

УДК 662.739

СТАН ТЕХНОЛОГІЙ ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД В УКРАЇНІ ТА СВІТІ

Снєжкін Ю.Ф., академік НАН України, Петрова Ж. А., докт. техн. наук,
Пазюк В. М., докт. техн. наук, Новікова Ю.П., аспірант

Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Марії Канніст, 2а, Київ, 03057, Україна

<https://doi.org/10.31472/tpe.1.2021.1>

В даній статті наведені технології із переробки активних мулових осадів в різних країнах світу, утилізація складає 70%, що суттєво вирішує екологічну проблему.

В данной статье приведены технологии по переработке активных иловых осадков в разных странах мира, утилизация составляет 70%, что существенно решает экологическую проблему.

This article presents technologies for the processing of activated sludge in different countries, utilization is 70%, which significantly solves the environmental problem.

Бібл. 24, табл. 2, рис. 1.

Ключові слова: очисні споруди, стічні води, мулові осади, технологія, утилізація.

Проблема очищення стічних вод

Очисні споруди є потенційним джерелом отримання додаткових сировинних ресурсів, що розглядаються сьогодні як відходи, а також нетрадиційних енергоносіїв, потенціал яких повною мірою не використовується, перш за все, через недоліки сучасних технологій очищення стічних вод. Загалом можна стверджувати, що системи водовідведення працюють як техноекосистеми першого виду (відкриті системи, що на вході споживають ресурси і енергію, а на виході створюють продукт і відходи, що не піддаються рециклінгу).

В Україні за 2016 рік у поверхневій водні об'єкти скинуто близько $7,7 \cdot 10^9$ м³ стічних вод. З них забруднених – близько $1,6 \cdot 10^9$ м³ (21 %), підприємствами промисловості – близько $4,5 \cdot 10^9$ м³. У процесі очищення тільки на комунальних (міських та селищних) каналізаційних очисних спорудах України за цей рік утворилось $45 \cdot 10^6$ м³ біологічно та бактеріологічно забрудненого осаду (зі значним умістом патогенних мікроорганізмів, таких як яйця гельмінтів, аскарид тощо), що також потребує утилізації.

Установлено, що широко використовувані в Україні технології біологічного очищення не забезпечують видалення біогенних елементів. Щорічно разом зі стічними водами у поверхневій водні об'єкти надходить: завислих речовин – $45 \cdot 10^6$ кг; нафтопродуктів – $400 \cdot 10^6$ кг; сульфатів – $800 \cdot 10^6$ кг; хлоридів – $670 \cdot 10^6$ кг; азоту – $10 \cdot 10^6$ кг; нітратів – $60 \cdot 10^6$ кг; нітритів – $2 \cdot 10^6$ кг; СПАР – $0,25 \cdot 10^6$ кг; заліза – $0,770 \cdot 10^6$ кг; фосфатів – $7 \cdot 10^6$ кг [1].

На станціях очищення стічних вод утворюються, окрім очищеної води, група речовин, яку називають осадами стічних вод (ОСВ). Для обробки великих

об'ємів стічних вод використовують системи очищення, засновані на утворенні активного мулу або мулового осаду, який залишається роками на звалищах, які потрібно переробляти [2 – 4].

Бортницька станція аерації (БСА) є єдиною очисною спорудою стічних вод м. Києва та прилеглих міст і селищ Київської області. Запроектована і побудована в 60-і роки минулого століття на 3 млн. т. осадів БСА, сьогодні в ній за різними оцінками знаходиться біля 10 – 14 млн. т. Вся ця маса утримується загороджувальними дамбами, висоту яких вимушені постійно нарощувати через цілодобове надходження зі станції аерації 10000 м³ осадів. Якщо врахувати перепад висот у 46 м між муловими картами і р. Дніпро, то наслідки у випадку прориву дамб будуть катастрофічними. Єдиним необхідним шляхом виходу з цієї ситуації є переробка осадів.

Необхідність проведення досліджень в даній галузі пов'язано з тим, що:

- відбувається збільшення джерел утворення мулових осадів, розширюється географія їх розповсюдження, відповідно, щорічно збільшується об'єм утворення мулових відкладень, як в абсолютних величинах, так і на душу населення;

- ускладнюється склад мулового осаду, що включає в себе все більшу кількість екологічно небезпечних компонентів;

- складається все більш негативне відношення до «традиційних» способів утилізації даного типу відходів – вивезення на звалище;

- законодавство створює жорсткі умови до збереження відходів різного походження;

- недостатньо впроваджені інноваційні технології із утилізації відходів;

- застосовуються нові економічні підходи, що передбачають збільшення ціни за утилізацію відходів і допуску до систем переробки відходів приватних виробництв і великих інвесторів.

Виходячи з вищенаведеного, необхідно розробити комплексну переробку мулових відкладень, що включає в сукупності соціальні, економічні, технологічні, інженерні аспекти і дозволяє забезпечити екологічну безпеку запропонованих рішень на основі світових технологій.

Методи утилізації стічних вод в світі

В індустріально розвинутих країнах на одного мешканця в рік утворюється біля 19 – 20 кг сухих речовин осадів стічних вод. Як видно з таблиці 1, наприклад, при близькій чисельності населення в таких країнах як Франція (54,2 млн. людей) і Англія (56,1 млн. людей) виробництво осадів відрізняється в 2,4 рази: у Франції –

510 тис. т., а в Англії – 1240 тис. т. Україна при населенні 42,22 млн. людей має вищу за сумарну кількість осадів які виробляються в Франції та Англії, а саме – 1802 тис. т. за рік. Лідерами вироблення осадів стічних вод є Росія, США та Німеччина [5 - 7].

Як видно з таблиці 2, досить вагомий відсоток осадів стічних вод заховують на звалищах.

Знешкодження/утилізація осадів стічних вод відбувається за допомогою використання в сільському господарстві (use in agriculture), захоронення на звалищах (disposition), викиду в океан (dumping), або спалювання (incineration).

В табл. 2 вказані способи утилізації осадків стічних вод у розвинутих країнах світу.

В майбутньому країни планують зменшити захоронення на звалищах. В Німеччині планують збільшити використання відходів в сільському господарстві від

Таблиця 1. Кількість осаду стічних вод в різних країнах світу

Країна	Кількість осаду, млн. тон/рік	Джерело
Росія	77,678	[8]
США	7,000	[9,10]
Німеччина	2,750	[11, 12]
Японія	2,300	[13]
Південна Корея	1,902	[5]
Україна	1,802	[14]
Англія	1,240	[11, 12]
Італія	0,800	[11, 12]
Франція	0,510	[12]
Австрія	0,320	[10, 11]
Іспанія	0,300	[11, 12]
Швеція	0,180	[10]

Таблиця 2. Основні методи утилізації осадів стічних вод (в %) [7]

Країна	Використання в с/г	Захоронення на звалищах	Спалювання	Скидання в море, океан
Англія	53	16	7	24
Австрія	20	49	31	-
Німеччина	25	55	15	5
Данія	45	28	18	9
США	25	25	35	15
Італія	20	60	-	20
Франція	23	46	31	-
Фінляндія	40	41	-	19
Швейцарія	50	30	20	-
Швеція	60	30	-	10

25 до 40%. В Фінляндії з загальної кількості осадів, які використовуються у вигляді добрив, одна третина вноситься на поле та одна третина при облаштуванні магістральних доріг; 17% – для міського озеленення і біля 16% компостується [5 - 7].

В розвинутих країнах, таких як Японія та США основним методом утилізації осадів стічних вод є спалювання. Основна перевага методу: мала площа, необхідна для утилізації, незалежність від клімату і часу року, а також мала кількість зольного продукту, що можна безпечно використовувати в дорожньому будівництві.

Крім традиційних способів утилізації осадів стічних вод, наведених в таблиці 2, у світі використовують нові не менш ефективні методи.

На рисунку 1 зображена класична схема обробки стічних вод, яка включає в себе зернисту камеру для виділення твердих часток, первинні та вторинні засоби очищення, аеротенки для біологічного очищення. З первинних відстійників отримується осад та активний мул для подальшої обробки, де спочатку проходить анаеробне перетворення з додатковим отриманням біогазу, далі зневоднюється та поступає для використання в сільському господарстві або для спалювання. Таку схему обробки стічних вод доцільно використовувати на активних відходах.

У країнах Європейського союзу значну перевагу надають аеробній та анаеробній обробці осадів стічних вод. Найчастіше анаеробну обробку осадів стічних вод застосовують в Іспанії, Великій Британії, Італії, Фінляндії та Словаччині, а технології аеробного перетворення осадів стічних вод – у Чехії та Польщі [15].

Дослідженнями встановлено, що під час аеробного перетворення в осаді стічних вод у великій кількості

утворюються гумінові кислоти, а під час анаеробного – білки та ароматичні амі-нокислоти, що є складовою органічно-мінеральних добрив у сільському господарстві [16].

В країнах з високою температурою повітря переробка осадів стічних вод відбувається методом компостування в неглибоких траншеях з примусовою подачею кисню і слабким підігрівом всієї суміші. Термін компостування в умовах Лос-Анджелеса складає три місяці [2].

У деяких країнах Європейського Союзу спостерігається тенденція до зростання обсягів утилізації осадів стічних вод у сільському господарстві. Так, у Німеччині в якості добрива використовуються осадки стічних вод - стабілізовані, компостовані та пастеризовані. Пастеризація здійснюється шляхом їх нагрівання до 65-70°C протягом 20-30 хвилин, що призводить до знищення в них яєць гельмінтів та патогенних мікроорганізмів. Також використовують спосіб спалювання активного мулу як заміників нафти та кам'яного вугілля. Крім того, у Німеччині і Австрії велику увагу приділяють саме розробці установок спільного компостування відходів та осадку стічних вод [17].

В сучасних умовах багато країн застосовують спалювання твердих побутових відходів та осадів стічних вод. Але при цьому вміст твердих речовин в осаді повинен бути не нижчим 40%, а сумарна вологість не більшою за 60%. Попередньо перед спалюванням їх необхідно зневоднити та висушити. Для спалювання осадів застосовують в спеціальних печах (циклонні, барабанні, піч з киплячим шаром). Газоподібні продукти спалювання, такі як окиси сірки, миш'як, важкі метали, а також сірководень і хлор забруднюють атмосферу.

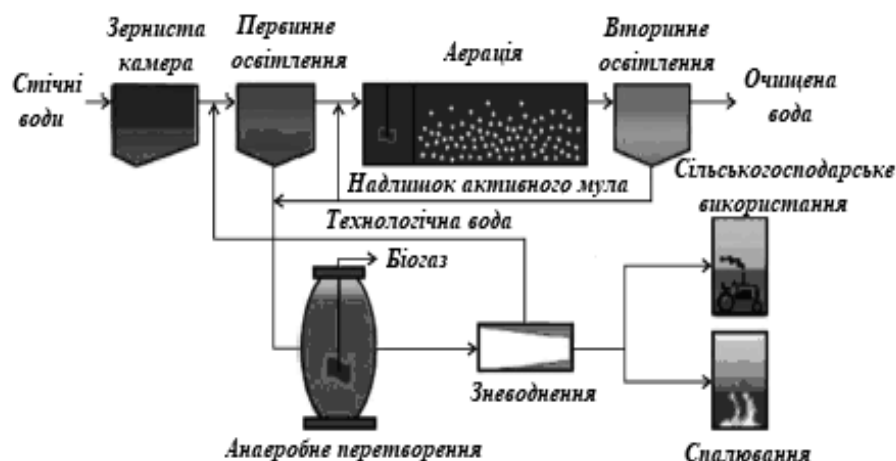


Рис. 1. Класична схема обробки стічних вод

Викид в атмосферу при переробці 1 т відходів складає 27 кг токсичних речовин. Розрахунки підтверджують, що кількість теплової енергії, яка витрачається на спалювання відходів, на 30% перевищує ту енергію, яка отримана при їх утилізації [18].

У Європі набирає все більшу популярність технологія виробництва біовугільних гранул, або АСВ пелет (від англ. Accelerated Carbonized Biomass). В результаті використання цієї технології у біомасі, в тому числі органічних відходах, підвищуються теплота згоряння, енергоємність і поліпшуються параметри горіння. З цієї позиції є цікавим процес карбонізації осадів стічних вод, і в цьому аспекті їх термічна обробка на мулових майданчиках веде не тільки до зменшення обсягів накопичення, але й дає можливість подальшого використання осадів у якості альтернативного палива [19].

Новим наукоємним процесом переробки суміші побутових відходів та осадів стічних вод є низькотемпературний піроліз, який реалізується в Японії, Італії, Німеччині та інших країнах. Піроліз відходів відбувається при температурі 250 - 400°C. Особливістю низькотемпературного піролізу є те, що перероблюваний осад переходить в вуглеводень, спочатку – в газоподібний стан, а після його конденсації отримується основний продукт «сира нафта» [7].

В країнах Європи та у Сполучених Штатах Америки практикують технологію обробки органічних відходів у біогазових установках, основою яких є метантенк. Для ефективної дії сирий осад має завантажуватись попередньо підігрітим і змішаним із збродженим осадом. Співвідношення суміші сирого та збродженого осаду повинно при цьому складати співвідношення 1:10. Біогазова технологія вважається однією з найефективніших способів знезараження та переробки органічних відходів різного походження, з одночасним отриманням біогазу, електроенергії та екологічно чистих добрив [17]. В залежності від класу органічних речовин, що містяться в стічних водах, змінюється склад біогазу і частка метану в ньому.

Останні 40 років в економічно розвинутих країнах – США, Канада, Чехія проводяться дослідницькі роботи з цієї тематики. Встановлено, що активний мул (муловий осад), який утворюється після біологічного очищення стічних вод має високі кормові властивості. Внесення 2 – 3% добавки активного мулу в раціон курей та свиней підвищують приріст на 20% [7].

В Ізраїлі рідкий заброджений осад широко використовується для закріплення рухомих пісків. В багатьох інших країнах з його допомогою створюють

грунтовий шар в піщаних районах. На таких штучно створених землях будуються спортивні майданчики та парки [20].

Новою, але досить дієвою є технологія утилізації осаду із застосуванням вермікультури, що дає змогу суттєво підвищити ефективність очищення та знезараження осаду, зменшити викиди осадів на мулові майданчики. Виготовлення з осаду вермікомпосту є економічним з точки зору ефективності. Вартість переробки однієї тони сухої речовини мулу за допомогою черв'яків складає в середньому 120 грн і виявляється дешевшою порівняно з вартістю його традиційної обробки на полях зрошування або за допомогою обезводнення і компостування. Так як 100% мулового осаду викликає загибель черв'яків, було запропоновано включити біомасу, зокрема листовий спад у співвідношенні 60 до 40% до маси мулового осаду, що є оптимальним [21].

Також у США існує декілька технологій з отриманням відновлювальної енергії, які пов'язані з обробкою осадів стічних вод. Ці технології включають виробництво електричної та теплової енергії, отриманої внаслідок анаеробного перетворення осадів стічних вод [22].

В Україні, на відміну від інших країн, існує проблема так званих мулових майданчиків з «застарілими» муловими осадами, які зберігалися роками і через це майже повністю позбулися органічних домішок, що суттєво ускладнює процес їх переробки. В той час, як у «свіжих» мулових осадах – біля 80% органічних та 20% мінеральних домішок [23]. Території, передбачені для зберігання мулових осадів в Україні в більшості випадків є переповненими і не справляються з безперервними муловими потоками, через що необхідні додаткові площі – понад 120 га /рік [24]. У м. Києві, наприклад, осади не вивозилися більш як 25 років, у м. Херсоні – 25 років, а у м. Сміла – більш як 30 років.

Технології очищення стічних вод в Україні

Одна із наймасовіших технологій очищення стічних вод в Україні передбачає відстоювання стічних вод з утворенням осаду, який в подальшому обробляється метановим збродженням для знешкодження патогенних мікроорганізмів, розкладання жироподібних речовин тощо. Відділена у відстійниках вода направляється до аеротенків, де контактує з активним мулом. Регенований активний мул подається до контактних резервуарів зі споруд регенерації, як правило таких самих аеротенків, як і контактні споруди. Після змішування з активним мулом, під час чого мул абсорбує завислі речовини стічних вод, суміш розділяється у вторинних відстійниках, де утворюється очищена стічна вода та

вторинний осад. Останній розділяється на два потоки – найбільша частина направляєється на регенерацію і потім змішується зі стічними водами, а менша становить надлишковий активний мул і є основною частиною осадів, які утворюються на станціях очищення. Через великий їх об'єм мул обробляється шляхом аеробної стабілізації і направляєється на мулові майданчики, що виводить з обороту значні площі земель та створює екологічну небезпеку як навколишньому середовищу так і самій людині.

Висновки

Аналіз сучасних технологій очищення стічних вод показує, що в світі немає технології переробки застарілих мулових осадів, а в Україні ці технології наразі є недосконалими.

Тому пропонується :

– на основі проведеного літературного огляду проаналізувати сучасний стан існуючих технологій та обладнання отримання біопалива для можливого їх використання в технологіях виробництва композиційного біопалива;

– розробити підготовку сировини до сушіння;

– дослідити тепломасообмінні процеси при сушінні композиційної сировини на основі торфу, застарілих мулових осадів та біомаси;

– розробити технологію гранулоутворення композиційного палива на основі торфу, застарілих мулових осадів та біомаси.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Міністерство з питань комунального господарства України. Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні у 2012 році.* – Київ, 2013. – 450 с.
2. *Хенце М., Армоэс П., Ля-Кур-Янсен Й., Арван Э.* Очистка сточных вод. – М.: Мир, 2006. – 480 с.
3. *Экологическая биотехнология /* Под ред. К.Ф. Форстера, Д.А. Дж. Вейза. – Л.: Химия, 1990. – 384 с.
4. *Лихачев Н.И.* Канализация населенных мест и промышленных предприятий. Справочник проектировщика / Н.И. Лихачев, И.И. Ларин, С.А. Хаскин и др. Под ред. В. Н. Самохина. – 2 изд. – М.: Стройиздат, 1981. – 639 с.
5. *Ahn Y.H., Choi H.C.* Municipal sludge management and disposal in South Korea: status and a new sustainable approach // *Water Science and Technology* – 2004. – V. 50(9). – Pp. 245–253.
6. *Евилевич А. З., Евилевич М. А.* Утилизация осадков сточных вод – Л.: Стройиздат, 1988. – 248 с.
7. *Пахненко Е.П.* Осадки сточных вод и другие нетрадиционные органические удобрения [Электронный ресурс]. URL:<http://files.pilotlz.ru/pdf/cC2968-7-ch.pdf>

8. *Ковальская А.И.* Обеспечение экологической безопасности утилизации иловых осадков // *Экология урбанизированных территорий.* – 2011. – №4. – стр.70–72.

9. *McClellan K.R., Halden R.U.* Pharmaceuticals and personal care products in archived U.S. biosolids from the 2001 EPA National Sewage Sludge Survey // *Water Research* – 2010. – V. 44(2). – Pp. 658–668.

10. *Berbecce A., Radulov I., Sala F. Res. J.* Agricultural use of sewage sludge pros and cons // *Agricult.* – 2008. – V. 40(2). – Pp. 15–20.

11. *Chang A.C., Page A.L.* Developing human health-related chemical guidelines for reclaimed wastewater and sewage sludge applications in agriculture. – Geneva: World Health Organization, 1995. – 114 p.

12. *Vesilind P.A., Spinosa L., Part I.* (Ed.). Sludge production and characterization. Production and regulations. Sludge into biosolids. Processing, disposal and utilization. – London: IWA Publishing, 2001. – Pp. 3–18.

13. *Wang J.Y., Stabnikova O., Tay S.T., Ivanov V., Tay J. H.* Biotechnology of intensive aerobic conversion of sewage sludge and food waste into fertilizer // *Water Science and Technology* – 2004. – V. 49(10). – Pp. 147–154.

14. *Нездойминов В. И., Чернышева А. В.* Миграция ионов тяжелых металлов при использовании осадков городских сточных вод в качестве удобрения // *Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури.* – 2010. –Т. 82, № 2. – С. 150 – 157.

15. *Kaletnik H. M., Honcharuk T. V.* Prospects of sewage water use in Vinnytsia to feed the field crops: domestic and foreign experience // *Balanced Natural Resources.* – 2016. – V. 6(3). – Pp. 42–47.

16. *Du H., Li F.* Characteristics of dissolved organic matter formed in aerobic and anaerobic digestion of excess activated sludge // *Chemosphere.* – 2017. – V. 168 – Pp. 1022–1031.

17. *Европейская практика* обращения с отходами: проблемы, решения, перспективы / Региональное Энергетическое Партнерство. – Санкт-Петербург, 2005. – [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://govorusa.com/books/evropeyskaya-praktika-obrascheniya-s-othodami>

18. *Паёнк Т.* Законодательство Европейского Союза в области утилизации осадков [Текст] // *Водоснабжение и санитарная техника.* – 2003. – № 1. – С. 37 – 41.

19. *Энергия природы.* Заметки с III весеннего биотопливного конгресса «Леспромформ». – 2009. – № 2 (60). – С. 124 – 129.

20. *Ковальчук В.А.* Очистка стічних вод [Монографія]. – Рівне: ВАТ «Рівненська друкарня», 2002. – 662 с.

21. Пашутіна Е.Н., Давыдов С.И. Некоторые вопросы утилизации осадков сточных вод города Луганска // Науковий вісник Луганського НАУ, Серія Біологічні науки. – Луганськ: Елтон-2. – 2010. – №19. – С. 84-87.

22. Kalogo Y., Monteith H. Energy and Resource Recovery from Sludge. – IWA Publishing, 2012. – 192 p.

23. Благоразумова А.М. Обработка и обезвоживание осадков городских сточных вод, 2-е изд., испр. и доп. – СПб: Издательство «Лань», 2014. – 208 с.

24. Сучкова Н. Г. Анализ состояния проблемы рекультивации иловых площадок очистных сооружений городов и перспективы для Харьковского региона // Сб. докладов Международного конгресса «ЭТЭВК-2007» – Экология, технология, экономика водоснабжения и канализации. Ялта, 22–26 мая 2007 г. – К. : НДКТУ-УМГ, 2007. – С. 279–284.

STATE OF WASTEWATER TREATMENT TECHNOLOGIES IN UKRAINE AND THE WORLD

Sniezhkin Yu., Petrova Zh., Paziuk V., Novikova Yu.

Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2a, Marii Kapnist Str., Kyiv, 03057, Ukraine

<https://doi.org/10.31472/tpe.1.2021.1>

In sewage treatment plants, sludge is formed during wastewater treatment, in addition to treated water. They are dumped on silt sites, which occupy large areas and almost all overcrowding. The content of large amounts of minerals and toxic substances in sediments leads to the deterioration of underwater waters and land, which in turn leads to the deterioration of ecology and life in Ukraine. An urgent task in Ukraine is to create a comprehensive processing of sludge, which includes economic, technological, social and environmental aspects.

The main methods of sludge disposal are use in agriculture, landfilling, incineration and dumping into the sea or ocean. The country is gradually trying to abandon the burial. European Union countries also process sludge aerobically and anaerobically. During these processes, components of organo-mineral fertilizers are created that can be used in agriculture. As fertilizers, sludge is composted, stabilized and pasteurized. Combustion of sludge allows to obtain a substitute for coal and oil. To increase the heat of combustion and improve combustion parameters to sludge sludge add coal, biomass. Low-temperature pyrolysis of sewage sludge and household waste, which allows to obtain "crude oil". One of the methods is processing in biogas plants to obtain both biogas and environmentally friendly fertilizers. To increase the efficiency of treatment and reduction of sludge disposal of used stagnation-ments vermiculture.

Analysis of the literature allows us to conclude that there are methods of disposal of sludge, which have become widespread in various countries around the world, such as fertilizers, alternative fuels, landfills and others. When disposing of sludge, it is possible to produce biogas, electricity and heat, which reduces energy costs for the process.

References 24, tables 2, figures 1.

Key words: treatment plants, wastewater, sludge, technology, utilization.

1. *Ministerstvo z pytan komunalnoho hospodarstva Ukrainy. Natsionalna dopovid pro yakist pytnoi vody ta stan pytneho vodopostachannia v Ukraini u 2012 rotsi* [Ministry of Public Utilities of Ukraine. National report on drinking

water quality and drinking water supply in Ukraine in 2012], Kiev. 2013. 450 p. (Ukr.)

2. *Khencze M., Armoe`s P., Lya-Kur-Yansen J., Arvan E`. Ochistka stochny`kh vod* [Wastewater treatment], Mos-cow, Mir [World]. 2006. 480 p. (Rus.)

3. *E`kologicheskaya biotekhnologiya* [Environmental Biotechnology] / Ed. Forstera K.F., Vejza D.A.Dzh, Leningrad, Khimiya [Chemistry]. 1990. 384 p. (Rus.)

4. *Likhachev N.I. Kanalizaciya naseleenny`kh mest i promy`shlenny`kh predpriyatij. Spravochnik proektirovshhika* [Sewerage of settlements and industrial enterprises. Designer handbook] / N.I. Likhachev, I.I. Larin, S.A. Khaskin et al. Ed.V. N. Samokhina. 2nd ed., Moscow, Stroyizdat, 1981. 639 p. (Rus.)

5. *Ahn Y.H., Choi H.C. Municipal sludge management and disposal in South Korea: Status and a new sustainable approach*, Water Science and Technology, 2004. V. 50(9). P. 245–253.

6. *Evilevich A. Z., Evilevich M A. Utilizaciya osadkov stochnykh vod* [Disposal of sewage sludge], Leningrad, Stroyizdat. 1988. 248p. (Rus.)

7. *Pakhnenko E.P. Osadki stochny`kh vod i drugie netradiczionny`e organicheskie udobreniya* [Waste water sediments and other non-traditional organic fertilizers], Electronic resource URL: <http://files.pilotlz.ru/pdf/cC2968-7-ch.pdf>. (Rus.)

8. *Koval`skaya A.I. Obespechenie e`kologicheskoy bezopasnosti utilizaczii ilovy`kh osadkov* [Ensuring the ecological safety of the disposal of silt sediments], *E`kologiya urbanizirovanny`kh territorij* [Ecology of urbanized territories], 2011. №4. P.70–72. (Rus.)

9. *McClellan K.R., Halden R.U. Pharmaceuticals and personal care products in archived U.S. biosolids from the 2001 EPA National Sewage Sludge Survey*, Water Research, 2010. V. 44(2). P. 658–668.

10. *Berbeca A., Radulov I., Sala F. Res. J. Agricultural use of sewage sludge pros and cons*, *Agricult*, 2008, V. 40(2). P. 15–20 .

11. *Chang A.C., Page A.L. Developing human health-related chemical guidelines for reclaimed wastewater and sewage sludge applications in agriculture*, Geneva, World Health Organization, 1995. 114 p.

12. *Vesilind P.A., Spinosa L., Part I. (Ed.). Sludge production and characterization. Production and regulations. Sludge into biosolids. Processing, disposal and utilization*, London, IWA Publishing, 2001. P. 3–18.

13. *Wang J.Y., Stabnikova O., Tay S.T., Ivanov V., Tay J. H. Biotechnology of intensive aerobic conversion of sewage sludge and food waste into fertilizer*, Water Science and Technology, 2004. V. 49(10). P. 147–154.

14. *Nezdojminov V. I., Chernysheva A. V.* Migraciya ionov tyazhelykh metallov pri ispol'zovanii osadkov gorodskikh stoch-nykh vod v kachestve udobreniya [Migration of heavy metals ions by using urban sewage sludge as fertilizer], *Visnyk Donbaskoi Nacionalnoi Akademii budivnytva i arkhitektury* [Bulletin of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture], 2010. V. 82(2). P. 150–157. (Rus.)
15. *Kaletnik H. M., Honcharuk T. V.* Prospects of sewage water use in Vinnytsia to feed the field crops: domestic and foreign experience, *Balanced Natural Resources*, 2016. V. 6(3), P. 42–47.
16. *Du H., Li F.* Characteristics of dissolved organic matter formed in aerobic and anaerobic digestion of excess activated sludge, *Chemosphere*, 2017. V. 168. P. 1022–1031.
17. *Evropejskaya praktika obrashheniya s otkhodami: problemy, resheniya, perspektivy* [European practice of waste management: problems, solutions, prospects] / *Regional'noe Energeticheskoe Partnerstvo* [Regional Energy Partnership], St. Petersburg, 2005. Electronic resource URL: <http://govorusha.com/books/evropeyskaya-praktika-obrascheniya-s-otkhodami>. (Rus.)
18. *Payonk T.* Zakonodatel'stvo Evropejskogo Soyuzu v oblasti utilizacii osadkov [Legislation of the European Union in the field of sludge disposal], *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika* [Water supply and sanitary engineering], 2003. № 1. P. 37 – 41. (Rus.)
19. *E`nergiya prirody* [Energy of nature]. *Zametki s III vesennego biotoplivnogo kongressa «Lesprominform»* [Notes from the III spring biofuel congress "Lesprominform"], 2009. № 2 (60). P. 124–129. (Rus.)
20. *Kovalchuk V.A.* Ochystka stichnykh vod [Wastewater treatment] [Monograph], Rivne, VAT «Rivnenska drukarnia» [OJSC "Rivne Printing House"], 2002. 662 p. (Ukr.)
21. *Pashutina E.N., Davy`dov S.I.* ekotory`e voprosy` utilizacii osadkov stochny`kh vod goroda Luganska [Some questions of utilization of sediments of sewage of the city of Lugansk], *aukovyi visnyk Luhanskoho NAU, Seriya Biolohichni nauky* [Scientific herald of Lugansk NAU, Series Biological sciences], Lugansk, Elton-2, 2010. №19. P. 84-87. (Rus.)
22. *Kalogo Y., Monteith H.* Energy and Resource Recovery from Sludge, IWA Publishing, 2012. 192 p.
23. *Blagorazumova A.M.* Obrabotka i obezvozhivanie osadkov gorodskikh stochny`kh vod [Treatment and dehydration of urban wastewater sludge], 2nd ed., revised. and additional, St. Petersburg, Lan` [Doe], 2014. 208 p. (Rus.)
24. *Suchkova N. G.* Analysis of the problem of treatment plant sludge fields reclamation and perspectives for Kharkiv region, Abstract of the International congress – Ecology, Technology, Economy Water Supply and Sanitation, Yalta, Ukraine, 2007. P. 22–26. (Rus.)

Отримано 27.01.2020

Received 27.01.2020