

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202102-301>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/301>

УДК 628.38

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ОБРОБКИ ТА УТИЛІЗАЦІЇ ВТОРИННИХ ОСАДІВ ГОСПОДАРСЬКО-ПОБУТОВИХ СТІЧНИХ ВОД

О.В. Зоріна¹, докт. біолог. наук, Є.О. Маврикін², аспірант

¹ ДУ «Інститут громадського здоров'я ім. О.М. Марзєєва НАМНУ», Київ, Україна; <https://orcid.org/0000-0002-1557-8521>; e-mail: wateramnu@ukr.net;

² Інститут водних проблем і меліорації НААНУ, Київ, Україна; <https://orcid.org/0000-0002-6193-8890>; e-mail: evgeniy_mavrikin@ukr.net

Анотація. На сьогодні забруднення довкілля, зокрема поверхневих вод, спричинило екологічну кризу у багатьох країнах світу. Одним із чинників цього є використання застарілих підходів з обробки та утилізації осадів стічних вод. У роботі проведено вивчення літературних джерел із метою аналізу запропонованих рішень щодо поводження з вторинними осадами господарсько-побутових стічних вод у різних країнах. Для знешкодження осаду стічних вод науковцями розглядається можливість отримання добрива в умовах біосульфидогенезу під час дисиміляційного відновлення малорозчинних сульфатів або застосування технології посиленого окислення. Запропоновано також нову концепцію очищення господарсько-побутових стічних вод загалом, що вирішує питання управління мулом стічних вод на місці, де він утворюється. Основними напрямками сталого управління осадами є використання в сільському господарстві в якості добрива і для рекультивації спустошених або деградованих земель, а також рекуперация енергії спалюванням і альтернативними термічними методами, такими як піроліз, квазіпіроліз і газифікація. Встановлено, що доцільність застосування тієї чи іншої технології утилізації осадів господарсько-побутових стічних вод залежить від багатьох місцевих чинників, зокрема: продуктивності каналізаційної станції; складу та методів обробки стічних вод та їх осадів; ефективності роботи очисних споруд; кліматичного поясу місця розташування каналізаційної системи; доступності енергоносіїв та матеріальних ресурсів тощо. На сьогодні актуальним завданням є запровадження моніторингу якісного складу осадів стічних вод, а також ґрунтів та природних вод за забруднюючими речовинами, що можуть виявлятися у стічних водах відповідного населеного пункту, з метою прийняття оперативних рішень для управління екологічними ризиками, а також проведення наукових досліджень з удосконалення технологій переробки та утилізації осадів стічних вод різного складу в системах сільського господарства, що сприятиме захисту навколишнього природного середовища від забруднень та раціональному використанню земель.

Ключові слова: каналізаційні очисні споруди, осади стічних вод, активний мул

Актуальність. Забруднення навколишнього природного середовища біологічними та хімічними агентами внаслідок виробничої діяльності людини та недосконале природоохоронне законодавство призводять до екологічної кризи в багатьох країнах світу. За інформацією з 4000 європейських сайтів хімічні речовини (пестициди, трибутилол, поліциклічні ароматичні вуглеводні, бромні сполуки тощо) загрожують біологічному розмаїттю майже половини водних об'єктів у континентальному масштабі [1, 2]. Пріоритетними забруднювачами поверхневої води в Україні вважаються: феноли, залізо, нафтопродукти, СПАР, іони важких металів, азот, фосфор, органічні речовини, показники епідемічної безпеки тощо [3, 4]. При цьому економічно прийнятні технології водоочищення та знезараження, що нині використовуються на водопровідних станціях, не спроможні довести

якість поверхневої води до безпечного рівня. Велика кількість небезпечних для здоров'я забруднень транзитом надходять через водопровідні очисні споруди у питну воду та призводять до інфекційних та неінфекційних захворювань населення [5–7].

Значний вплив на склад поверхневої води мають: урбанізовані території, де на фоні кліматичних змін [8] порушуються правила утримання водоохоронних зон (самовільне будівництво на берегах водойм); скиди неочищених або недостатньо очищених поверхневих, виробничих, лікарняних та господарсько-побутових стічних вод [9, 10]; неналежна утилізація утвореного осаду стічних вод [11–13]. Нещодавно дійшли висновку, що в такому осаді потенціально можуть бути присутніми близько 540 видів органічних сполук через їх використання в будівельних матеріалах, фармацевтичних препаратах і товарах

особистої гігієни, при цьому фактично виявили 192 сполуки, з-поміж яких 23 визнали пріоритетними забруднювачами [14]. У мулі стічних вод регулярно виявляються віруси та паразити [15], у великій кількості видів – бактерії та гриби [16], деякі бактерії є патогенними [17].

На жаль, традиційні технологічні підходи, що використовуються в каналізації України, морально застаріли [18]. Зокрема, технологія очищення стоків, що застосовується, дуже складна в експлуатації, має невелику ефективність та велику питому вартість [19]. При цьому захоронення відходів, що утворюються на каналізаційних очисних станціях, а саме осадів із первинних відстійників та після споруд біологічної очистки (сирого осаду, надлишкового активного мулу, надлишкової біоплівки) також називають застарілим та нерациональним використанням земель, що поширено в Україні та щодалі займає усе більші площі й призводить до забруднення довкілля [20–22]. Актуальність проблеми впровадження сучасних технологій поводження з осадами-відходами відображена в низці Законів та нормативних документів України, при цьому ігнорується сам факт відсутності технологій з їх утилізації [23].

Мета: проаналізувати запропоновані у світі рішення щодо поводження з вторинними осадами каналізаційних господарсько-побутових стічних вод.

Результати досліджень. Осади стічних вод залежно від способів їх обробки та видалення поділяють на види: первинні – грубі, важкі, жирові, сирі; вторинні – активний мул вторинних відстійників, анаеробно сброжений у метантенках, аеробно стабілізований активний мул або його суміш з осадом первинних відстійників, активний мул із згущувачів, підсушені на мулових майданчиках чи термічно висушені [24]. Склад та кількість осадів стічних вод залежить від типу, режиму експлуатації й ефективності роботи споруд для механічного та біологічного очищення стічних вод, а міських стічних вод – також від кількості й виду виробничих стічних вод, що очищаються разом із господарсько-побутовими, інших технологічних параметрів [25, 26].

Основне завдання обробки осадів стічних вод полягає в отриманні кінцевого продукту, властивості якого забезпечують можливість його утилізації або зводять до мінімуму шкоду довкіллю [25]. Загалом на очисних спорудах застосовують такі процеси обробки осадів стічних вод: попереднє ущільнення (або згущення); аеробну стабілізацію

в стабілізаторах при продуктивності станції 64–100 тис. м³/добу чи анаеробну стабілізацію в метантенках при продуктивності станції понад 100 тис. м³/добу; механічне зневоднення з попереднім кондиціонуванням осадів на вакуум-фільтрах, фільтр-пресах або центрифугах; зневоднення на мулових майданчиках; термічну обробку шляхом сушіння і спалювання. Аеробну стабілізацію здійснюють в аераційних спорудах типу аеротенків, вона полягає в тривалій аерації осаду, де частина органічної речовини осадів окиснюється в результаті аеробних біохімічних процесів за температури 14–25 °С. За такої технології не відбувається знезаражування і дегельмінтизації, тому вона не забезпечує вимог для безпечного використання осадів як органічних добрив. Аеробний біохімічний процес розкладання органічних сполук можна проводити методом компостування. Результатом є знезаражування, зниження вологості, покращення фізико-механічних властивостей осадів. За результатами досліджень економічно вигіднішими технологіями обробки осадів стічних вод є компостування у валках і тунельне компостування [27]. Метод забезпечує необхідні характеристики для використання осадів як органічного добрива [25]. Його альтернатива – вермікомпостування – становить собою сучасну, недорогу і екологічно чисту біотехнологію, в якій дощові черв'яки використовуються в якості природних біореакторів для розкладання органічних речовин. Вони також накопичують важкі метали таким чином: Cd > Co > Cu > Zn > Ni > Pb > Cr [28]. У процесі компостування та вермікомпостування осаду стічних вод спостерігалися позитивні ефекти від додавання біовугілля, отриманого з мулу стічних вод, при цьому поліпшується біодоступність фосфору та поліциклічних ароматичних вуглеводнів [29–31].

Анаеробну стабілізацію або зброджування здійснюють в інженерних спорудах: септиках (при продуктивності станції до 25 м³/доб), двоярусних відстійниках або освітлювачах (при продуктивності станції до 10 тис. м³/доб), метантенках (при продуктивності станції більше 10 тис. м³/доб), де під час метанового зброджування відбувається анаеробне розкладання близько 70 органічних речовин із виділенням переважно метану і вуглекислого газу. За умови проведення процесу в цих спорудах в термофільних умовах (температура 53 °С) забезпечується повне знезаражування осадів і повна дегельмінтизація осадів, що є достатнім для безпечного використання в подальшому як органічного

добрива [25, 32–34]. При цьому утворюється інший побічний продукт – дігестат, який все ще містить велику кількість поживних (амоній, фосфат і калій) та забруднюючих речовин і потребує обробки. Було доведено, що використання дігестатів може замінити або скоротити використання мінеральних добрив у виробництві сільськогосподарських рослин [35]. Дігестат успішно застосовується з іншими відходами в якості органічної фракції в процесі вермікомпостування [36].

Як зазначалося вище, використання мулових майданчиків для захоронення осаду стічних вод – це традиційний та, на жаль, застарілий нераціональний підхід поводження з осадом господарсько-побутових стічних вод [37], поширений в Україні (> 95%), а у Німеччині задекларовано повну відмову від такого складування осадів стічних вод, на майданчики дозволено складувати лише осади з умістом органічної речовини менше 5% [27]. Зневоднений на мулових майданчиках або механічно осад стічних вод можна змішувати з неродючим ґрунтом, торфом, іншими домішками [25]. Використання новітніх сушарок для підсушеного осаду на мулових майданчиках вологістю 60–70% дозволяє зменшити його вологість до 25% і нижче. При такому потужному термічному обробленні обсяг зневодненого осаду зменшується у 13 разів [38].

На думку деяких науковців, в Україні значного розповсюдження набуває метод спалювання осадів, що проводять для максимального зменшення їх об'єму. Процес здійснюють переважно в установках із псевдозрідженим шаром піску [25]. Після спалювання осад стічних вод все ще багатий кремнеземом, глиноземом, оксидом кальцію і оксидом заліза, тому його можна використовувати у виробництві будівельних матеріалів [39]. Науковці Інституту газу НАН стверджують, що на сьогодні представляють інтерес низькотемпературні технології утилізації осадів стічних вод, за яких важкі метали залишаються у твердому залишку: піроліз, окислювальний піроліз, газифікація. У процесі газифікації ними отримано генераторний газ та гранули високої твердості, що можна використовувати як наповнювачі у будівництві [24]. Зокрема, у процесі піролізу навіть твердих побутових відходів відсутні шкідливі викиди в довкілля, тобто цей метод є перспективним [40] та планується використовувати при розробці стратегії безпечного видалення осаду стічних вод і відходів біомаси у Китаї [41]. Результати натурних досліджень експериментальних асфальтобетонних покриттів, модифікованих

техногенними відходами (осадом стічних вод), свідчать про високу їх якість, вони не поступаються за своїми показниками покриттю з традиційного асфальтобетону [42]. На думку інших науковців [23], спалювання та використання в будівництві може бути виправдано тільки у випадку неможливості чи економічної недоцільності застосування інших методів утилізації.

У Європі дуже жорсткі нормативи для забруднюючих атмосферне повітря речовин, що виділяються при спалюванні мулового осаду (Директива 2000/76/ЄС) [23]. Однак, попри високі інвестиційні та експлуатаційні витрати, на сьогодні все більше муніципальних підприємств європейських країн споруджують сучасні комплекси із спалювання осадів [44, 45], що рекомендується доукомплектувати камерно-мембранними фільтрами-пресами в одному закритому корпусі [46]. Загалом до переваг термічного методу утилізації мулових осадів належить висока ефективність, знезараження осадів стічних вод від патогенної мікрофлори та значне зниження обсягів депонуваних мулових осадів [23].

Багато дослідників повідомляли про позитивний досвід використання мулу стічних вод для відновлення деградованого природного та антропогенного ґрунту [47], контролю ерозії, стабілізації схилів [48], виробництва харчової добавки до раціону тварин [49], у сільському господарстві [50, 51] для виробництва гумусових ґрунтів [25] та добрив. Однак, використання осадів стічних вод в якості добрив може призводити до великих ризиків для здоров'я людей та забруднення навколишнього середовища [52].

У науковій літературі [53, 54] представлено результати досліджень ступеня фітотоксичності різних за технологією виготовлення осадів стічних вод Бортницької станції аерації ВАТ АК «Київводоканал» і їх сумішей із сирими осадами. Встановлено, що за комплексом еколого-мікробіологічних показників термофільнозброджені аеробно-стабілізовані осади стічних вод є придатними для сільськогосподарської утилізації (пряме внесення, переробка на добрива). Однак існує група міст, осад стічних вод яких через біологічне забруднення треба піддавати ефективнішому знезараженню, достатній рівень якого можна досягнути за дотримання технологічних процесів у циклі оброблення на очисних спорудах, тривалішим періодом витримування на мулових майданчиках (3 роки і більше) або біотермічним переробленням з вуглецевмісними наповнювачами у біокомпости.

У Європі Директивою 86/278/ЄЕС регламентовано застосування мулових осадів стічних вод в якості добрив залежно від способу їх переробки (звичайної або поглибленої) [23]. У Люксембурзі в сільському господарстві використовується 90%, у Фінляндії – 100%, Швейцарії – 70%, Німеччині – 38%, Франції – 23%, Бельгії – 10%, а у середньому у країнах ЄС – 54%, США – 20–45% від річної кількості осадів. У Німеччині осад стічних вод заборонено застосовувати на землях водорозділу, в громадських місцях або парках. У Росії дозволено його застосовувати тільки при вирощуванні зернових, чагарників і технічних культур, а також розсад лісорозсадників. Основні фактори, що гальмують використання осадів стічних вод в якості добрив: в'язка консистенція, відсутність відповідної сільськогосподарської техніки на полях, висока вологість та нерентабельність їх транспортування на відстань більше 4 км, наявність в їх складі патогенних мікроорганізмів, гельмінів, важких металів [55–57]. На сьогодні, на думку науковців, перероблений осад стічних вод розглядається як потенційне джерело забруднення ґрунту органічними і неорганічними забруднювачами і патогенами: потенційно токсичні елементи (цинк, мідь, кадмій, свинець, срібло та ін.); поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАВ); поліхлорбіфеніли (ПХБ); біоциди і фітофармацевтичні препарати; фармацевтичні препарати, засоби особистої гігієни (РПСР) і залишкові продукти; синтетичні гормони; мікропластик; кінцеві продукти життєвого циклу нанотехнологій; і мікроорганізми, такі як *Escherichia coli* або *Salmonella typhimurium* [58].

З метою впровадження технологій повторного використання осадів стічних вод нині є актуальним проведення моніторингу їх складу за вмістом органічних забруднювачів та розробка технологій їх обробки, що сприятимуть зменшенню концентрацій таких речовин [60–62]. Анаеробне перетравлення, компостування, навіть термічна карбонізація осаду стічних вод не гарантують отримання продукту високої якості без забруднень [16, 59].

Науковцями розглядається можливість знешкодження осаду стічних вод шляхом отримання комплексного органо-мінерального добрива в умовах біосульфідогенезу під час дисиміляційного відновлення малорозчинних сульфатів. За характером зміни кінетики виходу біогенного сірководню, зміни концентрації ацетату і швидкості поглинання сульфатів можна здійснювати прогноз процесу біосульфідогенезу та знаходити оптимальні параметри системи [63].

Велику зацікавленість на сучасному етапі розвитку технологій очищення стічних вод та утилізації осадів має технологія посиленого окислення АОР (Advanced Oxidation Process) [64–66], що використовуються для видалення біологічно стійких органічних забруднювачів (ХСК) та для інактивації патогенних мікроорганізмів, які неможливо видалити звичайними методами. Під час застосування методу АОР застосовують такі типи окиснювачів як озон, перекис водню, діоксид титану тощо. Технологія АОР може бути використана для зниження витрати реагентів (заліза, вапна) при кондиціонуванні осаду міських стічних вод у разі фільтрації на камерно-мембранному фільтр-пресі. Економічно і технологічно оптимальнішим співвідношенням $Fe/Ca/H_2O_2$ є 2/5/1 при дозуванні перекису водню (H_2O_2) на рівні 1 г/л. При застосуванні відповідних реагентів у такому співвідношенні можна отримати фільтраційний шлам із залишковою вологістю 64–65%, а при використанні тільки заліза і вапна отримують фільтраційний шлам із залишковою вологістю 72–73%.

Інші науковці пропонують принципово нову технологію для малих та середніх комунальних очисних споруд, що веде до зміни концепції процесу очищення стічних вод загалом та вирішує питання управління мулом стічних вод на місці, де він утворюється. В описаному процесі мул стічних вод адекватно обробляється на спеціальному апараті і може використовуватися як джерело безпатогенного компосту або сировина для простої теплової установки [67].

Загалом українським дослідником [42] зазначено три основні напрями утилізації осаду біологічно очищених стічних вод, що мають переваги, недоліки і невирішені питання, які потребують додаткових досліджень для вибору оптимального варіанта:

- зберігання на мулових майданчиках;
- термічна обробка, що за економічними та екологічними показниками дозволяє виробляти електричну та теплову енергію або отримувати внаслідок потужної термообробки порошок, що доцільно використовувати у дорожньому будівництві;
- використання в якості добрива (звичайного, комбінованого, регуляторів росту). При цьому на кожній каналізаційній станції слід проводити дослідження складу та властивостей локального осаду.

Іспанські науковці [68] вважають, що основними напрямками сталого управління осадом стічних вод є:

а) рекуперация (перетворення стічних вод у матерію): використання в сільському господарстві (безпосередньо в якості добрива) і рекультивация спустошених або деградованих земель;

б) рекуперация енергії спалюванням і альтернативними термічними методами, такими як піроліз, квазіпіроліз і газифікація.

На жаль, нині важливіші рішення, що стосуються обробки осаду стічних вод, все ще приймаються на основі економічних і політичних критеріїв [58]. Однак, питання утилізації осаду є комплексною задачею, до рішення якої слід підходити, враховуючи ще й локальні умови, такі як: наявність існуючої інфраструктури очисних споруд водовідведення, доступність енергоносіїв, кліматичні умови, властивості ґрунту, фауни і флори, вплив осаду стічних вод на екосистеми тощо [69, 70]. Не можна вказати на універсальне рішення поводження з осадами стічних вод, оскільки це залежить від місцевих умов, які можуть сильно варіюватися залежно від регіону або країни [58].

Висновки. Аналіз запропонованих у різних країнах світу рішень щодо поводження з вторинними осадами каналізаційних господарсько-побутових стічних вод дозволив встановити:

1. До перспективних шляхів утилізації осадів господарсько-побутових стічних вод

відносять термічну обробку та використання в якості добрив в системах сільського господарства, що сприятиме захисту навколишнього природного середовища від забруднень та раціональному використанню земель.

2. Доцільність застосування тієї чи іншої технології утилізації осадів господарсько-побутових стічних вод залежить від багатьох місцевих умов, зокрема: продуктивності каналізаційної станції; складу та методів обробки стічних вод та їх осадів; ефективності роботи очисних споруд; кліматичного поясу місця розташування каналізаційної системи; доступності енергоносіїв та матеріальних ресурсів тощо.

Актуальними завданнями сьогодення є:

– проведення моніторингу якісного складу осадів стічних вод, а також ґрунтів та природних вод за забруднюючими речовинами, що можуть виявлятися у стічних водах відповідного населеного пункту, з метою прийняття оперативних рішень для управління екологічними ризиками;

– проведення наукових досліджень з удосконалення технологій переробки та утилізації осадів господарсько-побутових стічних вод різного складу в системах сільського господарства за умов мінімізації сумарних витрат матеріальних та енергетичних ресурсів.

Бібліографія

1. Malaj E., von der Ohe P.C., Grote M. et al. Organic chemicals jeopardize the health of freshwater ecosystems on the continental scale. *PNAS*. 2014. № 111(26). P. 9549–9554.
2. Carlo Fezzi, Amii R. Harwood, Andrew A. Lovett, Ian J. Bateman. The environmental impact of climate change adaptation on land use and water quality. *Nature Climate Change*. 2015. [Electronic resource]. <https://www.sciencedaily.com/releases/2015/03/150320091319.htm>
3. Пічуря В.І., Шахман І.О., Бистрянцева А.М. Просторово-часова закономірність формування якості води в річці Дніпро. *Біоресурси та природокористування*. 2018. № 1–2. С. 44–57.
4. Основи екології : підручник для студ. вищих навч. закладів / В.Г. Бардов та ін. Вінниця : Нова Книга, 2013. 424 с.
5. Зоріна О.В. Наукове обґрунтування можливості використання Дніпровського водосховища в якості джерела питного водопостачання ПАТ «Запоріжсталь» у сучасних умовах. *Біоресурси та природокористування*. 2018. Том. 10. № 1–2. С. 64–72.
6. Shih Wei Huang, Bing Mu Hsu, Yen Jui Su, et al. Occurrence of diarrheagenic *Escherichia coli* genes in raw water of water treatment plants. *Environmental Science and Pollution Research*. 2012. Vol. 19. P. 2776–2783.
7. Liu J.L., Li X.Y., Xie Y.F., Tang H. Characterization of soluble microbial products as precursors of disinfection byproducts in drinking water supply. *Science of The Total Environment*. 2014. Vol. 472. P. 818–824.
8. El-Shehawy R., Gorokhova E., Fernández-Pizas F., F. F. del Campo. Global warming and hepatotoxin production by cyanobacteria: What can we learn from experiments. *Water Research*. 2012. Vol. 46(5). P. 1420–1429.
9. Мосійчук Я.Б., Хоружий П.Д., Недашковський І.П. Удосконалення технологій замкненого водопостачання на підприємствах агропромислового комплексу. *Меліорація і водне господарство*. 2020. № 2. С. 146–153.

10. Cristina Elena, Roca Daniela. Theoretical aspects of advanced methods of wastewater treatment in order to eliminate pollutants from surface waters. *Agronomy Series of Scientific Research*. 2012. Vol. 55(2). P. 33–37.
11. Qu X, Zhao Y, Yu R, Li Y, Falzone C, Smith G, Ikehata K. Health effects associated with wastewater treatment, reuse, and disposal. *Water Environ Res*. 2016. № 88(10). P. 1823–1855.
12. Choudri BS, Charabi Y, Ahmed M. Health effects associated with wastewater treatment. *Water Environ Res*. 2018. Vol. 90(10). P. 1759–1776.
13. Muñoz-Paredes J.F., Ramos-Ramos M. Reactores discontinuos secuenciales: Una tecnología versátil en el tratamiento de aguas residuales. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*. 2014. Vol. 24(1). P. 49–66.
14. Eriksson E., Christensen N., Schmidt J.E., Ledin A. Potential priority pollutants in sewage sludge. *Desalination*. 2008. Vol. 226. P. 371–388.
15. Fraç M., Oszust K., Lipiec J., Jezierska-Tys S., Nwaichi E.O. Soil microbial functional and fungal diversity as influenced by municipal sewage sludge accumulation. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2014. Vol. 11. P. 8891–8908.
16. Fijalkowski K., Rorat A., Grobelak A., Kacprzak M.J. The presence of contaminations in sewage sludge – the current situation. *J. Environ. Manag.* 2017. Vol. 203. P. 1126–1136.
17. Huang K., Mao Y., Zhao F., Zhang X.-X., Ju F., Ye L., Wang Y., Li B., Ren H., Zhang T. Free-living bacteria and potential bacterial pathogens in sewage treatment plants. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 2018. Vol. 102. P. 2455–2464.
18. Бойко І. Модернізація біологічної очистки стічних вод на Чорноморськводоканалі. *Водопостачання. Водовідведення*. 2020. № 4. С. 56–57.
19. Кулаківський С. В., Хоружий П. Д. Удосконалення технології очищення господарсько-побутових стічних вод у локальних системах сільськогосподарської каналізації. *Меліорація і водне господарство*. 2014. Вип. 101. С. 88–97.
20. Розроблення рекомендацій щодо збереження земель завдяки утилізації вмісту мулових карт. Іванова І. М. та ін. *Технічні науки та технології*. 2015. № 1 С. 191–199. http://nbuv.gov.ua/UJRN/tnt_2015_1_32
21. Andrey Mikhailovich Dregulo, Nikolai Gennadievich Bobylev. Integrated Assessment of Groundwater Pollution from the Landfill of Sewage Sludge. *J. Ecol. Eng.* 2021. Vol. 22(1). P. 68–75. [Electronic resource]. <https://doi.org/10.12911/22998993/128872>
22. Горюх Н. П. Экологическая оценка вредных веществ при комплексной утилизации муниципальных отходов. *Коммунальное хозяйство городов*. 2005. № 63. С. 171–181.
23. Альтернативні технологічні рішення проблеми повної утилізації мулового осаду стічних вод. Бабаєв В. М. та ін. *Комунальне господарство міст*. 2018. Вип. 144. С. 32–42.
24. Карп І.М., П'яних К.Є., Нікітін Є.Є. Проблема утилізації та знешкодження мулових осадів міських стічних вод та шляхи її вирішення (огляд). *Енерготехнології і ресурсосбереження*. 2017. № 2. С. 35–48.
25. Шаманський С.Й. Науково-технологічні засади удосконалення екологічно-безпечних процесів водовідведення : дис. ... д-ра тех. наук : 21.06.01. Київ, 2019. 401 с.
26. Малєєв В.О., Безпальченко В.М., Семенченко О.О. Стічні води м. Херсона як регіональна екологічна проблема. *Євроінтеграція екологічної політики України : мат. наук.-практ. конф.*, Одеса, 2020. С. 153–155.
27. Гетманенко В.А., Скрильник Є.В. Науково-організаційні та нормативно-правові аспекти утилізації осадів комунальних стічних вод (на прикладі Європейського досвіду). *Вісник аграрної науки*. 2017. С. 43–49. https://agrovisnyk.com/pdf/ua_2017_02_08.pdf
28. Suleiman H., Rorat A., Grobelak A., Grosser A., Milczarek M., Płytycz B., Kacprzak M., Vandenbulcke F. Determination of the performance of vermicomposting process applied to sewage sludge by monitoring of the compost quality and immune responses in three earthworm species: *Eisenia fetida*, *Eisenia andrei* and *Dendrobaena veneta*. *Bioresour. Technol.* 2017. Vol. 241. P. 103–112.
29. Malińska K., Golańska M., Caceres R., Rorat A., Weisser P., Ślęzak E. Biochar amendment for integrated composting and vermicomposting of sewage sludge- the effect of biochar on the activity of *Eisenia fetida* and the obtained vermicompost. *Bioresour. Technol.* 2017. Vol. 225. P. 206–214.
30. Kończak M., Oleszczuk P. Application of biochar to sewage sludge reduces toxicity and improve organisms growth in sewage sludge-amended soil in long term field experiment. *Sci. Total Environ.* 2018. Vol. 625. P. 8–15.

31. Frišták V., Soja G. Effect of wood-based biochar and sewage sludge amendments for soil phosphorus availability. *Nova Biotechnologica et Chimica*. 2015. Vol. 14. P. 104.
32. Шаманський С.Й., Бойченко С. В. Інноваційні екологічно безпечні технології у водовідведенні : монографія. Київ : Центр учбової літератури, 2018. 320 с.
33. Айрапетян Т.С. Конспект лекцій з дисциплін «Очистка побутових стічних вод» та «Споруди та обладнання водовідведення». Харків : ХНУМГ, 2014. 121 с.
34. Копилевич А.В., Галімова В.М., Лаврик Р.В. Спецпрактикум. Стічні води, очищення та утилізація і знешкодження осадів. Київ : НУБІП, 2015. С. 136.
35. Sogn T.A., Dragicevic I., Linjordet R., Krogstad T., Eijsink V.G.H., Eich-Greatorex S. Recycling of biogas digestates in plant production: NPK fertilizer value and risk of leaching. *Int. J. Recycl. Org. Waste Agric.* 2018. Vol. 7. P. 49–58.
36. Happy City – How to Plan and Create the Best Livable Area for the People / R. Tomanek : edited by A. Brdulak, H. Brdulak. Springer International Publishing, 2017. 273 p.
37. Жукова В. С. Очищення стічних вод від сполук азоту з використанням іммобілізованих мікроорганізмів : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.17.21 «Технологія водоочищення» / Нац. техн. ун-т України «КПІ». Київ, 2013. 19 с.
38. Досвід роботи КП КГ «Харківкомуночиствод» щодо утилізації осадів стічних вод з використанням технології італійських фірм VOMM TAGEOTECK. Корінько І.В. та ін. *Водопостачання та водовідведення*. 2010. № 5. С. 28–29.
39. Samolada M., Zabaniotou A. Comparative assessment of municipal sewage sludge incineration, gasification and pyrolysis for a sustainable sludge-to-energy management in Greece. *Waste Manag.* 2014. Vol. 34. P. 411–420.
40. Капранов С.В., Шулика В.М. Почва, отходы и здоровье человека. Луганск : Янтарь, 2010. 488 с.
41. JinZhang, JunweiJin, MinyanWang et al. Co-pyrolysis of sewage sludge and rice husk/ bamboo sawdust for biochar with high aromaticity and low metal mobility. *Environmental Research*. 2020. Vol. 191. P. 118792. [Electronic resource]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013935120309312?via%3Dihub>
42. Крупко В.А. Аналіз можливостей утилізації осаду очисних споруд. *Вісник Чернігівського державного технічного університету*. 2012. <https://ts-vistnic.stu.cn.ua/index.pl?task=arcls&id=1315>
43. Garrido-Baserba M., Molinos-Senante M., Abelleira-Pereira J.M., Fdez-Güelfo L.A., Poch M., Hernández-Sancho F. Selecting sewage sludge treatment alternatives in modern wastewater treatment plants using environmental decision support systems. *J. Clean. Prod.* 2015. Vol. 107. P. 410–419.
44. Kasina M., Wendorff-Belon M., Rafał Kowalski P., Michalik M. Characterization of Incineration Residues from Wastewater Treatment Plant in Polish City: a Future Waste Based Source of Valuable Elements? *Journal of Material Cycles and Waste Management*. 2019. Vol. 21(4). P. 885–896. doi: 10.1007/s10163-019-00845-1.
45. Vamvuka D., Alexandrakis S., Galetakis M. Combustion Performance of Sludge From a Wastewater Treatment Plant in Fluidized Bed. Factorial Modeling and Optimization of Emissions. *Front. Energy Res.* 2019. Vol. 7. doi: 10.3389/fenrg.2019.00043
46. Zlatkovskiy O., Shevchenko A., Shevchenko T. Use of Fly Ash for Conditioning Excess Activated Sludge During Dewatering on Chamber Membrane Filter Presses. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 3/10(99). P. 17–23.
47. Martínez F., Cuevas G., Calvo R. and Walter I. Biowaste effects on soil and native plants in a semiarid ecosystem. *Journal of Environmental Quality*. 2003. Vol. 32. P. 472–479. <https://doi.org/10.2134/jeq2003.4720>
48. Sort X. and Alcañiz J.M. Effects of sewage sludge amendment on soil aggregation. *Land Degradation and Development*. 1999. Vol. 10(3). P. 3-12. [Electronic resource]. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-145X\(199901/02\)10:13.0.CO;2-0](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-145X(199901/02)10:13.0.CO;2-0)
49. Singh R.P., Agrawal M. Use of sewage sludge as fertiliser supplement for *Abelmoschus esculentus* plants: Physiological, biochemical and growth responses. *International Journal of Environment and Waste Management*. 2009. Vol. 3. № 1/2. P. 91–106.
50. Wu C., Li W., Wang K. and Li Y. Usage of pumice as bulking agent in sewage sludge composting. *Bioresource Technology*. 2015. Vol. 190. P. 516–521. [Electronic resource]. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.03.104>

51. Kominko H., Gorazda K. and Wzorek Z. The possibility of organo-mineral fertilizer production from sewage sludge. *Waste and Biomass Valorization*. 2017. Vol. 8(5). P. 1781–1791. [Electronic resource]. <https://doi.org/10.1007/s12649-016-9805-9>
52. Zahra Zerrouqi, Mohammed Reda Tazi, Abdelhafid Chafi, Abdessamad Zerrouqi. Impact of Sewage Sludge Leaching on Soil Constituents and Quality. *Environmental Research, Engineering and Management*. 2020. Vol. 76(4). P. 87–96.
53. Дишлюк В. С. Мікробіологічна характеристика осадів стічних вод міських очисних споруд та оцінка їх екологічної придатності для використання в землеробстві. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2016. Т. 23. С. 10–16. <https://doi.org/10.35868/1997-3004.23.10-16>
54. Дишлюк В. С., Гаркавий С. І. Екологічно-гігієнічні аспекти застосування осадів стічних вод великих міст і промислових центрів України як нетрадиційних органічних добрив у землеробстві. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2020. Вип. 31. С. 3–15.
55. Colangelo F., Cioffi R., Montagnaro E., Santoro L. Soluble salt removal from MSVI fly ash and its stabilization for safer disposal and recovery as road basement material. *Waste Management*. 2012. № 32 (6). P. 1179–1185. DOI: 10.1016/j.wasman.2011.12.013
56. Cusido J.A., Cremades L.V. Environmental effects of using clau bricks produced with sewage, Leach ability and toxicity studies. *Waste Management*. 2012. № 32(6). P. 1202–1208.
57. Средство повышения плодородия почв на основе осадка сточных вод. Аргунов Н.Д. и др. *Вестник ФГОУ ВПО МГАУ*. 2012. № 2. С. 83–86.
58. Agnieszka Rorat, Pauline Courtois, Franck Vandenbulcke, Sébastien Lemiere. Sanitary and environmental aspects of sewage sludge management. *Industrial and Municipal Sludge*. 2019. P. 155–180. [Electronic resource]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7149543/#bb0280> <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7149543/#bb0280>. doi: 10.1016/B978-0-12-815907-1.00008-8
59. Rojas-Flores, S., De La Cruz-Noriega M., Cabanillas-Chirinos L. et al. Using Lime (*Citrus × aurantiifolia*), Orange (*Citrus × sinensis*), and Tangerine (*Citrus reticulata*) Waste as a Substrate for Generating Bioelectricity. *Environmental Research, Engineering and Management*. 2020. Vol. 75. № 3. P. 24–34.
60. Lamastra L., Suciú N.A., Trevisan M. Sewage sludge for sustainable agriculture: contaminants' contents and potential use as fertilizer. *Chem. Biol. Technol.* 2018. [Electronic resource]. <https://doi.org/10.1186/s40538-018-0122-3>
61. Jaffar Abdul Khaliq S, Ahmed M, Al-Wardy M, Al-Busaidi A, Choudri BS. Wastewater and sludge management and research in Oman: an overview. *J Air Waste Manag Assoc*. 2017. Vol. 67(3). P. 267–278.
62. Zahra Aghalari, Hans-Uwe Dahms, Mika Sillanpää, Juan Eduardo Sosa-Hernandez, and Roberto Parra-Saldívar. Effectiveness of wastewater treatment systems in removing microbial agents: a systematic review. *Global Health*. 2020. [Electronic resource]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6998187/>
63. Пляцук Л. Д., Черниш Е. Ю. Математичне моделювання процесу знешкодження осаду стічних вод в біосульфідогенних умовах. *Вісник НТУ «ХПІ»*. 2013. № 37. С. 148–160.
64. Bhaskar Bethi, Shirish H. Sonawane, Bhanvase A. Bhanvase, Sarah P. Gumfekar. Nanomaterials Based Advanced Oxidation Processes for Wastewater Treatment: A Review. *Chemical Engineering and Processing – Process Intensification*. 2016. Vol. 109. P. 178–189. doi: 10.1016/j.cep.2016.08.016
65. Covinich L.G., Bengoechea D.I., Fenoglio R.J., Area M.C. Advanced Oxidation Processes for Wastewater Treatment in the Pulp and Paper Industry: A Review. *American Journal of Environmental Engineering*. 2014. Vol. 4(3). P. 56–70. doi:10.5923/j.ajee.20140403.03
66. Krishnan S., Rawindran H., Sinnathambi C. M., Lim J. W. Comparison of Various Advanced Oxidation Processes Used in Remediation of Industrial Wastewater Laden with Recalcitrant Pollutants. *29th Symposium of Malaysian Chemical Engineers : materials Science and Engineering*, 2017. Vol. 206. [Electronic resource]. https://www.researchgate.net/publication/317798272_Comparison_of_various_advanced_oxidation_processes_used_in_remediation_of_industrial_wastewater_laden_with_recalcitrant_pollutants. doi:10.1088/1757-899X/206/1/012089
67. Grobelak A., Grosser A., Kacprzak M., Kamizela T. Sewage sludge processing and management in small and medium-sized municipal wastewater treatment plant-new technical solution. *Journal of Environmental Management*. 2019. Vol. 234. P. 90–96.

68. Puyol D., Batstone D.J., Hülsen T., Astals S., Peces M., Krömer J.O. Resource recovery from wastewater by biological technologies: opportunities, challenges, and prospects. *Front. Microbiol.* 2016. № 7. P. 2106.

69. 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. https://www.researchgate.net/publication/332884102_Adaptacia_svitovogo_dosvidu_utilizacii_osadi_v_sticnih_vod_do_ekologicnih_umov_Ukraini

70. Свірідова В.А., Медведєва О.В. Основні проблеми утилізації осадів стічних вод. *Наукові записки*. 2013. Вип. 14. С. 101–105.

References

1. Egina Malaj, Peter C von der Ohe, Matthias Grote, Ralph Kühne, Cédric P Mondy, Philippe Usseglio-Polatera, Werner Brack, & Ralf B Schäfer. (2014). Organic chemicals jeopardize the health of freshwater ecosystems on the continental scale. *PNAS*, 111(26), 9549–9554.

2. Carlo, Fezzi, Amii R. Harwood, Andrew A. Lovett, & Ian J. Bateman. (2015). The environmental impact of climate change adaptation on land use and water quality. *Nature Climate Change*. Retrieved from <https://www.sciencedaily.com/releases/2015/03/150320091319.htm>

3. Pichura, V.I., Shakhman, I.O., & Bistriantseva, A. M. (2018). Prostorovo-chasova zakonomirnist formuvania yakosti vody v pichtsi Dnipro [Spatial-temporal regularity of water quality formation in the Dnieper river]. *Bioresursy ta prirodokorystuvania [Bioresources and nature management]*, 1–2, 44–57. [in Ukrainian]

4. Bardov, V.G., Fedorenko, V.I., Biletskaia, E.M., Vitrizhchak, S.V., Vlasyk, L.I., & Garkavyi, S.V. et al. (2013). *Osnovy ekologii [Principles of Ecology]*. Vinnytsia : New Book, 424. [in Ukrainian]

5. Zorina, O. V. (2018). Naukove obgruntuvanie mozhlivosti vykoristania Dniprovs'kogo vodoshovishcha v yakosti dgerela pytnogo vodopostachania PAT «Zaporozhstal» u suchasnykh umovakh [Scientific substantiation of the possibility of using the Dnieper reservoir as a source of drinking water supply of PJSC “Zaporizhstal” in modern conditions]. *Bioresursy ta prirodokorystuvania [Bioresources and nature management]*, 10, 1–2, 64–72. [in Ukrainian]

6. Shih-Wei Huang, Bing-Mu Hsu, Yen-Jui Su, Dar-Der Ji, Wei-Chen Lin, Jyh-Larng Chen et al. (2012). Occurrence of diarrheagenic *Escherichia coli* genes in raw water of water treatment plants. *Environmental Science and Pollution Research*, 19, 2776–2783.

7. Liu, J.L., Li X.Y., Xie Y.F., & Tang H. (2014). Characterization of soluble microbial products as precursors of disinfection byproducts in drinking water supply. *Science of The Total Environment*, 472, 818–824.

8. El-Shehawy, R., Gorokhova E., Fernández-Pizas F., F. F. del Campo. (2012). Global warming and hepatotoxin production by cyanobacteria: What can we learn from experiments? *Water Research*, 46 (5), 1420–1429.

9. Mosiychuk, Ia.B., Khoruzhchii P.D., & Nedashkovskiy I. P. (2020). Udoskonalenia tekhnologiy zamknutogo vodopostachania na pidpnyemstvakh agropromyslovogo kompleksu [Improvement of technologies of closed water supply at the enterprises of agro-industrial complex]. *Melioratsia I vodne gospodarstvo [Land reclamation and water management]*, 2020, 2, 146–153. [in Ukrainian]

10. Cristina Elena, & Roca Daniela. (2012). Theoretical aspects of advanced methods of wastewater treatment in order to eliminate pollutants from surface waters. *Agronomy Series of Scientific Research*, 55(2), 33–37.

11. Qu X, Zhao Y, Yu R, Li Y, Falzone C, Smith G, & Ikehata K. (2016). Health effects associated with wastewater treatment, reuse, and disposal. *Water Environ Res*, 88(10), 1823–1855.

12. Choudri, B.S., Charabi, Y, & Ahmed, M. (2018). Health effects associated with wastewater treatment. *Water Environ Res*, 90(10), 1759–1776.

13. Muñoz-Paredes, J.F., & Ramos-Ramos, M. (2014). Reactores discontinuos secuenciales: Una tecnología versátil en el tratamiento de aguas residuales. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 24(1), 49–66.

14. Eriksson, E., Christensen, N., Schmidt, J.E., & Ledin, A. (2008). Potential priority pollutants in sewage sludge. *Desalination*, 226, 371–388.

15. Fraç, M., Oszust, K., Lipiec, J., Jezierska-Tys, S., & Nwaichi, E.O. (2014). Soil microbial functional and fungal diversity as influenced by municipal sewage sludge accumulation. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 11, 8891–8908.

16. Fijalkowski, K., Rorat, A., Grobelak, A., & Kacprzak, M. J. (2017). The presence of contaminations in sewage sludge – the current situation. *J. Environ. Manag.*, 203, 1126–1136.
17. Huang, K., Mao, Y., Zhao, F., Zhang, X.-X., Ju, F., Ye, L., Wang, Y., Li, B., Ren, H., & Zhang, T. (2018). Free-living bacteria and potential bacterial pathogens in sewage treatment plants. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 102, 2455–2464.
18. Boyko, I. (2020). Modernizatsiabiologichnoyochistkistichnykh vodnaChornomorskvodokanali [Modernization of biological wastewater treatment at Chornomorskvodokanal]. *Vodopostachannia. Vodovidvedennia [Water supply. Drainage]*, 4, 56–57. [in Ukrainian]
19. Kulakivskiy, S.V., & Khoruzhchiiy, P.D. (2014). Udoskanaltnia tekhnologiy ochishchenia gospodarsko-pobutovykh stichnykh vod u lokalnykh systmakh silskogospodarskoy kanalizatsii [Improving the technology of domestic wastewater treatment in local agricultural sewerage systems]. *Melioratsia I vodne gospodarstvo [Land reclamation and water management]*, 2014, 101, 88–97.
20. Ivanova, I.M., Koteychuk, A.L., Semaka, O.M., & Krupko, V.A. (2015). Rozroblenia rekomen-datsiy zhchodo zberezhennia zemel zavdiaki utilizatsii vmistu mulovykh kart [Development of recom-mendations for land conservation through disposal of silt maps]. *Tekhnichni nauki ta tekhnologii [Technical sciences and technologies]*, 1, 191–199. Retrieved from http://nbuv.gota.tekhnologii.v.ua/UJRN/tnt_2015_1_32. [in Ukrainian]
21. Andrey Mikhailovich Dregulo, & Nikolai Gennadievich Bobylev. (2021). Integrated Assessment of Groundwater Pollution from the Landfill of Sewage Sludge. *J. Ecol. Eng.*, 22(1), 68–75. Retrieved from: <https://doi.org/10.12911/22998993/128872>
22. Gorokh, N.P. (2005). Ekologicheskai otsenka vrednykh vezhestv pri kompleksnoy utilizatsii munitsipalnykh otkhodov [Ecological assessment of harmful substances in the complex utilization of municipal waste]. *Komunalnoe khoziaystvje gorodov [Municipal utilities]*, 63, 171–181. [in Russian]
23. Babaev, V.M., Panov, V.V., Khaylo, Ia.M., Volkov, V.M., Gorokh, M.P. (2018). Alternativni tekhnologichni rishennia problem povnoi utylizatsii mulovogo osady stichnykh vod [Alternative tech-nological solutions to the problem of complete utilization of sludge sludge]. *Komunalne gospodarstvo mist [Municipal utilities]*, 144, 32–42. [in Ukrainian]
24. Karp, I.M., Pianykh, K.E., & Nikitin, E. E. (2017). Problema utilizatsii ta zneshkodzhenia mulovykh osadiv miskikh stichnykh vod ta shliahi ii vyrishennia (oglyad) [The problem of utilization and disposal of sludge in urban wastewater and ways to solve it (review)]. *Energotekhnologii i resur-soberezhennia [Energy technologies and resource saving]*, 2, 35–48. [in Ukrainian]
25. Shamanskiy, S.I. (2019). Naukovo-tekhnologichni zasady udoskonalennia ekologichno bezpechnykh protsesiv vodovidvedennia [Scientific and technological principles of improving environ-mentally friendly drainage processes]: dissertation doctor of technical sciences 21. 06. 01 «ecological safety». National Aviation University. Kyiv, 401. Retrieved from <https://nau.edu.ua/site/variables/news/2019/5/dissertation%20Shamanskii.pdf>. [in Ukrainian]
26. Maleev, V.O., Bezpachenko, V. M., & Semenchenko, O.O. (2020). Stichni vody m. Khersona iak regionalna ekologichna problema [Sewage of Kherson as a regional ecological problem]. *European integration of environmental policy of Ukraine : mat. scientific-practical conf.*, Odessa, 2020, 153–155. [in Ukrainian].
27. Getmanenko, V.A., & Skrylnik, E.V. (2017). [Scientific-organizational and normative-legal aspects of municipal sewage sludge utilization (on the example of European experience)]. *Visnyk agrarnoy nauky [Visnyk agrarnoi nauki]*, 43–49. Retrieved from https://agrovisnyk.com/pdf/ua_2017_02_08.pdf
28. Suleiman, H., Rorat, A., Grobelak, A., Grosser, A., Milczarek, M., Plytycz, B., Kacprzak, M., & Vandenbulcke, F. (2017). Determination of the performance of vermicomposting process applied to sewage sludge by monitoring of the compost quality and immune responses in three earthworm species: *Eisenia fetida*, *Eisenia andrei* and *Dendrobaena veneta*. *Bioresour. Technol.*, 241, 103–112.
29. Malińska, K., Golańska, M., Caceres, R., Rorat, A., Weisser, P., & Ślęzak, E. (2017). Biochar amendment for integrated composting and vermicomposting of sewage sludge- the effect of biochar on the activity of *Eisenia fetida* and the obtained vermicompost. *Bioresour. Technol.*, 225, 206–214.
30. Kończak, M., & Oleszczuk, P. (2018). Application of biochar to sewage sludge reduces toxicity and improve organisms growth in sewage sludge-amended soil in long term field experiment. *Sci. Total Environ.*, 625, 8–15.
31. Frišták, V., & Soja, G. (2015). Effect of wood-based biochar and sewage sludge amendments for soil phosphorus availability. *Nova Biotechnologica et Chimica*, 14, 104.

32. Shamanskiy, S.I., & Boychenko, S.V. (2018). Inovatsiyni ekologichno bezpechni tekhnologii u vodovidvedenni [Innovative environmentally friendly technologies in drainage] : monograph. Kyiv : Center for Educational Literature, 320 [in Ukrainian]
33. Aypetian, T.S. (2014). Konspekt leksiy z disnsiplin “Ochistka pobutovykh stichnykh vod” ta “Sporudy ta obsldnania vodovidvedenia” [Synopsis of lectures on the disciplines “Domestic wastewater treatment” and “Sewerage facilities and equipment”]. Kharkiv : KHNUMG, 2014, 121. [in Ukrainian]
34. Kopilevich, A.V., Galimova, V.M., & Lavrik, R.V. (2015). Spetspraktikum. Stichni vody, ochizhshenia ta utylizatsia I zneshkodzhenia osadiv [Special workshop. Wastewater, treatment and disposal and disposal of sludge]. Kiyv : NUBPK, 136. [in Ukrainian]
35. Sogn, T. A., Dragicevic, I., Linjordet, R., Krogstad, T., Eijsink, V. G. H., & Eich-Greatorex, S. (2018). Recycling of biogas digestates in plant production: NPK fertilizer value and risk of leaching. *Int. J. Recycl. Org. Waste Agric.*, 7, 49–58.
36. Happy City – How to Plan and Create the Best Livable Area for the People / R. Tomanek : edited by A. Brdulak, H. Brdulak. Springer International Publishing, 2017. 273 p.
37. Zhukova, V.S. (2013). Ochizhchenia stichnykh vod vid spoluk azotu z vykoristaniem imobilizovanykh mikroorganizmiv [Wastewater treatment from nitrogen compounds using immobilized microorganisms]. Abstract of the dissertation of the candidate of technical sciences: 05.17.21 «Technology of water purification». Nat. tech. University of Ukraine «KPI». Kiyv, 19. [in Ukrainian]
38. Korinko, I.V., Piligram, S.S., Lessik, M.D., & Smirnova, G.M. (2010). Dosvid roboty KP KG “Kharkivkomunochistvod” zhodo utylizatsii osadiv stichnykh vod z vykoristanniam tekhnologii italiysky firm VOMMTAGEOTECK [Experience of KP KG «Kharkivkomunochistvod» on the disposal of sewage sludge using the technology of Italian companies VOMMTAGEOTECK]. *Vodopostachania ta vodovidvedenia [Water supply and sewerage]*, 5, 28–29. [in Ukrainian]
39. Samolada, M., & Zabaniotou, A. (2014). Comparative assessment of municipal sewage sludge incineration, gasification and pyrolysis for a sustainable sludge-to-energy management in Greece. *Waste Manag.*, 34, 411–420.
40. Kapranov, S. V., & Shupika, V. M. (2010). Pochva, otkhody I zdorovyе cheloveka [Soil, waste and human health]. Lugansk: Amber, 488. [in Russian]
41. JinZhang, JunweiJin, MinyanWang, Ravi Naidu, Yanju Liu, Yu Bon Man, Xinqiang Liang, Ming Hung Wong, Peter Christine, Yan Zhang, Chengfang Song, & Shengdao Shan. (2020). Co-pyrolysis of sewage sludge and rice husk/ bamboo sawdust for biochar with high aromaticity and low metal mobility. *Environmental Research.*, 2020, 191, 118792. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013935120309312?via%3Dihub>
42. Krupko, V.A. (2012). Analiz mozhlyvostey utilizatsii osadu ochisnykh sporud [Analysis of sewage sludge utilization possibilities]. *Visnyk Chernigivskogo derzhavnogo tekhnichnogo universitetu [Visnyk of Chernihiv State Technical University]*. Retrieved from <https://ts-vistnic.stu.cn.ua/index.pl?task=arcls&id=1315>. [in Ukrainian]
43. Garrido-Baserba, M., Molinos-Senante, M., Abelleira-Pereira, J.M., Fdez-Güelfo, L.A., Poch, M., & Hernández-Sancho, F. (2015). Selecting sewage sludge treatment alternatives in modern wastewater treatment plants using environmental decision support systems. *J. Clean. Prod.*, 107, 410–419.
44. Kasina, M., Wendorff-Belon, M., Rafał Kowalski, P., & Michalik, M. (2019). Characterization of Incineration Residues from Wastewater Treatment Plant in Polish City: a Future Waste Based Source of Valuable Elements? *Journal of Material Cycles and Waste Management.*, 21(4), 885–896. doi: 10.1007/s10163-019-00845-1
45. Vamvuka, D., Alexandrakis, S., & Galetakis, M. (2019). Combustion Performance of Sludge From a Wastewater Treatment Plant in Fluidized Bed. Factorial Modeling and Optimization of Emissions. *Front. Energy Res.*, 7. doi: 10.3389/fenrg.2019.00043
46. Zlatkovskiy, O., Shevchenko, A., & Shevchenko, T. (2019). Use of Fly Ash for Conditioning Excess Activated Sludge During Dewatering on Chamber Membrane Filter Presses. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3/10(99), 17–23.
47. Martínez, F., Cuevas, G., Calvo, R., & Walter, I. (2003). Biowaste effects on soil and native plants in a semiarid ecosystem. *Journal of Environmental Quality*, 32, 472–479. Retrieved from <https://doi.org/10.2134/jeq2003.4720>
48. Sort, X., & Alcañiz, J. M. (1999). Effects of sewage sludge amendment on soil aggregation. *Land Degradation and Development*, 10(3), 3–12. Retrieved from [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-145X\(199901/02\)10:13.0.CO;2-0](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-145X(199901/02)10:13.0.CO;2-0)

49. Singh, R.P., & Agrawal, M. (2009). Use of sewage sludge as fertiliser supplement for *Abelmoschus esculentus* plants: Physiological, biochemical and growth responses. *International Journal of Environment and Waste Management*, 3, 1/2, 91–106.
50. Wu, C., Li, W., Wang, K. & Li, Y. (2015). Usage of pumice as bulking agent in sewage sludge composting. *Bioresource Technology*, 190, 516–521. Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.03.104>
51. Kominko, H., Gorazda, K. & Wzorek, Z. (2017). The possibility of organo-mineral fertilizer production from sewage sludge. *Waste and Biomass Valorization*, 8(5), 1781–1791. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s12649-016-9805-9>
52. Zahra Zerrouqi, Mohammed Reda Tazi, Abdelhafid Chafi, & Abdessamad Zerrouqi. (2020). Impact of Sewage Sludge Leaching on Soil Constituents and Quality. *Environmental Research, Engineering and Management*, 76(4), 87–96.
53. Dyshpliuk, V.E. (2016). Mikrobiologichna kharakteristika osadiv stichnykh vod miskykh ochisnykh sporud ta otsinka ikh ekologichnoi prudatnosti dlia vykorystania v zemlerobstvi [Microbiological characteristics of sewage sludge from urban treatment plants and assessment of their environmental suitability for use in agriculture]. *Silskogospodarska mikrobiologia [Agricultural microbiology]*, 23, 10–16. Retrieved from: <https://doi.org/10.35868/1997-3004.23.10-16>. [in Ukrainian]
54. Dyshpliuk, V.E., & Garkavyi, S.I. (2020). Ekologo-gigienichni aspekty zastosuvania osadiv stichnykh vod velykykh mist I promuslovykh tsestriv Ukrainy iak netradytsiynykh organichnykh dobryv u zemlerobstvi [Ecological and hygienic aspects of sewage sludge use in large cities and industrial centers of Ukraine as non-traditional organic fertilizers in agriculture]. *Silskogospodarska mikrobiologia [Agricultural Microbiology]*, 31, 3–15. [in Ukrainian]
55. Colangelo, F., Cioffi, R., Montagnaro, E., & Santoro, L. (2012). Soluble salt removal from MSWI fly ash and its stabilization for safer disposal and recovery as road basement material. *Waste Management*, 32 (6), 1179–1185. DOI: 10.1016/j.wasman.2011.12.013
56. Cusido, J. A., & Cremades, L. V. (2012). Environmental effects of using clay bricks produced with sewage, Leach ability and toxicity studies. *Waste Management*, 32 (6), 1202–1208.
57. Argunov, N.D., Abramov, I.A.K., Salomatina, N.A., Vesiolov, V.M., Zalevskiy V.M., & Miorzlaia G.E. (2012). Sredstvo povysheniya plodorodiya pochv na osnove osadka stochnykh vod [Means of increasing soil fertility based on sewage sludge]. *Vestnik FGOU VPO MGAU [Vestnik FGOU VPO MGAU]*, 2, 83–86. [in Russian]
58. Rojas-Flores, S., De La Cruz-Noriega M., Cabanillas-Chirinos L., et al. (2020). Using Lime (*Citrus × aurantiifolia*), Orange (*Citrus × sinensis*), and Tangerine (*Citrus reticulata*) Waste as a Substrate for Generating Bioelectricity. *Environmental Research, Engineering and Management*, 75, 3, 24–34.
59. Agnieszka Rorat, Pauline Courtois, Franck Vandenbulcke, & Sébastien Lemiere. (2019). Sanitary and environmental aspects of sewage sludge management. *Industrial and Municipal Sludge*, 155–180.
60. Lamastra, L., Suciù, N. A., & Trevisan, M. (2018). Sewage sludge for sustainable agriculture: contaminants' contents and potential use as fertilizer. *Chem. Biol. Technol.* Retrieved from <https://doi.org/10.1186/s40538-018-0122-3>
61. Jaffar Abdul Khaliq S, Ahmed, M., Al-Wardy, M., Al-Busaidi, A., & Choudri, B. S. (2017). Wastewater and sludge management and research in Oman: an overview. *J Air Waste Manag. Assoc.*, 67(3), 267–278.
62. Zahra Aghalari, Hans-Uwe Dahms, Mika Sillanpää, Juan Eduardo Sosa-Hernandez, & Roberto Parra-Saldívar. (2020). Effectiveness of wastewater treatment systems in removing microbial agents: a systematic review. *Global Health*, 16, 13. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6998187/>
63. Pliatsuk L.D., & Chernysh E.Iu. (2013). Matematichne modeliuvania protsesu zneshkodzhenia osadu stichnykh vod v bioculfidogennykh umovakh [Mathematical modeling of the process of sewage sludge disposal in biosulfidogenic conditions]. *Visnyk NTU “KHPi” [Bulletin of NTU “KhPI”]*, 37, 148–160. [in Ukrainian]
64. Bhaskar Bethi, Shirish H. Sonawane, Bhanvase A. Bhanvase, Sarah P. Gumfekar. (2016). NanomaterialsBasedAdvanced Oxidation Processes for Wastewater Treatment: Retrieved from. *Chemical Engineering and Processing – Process Intensification*, 109, 178–189. doi: 10.1016/j.cep.2016.08.016
65. Covinich, L.G., Bengoechea, D.I., Fenoglio, R.J., & Area, M.C. (2014). Advanced Oxidation Processes for Wastewater Treatment in the Pulp and Paper Industry: A Review. *American Journal of Environmental Engineering*, 4(3), 56–70. doi:10.5923/j.ajee.20140403.03

66. Krishnan, S., Rawindran, H., Sinnathambi, C.M., & Lim, J.W. (2017). Comparison of Various Advanced Oxidation Processes Used in Remediation of Industrial Wastewater Laden with Recalcitrant Pollutants. *29th Symposium of Malaysian Chemical Engineers : Materials Science and Engineering*, 206. Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/317798272_Comparison_of_various_advanced_oxidation_processes_used_in_remediation_of_industrial_wastewater_laden_with_recalcitrant_pollutants. doi:10.1088/1757-899X/206/1/012089

67. Anna Grobelak, Anna Grosser, Małgorzata Kacprzak, & Tomasz Kamizela. (2019). Sewage sludge processing and management in small and medium-sized municipal wastewater treatment plant-new technical solution. *Journal of Environmental Management*, 90–96.

68. Puyol D., Batstone D.J., Hülsen T., Astals S., Peces M., & Krömer J.O. (2016). Resource recovery from wastewater by biological technologies: opportunities, challenges, and prospects. *Front. Microbiol.*, 7, 2106.

69. Shidko O.M., Tymchuk I.S., & Maliovanyi M. S. (2019). [Adaptation of the world experience of sewage sludge utilization to ecological conditions of Ukraine]. *Naukoviy vidnyk NLTU Ukraini [Scientific Bulletin of NLTU of Ukraine]*, 29, 2. Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/332884102_Adaptacia_svitovogo_dosvidu_utilizacii_osadi_v_sticnih_vod_do_ekologicnih_umov_Ukraini. [in Ukrainian]

70. Sviridova V.A., & Medvedeva O.V. (2013). Osnovni problem utilizatsii osadiv stichnykh vod [The main problems of sewage sludge disposal]. *Naukovi zapisky [Scientific notes]*, 14, 101–105. [in Ukrainian]

О.В. Зорина, Е.А. Маврикин

Современные подходы к обработке и утилизации вторичных осадков хозяйственно-бытовых сточных вод

Аннотация. На сегодняшний день загрязнение окружающей среды, в частности поверхностных вод, привело к экологическому кризису во многих странах мира. Одной из причин этого является использование устаревших подходов к обработке и утилизации осадков сточных вод. В работе проведено изучение литературных источников с целью анализа предложений по обращению с вторичными осадками хозяйственно-бытовых сточных вод в разных странах. Для обезвреживания осадка сточных вод учеными рассматривается возможность получения удобрения в условиях биосульфидогенеза во время диссимиляционного восстановления малорастворимых сульфатов или использование технологии усиленного окисления. Предложена также новая концепция очистки хозяйственно-бытовых сточных вод в целом, что решает вопросы управления илом сточной воды на месте, где он образуется. Основными направлениями устойчивого управления осадками является их использование в сельском хозяйстве в качестве удобрения и для рекультивации опустошенных или деградированных земель, а также рекуперация энергии сжиганием и альтернативными термическими методами, такими как пиролиз, квазипиролиз и газификация. Установлено, что целесообразность применения той или иной технологии утилизации осадков хозяйственно-бытовых сточных вод зависит от многих факторов, в частности: производительности канализационной станции; состава и методов обработки сточных вод и их осадков; эффективности работы очистных сооружений; климатического пояса места расположения канализационной системы; доступности энергоносителей и материальных ресурсов и т.п. Сегодня является актуальным мониторинг качественного состава осадков сточных вод, а также почв и природных вод относительно загрязняющих веществ, которые могут выявляться в сточных водах соответствующего населенного пункта, с целью принятия оперативных решений для управления экологическими рисками, а также проведение научных исследований по совершенствованию технологий переработки и утилизации осадков сточных вод различного состава в системах сельского хозяйства, что будет способствовать защите окружающей среды от загрязнений и рациональному использованию земель.

Ключевые слова: канализационные очистные сооружения, осадки сточных вод, активный ил.

O. V. Zorina, Y. O. Mavrykin

Modern approaches to treatment and recovery of secondary sludge of domestic sewage

Abstract. For today, pollution of the environment, in particular of surface waters, has led to an environmental crisis in many countries of the world. One of the reasons for this is the use of outdated approaches to the treatment and recovery of sewage sludge. The article presents the results of the study of literary sources in order to analyze the proposals for the treatment of secondary sludge of domestic sewage in different countries. To neutralize sewage sludge, scientists consider the possibility of obtaining fertilizers under conditions of biosulfidogenesis during the dissimilation recovery of poorly soluble sulfates or the use of enhanced oxidation technology.

A new concept of domestic sewage treatment has also been proposed, which can solve the issue of sewage sludge control at the place of its forming. The main areas of sustainable sludge control are its use in agriculture as fertilizer and for the reclamation of devastated or degraded lands, as well as energy recovery by burning and alternative thermal methods such as pyrolysis, quasi-pyrolysis and gasification. It was established that the applicability of this or that technology of sewage sludge recovery depends on many local factors, in particular: productivity of sewage station; composition and methods of sewage treatment and its sediments; efficiency of sewage treatment plants; climatic zone of the sewage system location; availability of energy and material resources, etc.

Today, it is relevant to monitor the qualitative composition of sewage sludge, as well as soils and natural waters regarding pollutants that can be detected in the sewage of the corresponding settlement, in order to make operational decisions to control environmental risks, as well as conduct scientific research to improve recycling and recovery technologies for sewage sludge of various composition in agricultural systems, which will help to protect the environment against pollution and rational use of land.

Key words: *sewage treatment facilities, sewage sludge, activated sludge*