., Fijalkowski, K., Grobelak, A., et al. (2017). Sewage sludge disposal strategies for sustainable development. *Environmental Research*, 156, 36–46. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.03.010>
- Kaletnik, H. M., & Honcharuk, T. V. (2016). Prospects of sewage water use in Vinnytsia to feed the field crops: domestic and foreign experience. *Balanced Natural Resources*, 3, 42–47. [In Ukrainian].
- Kalogo, Y., & Monteith, H. (2012). *Energy and Resource Recovery from Sludge*. IWA Publishing. <https://doi.org/10.2166/9781780404653>
- Karunanithi, R., Szogi, A., Bolan, N. S., Naidu, R., Ok, Y. S., Krishnamurthy, S., & Seshadri, B. (2016). Phosphorus Recovery From Wastes#. *Environmental Materials and Waste*, 687–705. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-803837-6.00027-5>
- Kelessidis, A., & Stasinakis, A. S. (2012). Comparative study of the methods used for treatment and final disposal of sewage sludge in European countries. *Waste Management*, 32(6), 1186–1195. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.01.012>
- Kiziev, M. D., Osadchyi, V. F., & Osadchyi, O. V. (2016). The investment project of reconstruction of sewage treatment plants and construction of biogas station in Lviv. *Bulletin of the National University "Lviv Polytechnic". Series: Management and Entrepreneurship in Ukraine*, 844, 103–112. [In Ukrainian].
- Matsumiya, Y. (2014). *Green Energy Production from Municipal Sewage Sludge in Japan*. Japan Sewage Works Association.
- Mininni, G., Blanch, AR., Lucena, F. & Berselli, S. (2014). EU policy on sewage sludge utilization and perspectives on new approaches of sludge management. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(10), 7361–7374. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3132-0>

- Pavšič, P., Mladenović, A., Mauko, A., Kramar, S., et al. (2014). Sewage sludge/biomass ash based products for sustainable construction. *Journal of Cleaner Production*, 67, 117–124. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.12.034>
- Paya, J., Monzo, J., Borrachero, M. V., & Soriano, L. (2018). Sewage sludge ash. *New trends in Eco-Efficient and Recycled Concrete*, 121–152. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102480-5.00005-1>
- Proekt. (2013). *Rekonstruktsiia Bortnytskoi stantsii aeratsii*. Kyivvodokanal. Retrieved from: <https://www.vodokanal.kiev.ua/rek-bsa/>
- Proekt. (2017). *Proekt vyrobnytstva biohazu. Lvivvodokanal*. Retrieved from: <http://lvivvodokanal.com.ua/aboutus/environment/sewagesludge/>
- Rudnytskyi, Ye. M. (2013). Study the feasibility of using sewage sludge as organic fertilizers in the conditions of Ukraine. *Visnyk ChNTUSH*, 135, 78–86. [In Ukrainian].
- Seiple, T. E., Coleman, A. M., & Skaggs, R. L. (2017). Municipal wastewater sludge as a sustainable bioresource in the United States. *Journal of Environmental Management*, 197, 673–680. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.04.032>
- Sorokina, K. B., & Kozlovska, S. B. (2012). *Technology of sludge processing and utilization*. Kharkiv: KhNAMH, 226 p. [In Ukrainian].
- Twardowska, I., Schramm, K.-W., & Berg, K. (2004). Sewage sludge. *Waste Management Series*, 239–295. [https://doi.org/10.1016/S0713-2743\(04\)80013-8](https://doi.org/10.1016/S0713-2743(04)80013-8)
- Tyagi, V. K., & Lo, S.-L. (2013). Sludge: A waste or renewable source for energy and resources recovery? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25, 708–728. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.029>
- Venkatesan, A. K., Done, H. Y., & Halden, R. U. (2014). United States National Sewage Sludge Repository at Arizona State University – a new resource and research tool for environmental scientists, engineers, and epidemiologists. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(3), 1577–1586. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-2961-1>
- Werle, S. (2015). Sewage Sludge-To-Energy Management In Eastern Europe: A Polish Perspective. *Ecological Chemistry and Engineering S*, 22(3), 459–469. <https://doi.org/10.1515/eces-2015-0027>
- Yang, G., Zhang, G., & Wang, H. (2015). Current state of sludge production, management, treatment and disposal in China. *Water Research*, 78, 60–73. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.04.002>
- Zasidko, I. B., Polturenko, M. S., & Mandryk, O. M. (2017). Sewage sludge as a secondary raw material for the production of bricks. (Ser. Tekhnichni nauky). *Bulletin of the National University of Water Management and Nature Management. Series: Technical Sciences*, 3(79), 104–113. Retrieved from: <http://visnyk.nuwm.edu.ua/index.php/tehn/article/view/262>. [In Ukrainian].
- Zhen, G., Lu, X., Kato, H., Zhao, Y., & Li, Y.-Y. (2017). Overview of pretreatment strategies for enhancing sewage sludge disintegration and subsequent anaerobic digestion: Current advances, full-scale application and future perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 559–577. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.187>
- Zhou, K., Barjenbruch, M., Kabbe, C., Inial, G., & Remy, C. (2017). Phosphorus recovery from municipal and fertilizer wastewater: China's potential and perspective. *Journal of Environmental Sciences*, 52, 151–159. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2016.04.010>
- Petruk, V. H., Vasylykivskyi, I. V., Bezvoziuk, I. I., Petruk, R. V., & Turchyk, P. M. (2013). *Environmental technology. Methods of processing sewage sludge*. (Part 3). Vinnytsia: VNTU, 324 p. [In Ukrainian].

O. M. Shkvirko, I. S. Tymchuk, M. S. Malovanyy
Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

ADAPTATION OF THE WORLD EXPERIENCE IN THE UTILIZATION OF SEWAGE SLUDGE TO THE ECOLOGICAL CONDITIONS OF UKRAINE

This article is devoted to the review of problems with the disposal of sewage sludge. The cleaning of municipal wastewaters leads to the accumulation of a large amount of sediment, which requires a rational and balanced approach to their utilization. Sewage sludge is a valuable energy and material resource that can be used as a secondary raw material. The most popular methods of utilization are: dumping, combustion, used in agriculture as fertilizers, production of building materials. The main technological schemes for utilization of sewage sludge in accordance with these methods are considered. New ways of recycling wastewater used in the world, including land reclamation, quarries and landfills, biogas production and thermal energy, the allocation of valuable elements and metals, as well as adsorbent production, are described. It is established that in the USA and the European Union the predominant amount of precipitates is used in agriculture as fertilizers, and in Japan for the production of building materials. It has been found that using fertilizers on the basis of sewage sludge increases the yield and improves the quality of soil, namely increasing the content of humus. When adding to building materials additive based on the sediment of sewage, a high water resistance coefficient and increased strength. The existing problems connected with the accumulation and utilization of sewage sludge in Ukraine are considered. Most sewage sludge, which are formed on the territory of Ukraine, are subject to dumping on sludge grounds. The possibility of using sewage sludge in the production of building materials and the manufacture of coagulants has been determined. It is established that it is necessary to borrow experience from other countries of the world, in which most of the formed sediments is used as secondary raw material, which allows solving not only environmental protection but also economic task. A promising way to dispose of sewage sludge for Ukraine is the production of substrates for the remediation of technogenically disturbed lands, as well as their use in agriculture.

Keywords: sewage sludge; utilization; secondary raw materials; fertilizers; building materials.