

ЕКОЛОГО-ГІГІЄНИЧНІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ ОСАДІВ СТІЧНИХ ВОД ВЕЛИКИХ МІСТ І ПРОМИСЛОВИХ ЦЕНТРІВ УКРАЇНИ ЯК НЕТРАДИЦІЙНИХ ОРГАНІЧНИХ ДОБРІВ У ЗЕМЛЕРОБСТВІ

В. Є. Дишлюк¹, С. І. Гаркавий²

¹Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського»
вул. Чайковська, 4; м. Харків, 61024, Україна; e-mail: dyshlyuk_ve@ukr.net

²Національний медичний університет імені О. О. Богомольця
просп. Перемоги, 34; м. Київ, 03057, Україна; e-mail: garsi@i.ua

Мета. Вивчити еколого-гігієнічні та радіоекологічні показники осадів стічних вод (ОСВ) великих міст і промислових центрів України, що були сформовані під впливом постійно зростаючого техногенезу; встановити ступінь забруднення відходів та дати еколого-гігієнічну оцінку придатності їх для системного застосування в землеробстві як нетрадиційних органічних добрив. **Методи.** Санітарно-мікробіологічні, гельмінтологічні, токсикологічні (фізичні, радіохімічні), порівняльно-аналітичні, статистичні. **Результати.** Показано, що в умовах постійно зростаючого техногенезу досліджені ОСВ після заключного витримування на мулових майданчиках за еколого-гігієнічними показниками були переважно придатні для застосування як добрива. Виділено групу міст, де ОСВ мають високий рівень біологічного забруднення і потребують ефективнішого знезаражування. Водночас за рівнем радіоактивного забруднення зазначені ОСВ загалом відповідають сучасному регіональному у-фону і належать до категорії радіоактивно незабруднених. **Висновки.** ОСВ великих міст і промислових центрів України, що були сформовані в умовах зростаючого техногенезу в докризовий період (і техногенної аварії на ЧАЕС), після заключного витримування на мулових майданчиках за еколого-гігієнічними і радіоекологічними показниками загалом відповідають вимогам для застосування як нетрадиційних органічних добрив. Встановлено групу міст, ОСВ 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.

Ключові слова: осадки стічних вод, нетрадиційні органічні добрива, патогенні мікроорганізми, штучні радіонукліди, ступінь забруднення відходів, еколого-гігієнічна оцінка відходів.

Вступ. З розвитком промисловості, ростом міст і підвищенням рівня їх благоустрою збільшуються обсяги міських стічних вод, які піддаються очищенню, і відповідно їхніх осадів (ОСВ). Ситуацію, що склалася в Україні в сфері поводження з ОСВ великих міст і промислових центрів внаслідок утворення їх

великих обсягів і відсутності тривалий час адекватної реакції на створювану ними небезпеку для довкілля і людини, оцінюють як кризову. За оцінками [1; 2] в минулі роки вже накопичено понад 50–55 млн т ОСВ (за сухою речовиною), сумарна площа їх складування у міських і приміських територіях

перевищує 10 тис. га. Крім того, за сучасних технологій очищення міських стічних вод щороку додатково утворюється до 20 млн т ОСВ (95–98 % вологи) [3]. Лише поблизу Києва на Бортницькій станції аерації ПрАТ АК «Київводоканал» утворюється до 5 млн м³/рік рідких ОСВ, а на мулових майданчиках площею 272 га задепоновано 8 млн м³ ОСВ різної вологості [2]. В Україні здебільшого практикується складування ОСВ (95 % від обсягів утворення), як добрива використовується менше 5 % [1; 2; 4], незважаючи на те, що необхідність переробки і утилізації відходів передбачена законодавством [5]. Основні обсяги ОСВ розміщено на мулових майданчиках, накопичувачах, кар'єрах, майданчиках тимчасового зберігання, які здебільшого не відповідають екологічним вимогам. Унаслідок такої практики поводження з ОСВ у місцях їх концентрації останні стають джерелом забруднення довкілля і шкідливого впливу на здоров'я населення [6; 7]. Проблема переробки й утилізації ОСВ великих індустріальних міст типова і потребує невідкладних заходів для їх знешкодження з підтриманням екологічної рівноваги довкілля.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Великі обсяги утворення ОСВ, наявність у них збудників інфекційних захворювань і токсичних речовин зумовлює необхідність піддавати їх спеціальному обробленню і складуванню (похованню) для попередження забруднення навколишнього середовища, а це потребує значних матеріальних витрат і територій. Водночас ці комунальні відходи містять цілий спектр цінних компонентів органічного й неорганічного походження, і за наявності новітніх технологій повторного залучення їх у виробництво дозволяють розширити сировинну базу і на цій основі збільшити масштаби виробництва, частково замінити первинну сировину й ефективніше використовувати природні багатства [8–12]. На думку багатьох дослідників [1–4; 8–12], включення ОСВ до біологічного колообігу дасть можливість розв'язати низку екологічних, аграрних і соціальних проблем. Удобрювальна цінність ОСВ в багатьох випадках еквівалентна тваринному гною і промисловим тукам, що зумовлює необхідність розроблення стратегій безпечного використання їх як нетрадиційних добрив у сільському господарстві (водночас як найбільш ефективно-

го способу утилізації). Грунтовий спосіб утилізації ОСВ практикується у багатьох країнах світу, особливо в США, Канаді, країнах Європейського союзу (ЄС) і має тривалий позитивний досвід [8; 12; 13]. Так, в США як добрива використовують від 20 до 45 % ОСВ від загальних обсягів утворення. В країнах ЄС (у 2010 р.) частка ОСВ, яку застосували в сільському господарстві, становила в середньому 54 % від загальних обсягів утворення, а у Фінляндії — 100 % [14; 15]. У Великій Британії за утворення 1240 тис. т/рік ОСВ (за сухою речовиною) ґрунтовим способом утилізують 45 % від обсягу утворення [16]. Після оброблення ОСВ застосовують у сільському й лісовому господарстві та в процесі рекультивациі земель у рідкому, напіврідкому, напівсухому й сухому стані або ж переробляють на біокомпости, гумусові добрива, рекультиванти [8; 12–15].

Останніми роками привабливість ОСВ як постійно відновлюваного нетрадиційного джерела органічної речовини й елементів мінерального живлення рослин, у зв'язку із повсюдним зниженням родючості ґрунтів, високою вартістю промислових туків і відсутністю традиційних органічних добрив, значно зросла [10–12; 17–19]. Проте, оцінюючи доцільність використання ОСВ як нетрадиційних органічних добрив, потрібно враховувати й їхні негативні якості. ОСВ належать до групи екологічно небезпечних відходів через можливу присутність патогенних мікроорганізмів, а також різних токсичних речовин, що надходять із промисловими стічними водами [19–23]. Тому застосування їх як нетрадиційних органічних добрив у землеробстві через ризики забруднення ґрунтів і середовищ, що з ними контактують, нормується санітарно-гігієнічними і санітарно-хімічними критеріями. В Україні вимоги до ОСВ міст у разі застосування їх як нетрадиційних органічних добрив регламентуються ДСТУ 7369:2013 [24] і КНД 33.-3.3-02-99 [25]. З літератури відомо [20–22], що санітарно-гігієнічна небезпека ОСВ може бути усунута багатьма технологічними способами. Найпоширенішими серед них є зневоднення на мулових майданчиках (1–3 роки залежно від клімату регіону), але навіть після 3 років підсушування на мулових майданчиках у товщі осаду яйця геогельмінтів можуть тривалий час зберігати життєздатність. Пов-

на епідеміологічна безпека ОСВ може гарантуватися за досягнення в процесі технологічного оброблення і знезаражування (до внесення в ґрунт) таких параметрів санітарно-біологічних показників: число лактозопозитивних кишкових паличок та фагів ешерихій має становити не більше, відповідно, 10 000 та 1000 в одному грамі осаду і за відсутності фагів шигел, сальмонел та життєздатних яєць геогельмінтів [20–22].

Санітарно-хімічний обмежувальний чинник, за ґрунтового способу утилізації ОСВ, пов'язано з ризиком токсикологічного забруднення ґрунту і середовищ, що з ним контактують (ґрунтових вод, агроценозів), насамперед важкими металами [18–23]. У публікаціях [26; 27] наведені приклади забруднення ґрунтів до утворення штучних геохімічних провінцій із вмістом токсикантів у ґрунті і ґрунтових водах у кількостях, що перевищують їх природний вміст і гранично допустимі концентрації (ГДК) через екологічно неунормоване застосування ОСВ великих промислових міст (збагачених важкими металами) як нетрадиційних органічних добрив, що через харчові ланцюги може негативно впливати на розвиток рослин, якість рослинницької продукції і здоров'я населення [27–29]. Ризик токсикологічного забруднення ґрунтів також можливий за застосування радіоактивно забруднених ОСВ, які можуть утворюватися в процесі формування стічних вод з різних джерел надходження і за різного ступеня їх оброблення на міських станціях аерації, тому можуть безпосередньо впливати на вміст радіонуклідів у відходах. Також не виключена можливість аерогенного переносу і надходження штучних радіонуклідів до відходів під час зберігання на мулових майданчиках. Припускають небезпеку радіоактивного забруднення ОСВ унаслідок аварії на Чорнобильській АЕС (ЧАЕС), особливо в містах, що розташовані в 100-кілометровій зоні впливу аварії [30], і недоцільність їх використання як органічного добрива через небезпеку забруднення земель [26; 30].

Отже, володіючи інформацією про санітарно-гігієнічні і токсикологічні властивості ОСВ великих міст та керуючись принципами гігієнічної регламентації в питанні встановлення доцільності застосування їх як нетрадиційних добрив, можна не допустити негативного впливу на якість довкілля та здо-

ров'я населення. З огляду на вищезазначене і необхідність максимального зниження рівнів надходження шкідливих організмів і хімічних речовин у біосферу за ґрунтового способу утилізації ОСВ потрібні дослідження для з'ясування параметрів медико-біологічних і токсикологічних (радіоекологічних) показників ОСВ великих міст і промцентрів України, що були сформовані в докризовий період під впливом постійно зростаючого техногенезу (а також техногенної аварії на ЧАЕС), для встановлення доцільності використання як нетрадиційних органічних добрив.

Мета досліджень. Вивчити еколого-гігієнічні і радіоекологічні показники ОСВ великих міст і промцентрів України, що були сформовані в докризовий період розвитку під впливом постійно зростаючого техногенезу, встановити ступінь забруднення цих відходів та дати еколого-гігієнічну оцінку придатності їх для системного застосування в землеробстві як нетрадиційних органічних добрив.

Матеріали та методи досліджень. Нами на базі Української науково-дослідної станції утилізації стічних вод Інституту гідротехніки і меліорації УААН (нині — ДП «Центральна лабораторія якості води та ґрунтів Інституту водних проблем і меліорації НААН») за участі Науково-гігієнічного центру МОЗ України (нині — ДУ «Інститут громадського здоров'я імені О. М. Марзеева» НАМН України) та кафедри комунальної гігієни Національного медичного університету імені О. О. Богомольця МОЗ України в рамках бюджетної тематики проведено комплексні дослідження якісного складу ОСВ великих міст і промцентрів (22 міста з населенням понад 200 тис. жителів і розвиненим промисловим потенціалом у 20 областях, з них 20 — обласних центрів), що включали визначення санітарно-гігієнічних і радіоекологічних показників відходів для встановлення екологічної доцільності застосування їх як нетрадиційних органічних добрив.

Об'єкт дослідження — репрезентативні зразки ОСВ великих міст і промцентрів України (сформовані в докризовий період розвитку суспільного виробництва під впливом постійно зростаючого техногенезу) після заключного витримання у мулових майданчиках.

Лабораторно-аналітичні роботи із зразками ОСВ включали такі визначення: санітарно-

рно-мікробіологічні і бактеріологічні — колі-титр, загальне мікробне обсіменіння, патогенні мікроорганізми (зокрема сальмонели) за загальноприйнятими методиками [31], санітарно-гельмінтологічні (наявність життєздатних і деформованих яєць геогельмінтів) за загальноприйнятими методиками [32]; санітарно-токсикологічні — рівень питомої активності екологічно найбільш небезпечних довгоживучих радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr гамма-спектрометричним методом [33]. В основу оцінки ступеня біологічного і токсикологічного (радіоактивного) забруднення ОСВ міст закладено порівняльний метод, за яким результати досліджень співставляли з нормами і ГДК ДСТУ 7369:2013 [24], градаціями класифікацій з нормування біологічного забруднення ґрунтів, що викладені в публікаціях [34; 35], нормами радіоактивного забруднення нетрадиційних органічних добрив зарубіжного екологічного нормативу, що викладені в публікаціях [10; 36], показниками радіоактивності традиційного органічного добрива (зразки гною ВРХ відібрано в господарстві з нормальним природним фоном ґрунтового покриву — щільність забруднення до $1 \text{ Ки}/\text{км}^2$).

Результати та їх обговорення. Санітарно-бактеріологічними дослідженнями репрезентативних зразків ОСВ встановлено, що за бактеріологічними показниками ці комунальні відходи в більшості великих міст і промцентрів були помірно забрудненими (табл. 1). Згідно з класифікацією [34] до категорії сильнозабруднених за наявністю бактерій групи кишкової палички віднесено ОСВ Вінниці, Кривого Рогу, Сімферополя, Полтави (Супрунівські ОС), Хмельницького і Тернополя (колі-титр їх становить — 10^{-4} – 10^{-3}). До категорії чистих або незабруднених віднесено ОСВ Харкова, Львова, Полтави (Затуринські ОС) і Черкас (колі-титр їх становить 1,0); до категорії відносно чистих або слабозабруднених віднесено ОСВ Дніпра (ЦСА), Донецька, Одеси (СБО «Північна»), Херсона, Сум і Кропивницького (колі-титр їх становить 10^{-1}). В ОСВ усіх великих міст і промцентрів не виявлено патогенних мікроорганізмів (ентеровірусів, ешерихій, шигел, сальмонел). За загальним мікробним обсіменінням ОСВ більшості міст і промцентрів не перевищували звичайних показників, але найбільш бактеріально забрудненими вияви-

лися ОСВ Рівного, Вінниці, Сум і Сімферополя, що свідчить про недостатній ступінь їх знезараження від збудників інфекційних захворювань на очисних спорудах. Санітарно-гельмінтологічними дослідженнями встановлено, що ОСВ більшості міст (Києва, Харкова, Дніпра, Львова, Херсона, Полтави (Затуринські ОС), Чернігова, Черкас, Сум, Кропивницького, Хмельницького і Тернополя) не містять гельмінтів і згідно з нормативом [24] є придатними для застосування як нетрадиційні органічні добрива. Виділено групу міст (Кривий Ріг, Вінниця, Полтава (Супрунівські ОС), Сімферополь), ОСВ яких, згідно з класифікацією С. А. Альфа [35], можуть бути віднесені до категорії помірно інвазивно забруднених, оскільки в них постійно визначалися яйця геогельмінтів (20–40 екз./кг осаду) і найбільша (50–100 %) кількість їх у життєздатній формі.

До категорії помірно забруднених за наявністю яєць геогельмінтів (20–180 екз./кг), але з періодичною появою їх життєздатних форм (20–33 %), віднесено ОСВ Донецька, Житомира, Рівного та Івано-Франківська. Відповідно до санітарних вимог [24; 34; 35] наявність у ОСВ вказаних міст життєздатних яєць геогельмінтів свідчить про непридатність їх для ґрунтового способу утилізації через ризики забруднення ґрунту збудниками паразитарних захворювань, оскільки яйця геогельмінтів можуть зберігати життєздатність у ґрунті 5–7 і більше років після внесення осадів. Забруднені геогельмінтами ОСВ міст і промцентрів треба піддавати повному знезараженню, що досягається ретельнішим дотриманням циклу їх оброблення на очисних спорудах і тривалішим витримуванням на мулових майданчиках до досягнення стерилізаційного ефекту (3–5 років), впровадженням сучасних високоефективних індустриальних способів їх попереднього оброблення [20–22] або ж знезараженням біотермічним способом з отриманням якісних компостів [2; 11; 17–19; 22; 37; 38].

Радіологічними дослідженнями встановлено, що ОСВ міст і промцентрів мали фонові, або дещо вищі від фонових показники радіонуклідного забруднення й належали до категорії незабруднених (табл. 2). У ОСВ окремих міст (Тернопіль, Хмельницький, Житомир і Черкаси) відзначено дещо підвищені середні показники питомої активності ^{137}Cs ,

Таблиця 1. Санітарно-гігієнічні показники осадів стічних вод великих міст і промцентрів України та критерії їх оцінки

Місто, очисні споруди	Бактеріологічні показники				Гельмінтологічні показники	
	колі-титр	загальна мікробна осім'яненість, тис./г осаду			кількість яєць геогельмінтів	
		(Ал) 37 °С	(Ав) 20 °С	Ал : Ав	всього, екз./кг	життє- здатні, %
Київ (Бортницька СА)	10 ⁻²	1000	1500	0,67	0	0
Харків (Безлюдівська СА)	1,0	220	860	0,26	0	0
Дніпро (ЦСА)	10 ⁻¹	200	1000	0,20	0	0
Донецьк	10 ⁻¹	160	500	0,32	20	20
Одеса (СБО «Північна»)	10 ⁻¹	230	950	0,24	15	0
Львів	1,0	80	400	0,20	0	0
Кривий Ріг	10 ⁻³	300	600	0,50	40	50
Маріуполь	10 ⁻²	700	100	7,00	15	10
Миколаїв	10 ⁻²	1000	100	10,0	20	0
Вінниця	10 ⁻⁴	6000	4000	1,50	40	70
Херсон	10 ⁻¹	140	20	7,00	0	0
Сімферополь	10 ⁻³	1200	4000	0,30	20	100
Полтава (Супрунівські ОС) (Затуринські ОС)	10 ⁻³	200	700	0,29	20	70
	1,0	600	1600	0,37	0	0
Чернігів	10 ⁻²	900	1200	0,75	0	0
Черкаси	1,0	130	400	0,32	0	0
Суми	10 ⁻¹	3000	7500	0,40	0	0
Житомир	10 ⁻²	900	400	2,25	180	27
Кропивницький	10 ⁻¹	200	1500	0,13	0	0
Хмельницький	10 ⁻³	1000	1500	0,67	0	0
Рівне	10 ⁻²	8500	4500	1,89	60	30
Івано-Франківськ	10 ⁻²	350	450	0,78	60	33
Тернопіль	10 ⁻³	250	1300	0,19	0	0
Норматив [24]	н/н	н/н	н/н	н/н	н/д	н/д
Норматив [10; 36]	не менше 10 ⁻²	н/н	н/н	н/н	н/д	н/д

Примітка. Ал — алохтонна мікрофлора, Ав — автохтонна мікрофлора; н/н — показник не нормується; н/д — не дозволена наявність життєздатних яєць геогельмінтів.

які перебували в межах 237–295 Бк/кг осаду (хоч в окремих зразках відзначено варіювання активності ¹³⁷Cs — від показників γ-фону до 473,6 Бк/кг осаду). Рівні забруднення ⁹⁰Sr ОСВ міст і промцентрів не перевищували вимог екологічного нормативу [10; 36] (вміст ⁹⁰Sr — не більше 18,5 Бк/кг), за винятком ОСВ Харкова і Черкас з дещо підвищеним вмістом ⁹⁰Sr, що становив відповідно 30,3 і

44,4 Бк/кг осаду. Результати досліджень показали, що рівні забруднення ¹³⁷Cs і ⁹⁰Sr ОСВ міст, розташованих у 100-кілометровій зоні впливу аварії на ЧАЕС (до них нами віднесено Київ, Чернігів і Житомир), були вищими за регіональним γ-фоном (ОСВ Києва і Чернігова) або підвищеними за ¹³⁷Cs до 242 Бк/кг осаду (ОСВ Житомира). З літератури відомо, що в доаварійний період па-

Таблиця 2. Рівень радіоактивного забруднення осадів стічних вод великих міст і промцентрів України та критерії його оцінки

Місто, очисні споруди	Питома активність радіонуклідів, Бк/кг	
	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr
Київ (Бортницька СА)	33,67	11,84
Харків (Безлюдівська СА)	74,55	30,34
Дніпро (ЦСА)	21,72	н/в
Донецьк	18,87	н/в
Одеса (СБО «Північна»)	фонове	фонове
Львів	14,80	6,66
Кривий Ріг	43,42	19,24
Маріуполь	42,18	4,44
Миколаїв	38,48	9,62
Вінниця	фонове	фонове
Херсон	14,80	9,25
Сімферополь	фонове	фонове
Полтава (Супрунівські ОС) (Затуринські ОС)	32,41	8,51
	14,80	10,36
Чернігів	48,47	12,21
Черкаси	294,89	44,4
Суми	фонове	фонове
Житомир	242,09	2,48
Кропивницький	13,88	5,55
Хмельницький	236,8	н/в
Рівне	13,17	4,77
Івано-Франківськ	14,80	4,81
Тернопіль	236,8	н/в
Норматив [10; 36]	не більше 185	не більше 18,5
Норматив для суми радіонуклідів [10; 36]	не більше 1850	

Примітка. Фонове радіоактивне забруднення (нижче $1,0 \times 10^{-10}$ Кі/кг або 3,7 Бк/кг); н/в — не визначали показник.

раметри сумарної радіоактивності ОСВ Києва після термофільного зброджування і зневоднення на мулових майданчиках становили 0,21 Бк/кг [30], а після аварії на ЧАЕС — 37 Бк/кг (за [26]) та 85,1 Бк/кг, зокрема параметри ¹³⁷Cs — 31,9 Бк/кг (за [30]), що узгоджується з нашими визначеннями активності ¹³⁷Cs — 33,7 Бк/кг. В інших наших дослідженнях з вивчення якісного складу ОСВ Києва тривалого зберігання (заскладованих у 1987–1988 рр.) встановлено [39], що через 13 років після аварії на ЧАЕС сумарна радіоактивність (сума γ -квантів) становила в середньому 123,2 Бк/кг осаду проти 111,2 Бк/кг у

гної ВРХ. В ОСВ відзначено зменшення параметрів питомого вмісту ¹³⁷Cs (14,4 Бк/кг) проти ранніх післяаварійних років (31,9 Бк/кг (за [30]) і за нашими визначеннями — 33,7 Бк/кг) на 43–45 % внаслідок природного розпаду радіоізоотопу. У публікації інших дослідників [40] показано результати вивчення якісного складу ОСВ Києва (заскладованих у 1992 і 1996 рр., а також утворених за стадіями технологічного циклу в 2001 р.), з яких видно, що сумарна радіоактивність у відходах, заскладованих через 6 і 10 років після аварії на ЧАЕС, становила відповідно 162 і 158 Бк/кг сухої маси. У ОСВ, сформованих

у 2001 р. (через 15 років після аварії на ЧАЕС), сумарна радіоактивність становила: в активному мулі — 132, сирому осаді — 140, збродженому — 181 і зневодненому осаді — 309 Бк/кг сухої маси.

Дослідженнями радіоактивності ОСВ Одеси після термофільного зброджування і зневоднення на мулових майданчиках (заскладованих у 1990 і 1993 рр.) встановлено [38], що в ранній післяаварійний період (через 7–8 років після аварії на ЧАЕС) вміст штучних радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr у цих відходах характеризувався як фоновий (^{137}Cs — 0,92 і ^{90}Sr — 20,35 Бк/кг) і не перевищував регіонального фону ґрунтів у районі їх застосування (південний регіон), що узгоджується з нашими результатами досліджень. Наступні дослідження ОСВ Одеси [41] на радіоактивність у віддалений післяаварійний період (через 28–29 років після аварії на ЧАЕС) підтвердили раніше отримані результати щодо їх чистоти у радіологічному вимірі (вміст ^{137}Cs становив 1,5 Бк/кг осаду проти 2,2 Бк/кг в ґрунті — чорнозем південний).

Загалом результати наших досліджень з вивчення радіоактивності ОСВ великих міст і промцентрів, сформованих під впливом постійно зростаючого техногенезу (а також техногенної аварії на ЧАЕС), продемонстрували, що в цих комунальних відходах міст щільність забруднення радіонуклідами з тривалим періодом розпаду варіювала в межах: ^{137}Cs — 0,004–0,205 і ^{90}Sr — 0,001–0,018 Кі/км², тобто показники їх радіоактивності були значно меншими, ніж щільність забруднення мінеральних ґрунтів за нормального природного фону (для ^{137}Cs вона становить 1,0 Кі/км², ^{90}Sr — 0,02 Кі/км²) [42], що вказує на безумовну придатність їх за радіоекологічними показниками для використання на добрива.

Отже, аналіз результатів наших досліджень й робіт інших дослідників показав, що у ранній післячорнобильський період рівень радіоактивного забруднення ОСВ більшості міст і промцентрів переважно відповідав сучасному регіональному фону і не перевищував вимог екологічного нормативу [10; 36] для застосування їх як нетрадиційних органічних добрив. Сумарна радіоактивність ОСВ Києва у післячорнобильський період (ранній, віддалений) проти доаварійного зросла, проте її показники не перевищують

вимог екологічного нормативу [10; 36] для застосування їх як нетрадиційних органічних добрив. У віддалений період в ОСВ Києва відзначено зменшення параметрів питомого вмісту ^{137}Cs проти ранніх післяаварійних років на 43–45 % внаслідок природного розпаду радіоізоотопу.

Аналізуючи результати рівня забруднення ОСВ великих міст і промцентрів радіонуклідами з тривалим періодом розпаду ^{137}Cs і ^{90}Sr , ми дійшли висновку про відсутність ознак, які б свідчили про пряму залежність їх параметрів у відходах від територіального поширення радіонуклідів унаслідок аварії на ЧАЕС — (аерогенного переносу і надходження радіонуклідів під впливом переважаючих вітрів: північний і південний напрями — сліди), за винятком ОСВ Києва, де сумарна радіоактивність у післяаварійний період значно зросла. Вказане твердження узгоджується з висновками [43] про те, що радіоактивне забруднення території країни мало нерівномірний, строкатий характер унаслідок постійної зміни напрямку вітру під час аварії, нерівномірного випадання атмосферних опадів, що прискорювало та посилювало випадіння радіоактивних частинок у певних місцях.

Висновки. На підставі власних комплексних досліджень теоретично узагальнено й показано, що ОСВ великих міст і промцентрів України, що були сформовані в умовах зростаючого техногенезу в докризовий період і техногенної аварії на ЧАЕС, після заключного витримування на мулових майданчиках за еколого-санітарними показниками переважно відповідали вимогам для застосування як нетрадиційних органічних добрив. Встановлено групу міст, ОСВ 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 в біокомпости.

За радіоекологічними показниками ОСВ міст належать до категорії незабруднених і можуть бути використані як нетрадиційні органічні добрива. Сумарна радіоактивність ОСВ Києва в післяаварійний період зросла,

проте її показники не перевищували вимог нормативу за використання їх як нетрадиційних органічних добрив, а також показників традиційного органічного добрива (гній ВРХ), зразки якого були відібрані з чистої у радіологічному вимірі території.

ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Дрозд Г. Я. Осадки сточных вод как удобрение для сельского хозяйства. *Водоснабжение и санитарная техника*. 2001. № 12. С. 33–35.
2. Методичні вказівки та рекомендації з біотехнологічних методів переробки та використання органічних відходів міст / заг. ред. : Д. О. Мельничук, М. М. Городній. Київ : ТОВ «Алефа», 2003. 112 с.
3. Дегодюк Е. Г., Дегодюк С. Е. Екологічно-техногенна безпека України. Київ : Екмо, 2006. 305 с.
4. Дрозд Г. Я. Вовлечение депонированных осадков сточных вод в хозяйственный оборот. *Водоснабжение и санитарная техника*. 2013. № 4. С. 11–17.
5. Про відходи : Закон України від 5 берез. 1998 р. № 187/98-ВР. *Відомості Верховної Ради України*. 1998. № 36–37. Ст. 242.
6. Киреева І. С. Актуальні гігієнічні проблеми охорони навколишнього середовища промислових міст України. *Урбанізоване навколишнє середовище: охорона природи та здоров'я людини*. Київ : Мінекобезпеки України, 1996. С. 33–36.
7. Севальнев А. І., Ремжин О. О., Богдановський В. В., Склярів В. Г. Проблеми охорони здоров'я і навколишнього природного середовища з огляду на накопичення відходів виробництва у м. Запоріжжя. *Науковий вісник Національного аграрного університету*. 2000. Вип. 26. С. 48–50.
8. Евилевич А. З., Евилевич М. А. Утилізація осадков сточных вод. Ленинград : Стройиздат, Ленинградское отделение, 1988. 248 с.
9. Цуркан М. А., Архип О. Д., Русу А. П. Городские отходы и способы их утилизации. Кишинев : Штиинца, 1989. 136 с.
10. Орлов Д. С., Садовникова Л. К. Нетрадиционные мелиорирующие средства и органические удобрения. *Почвоведение*. 1996. № 4. С. 517–523.
11. Стратегия использования осадков сточных вод и компостов на их основе в агрикультуре / В. Ф. Ладонин и др. ; под ред. Н. З. Милащенко. Москва : Агроконсалт, 2002. 138 с.
12. Пахненко Е. П. Осадки сточных вод и другие нетрадиционные органические удобрения : учеб. пособ. Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. 311 с.
13. Кофман В. Я. Как поступают в Европе с осадками очистных сооружений канализации (обзор зарубежных изданий). *Водоснабжение и санитарная техника*. 2013. № 4. С. 18–23.
14. 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
15. 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. DOI: 10.1016/j.wasman.2011.12.024
16. Кирейчева Л. В., Хохлова О. Б. Использование сапропелей в качестве кондиционеров осадков сточных вод. *Агрехимический вестник*. 2002. № 4. С. 33–35.
17. Кардиналовская Р. И. Резервы увеличения производства органических удобрений и их использование : обзор. информ. УкрНИИНТИ. Серия 31 : Земледелие и агрохимия. Киев : УкрНИИНТИ, 1985. 37 с.
18. Орлов Д. С., Аммосова Я. М., Садовникова Л. К., Якименко О. С., Андропова Л. А., Бенедиктова А. И., Peschke H., Mollenbauer S., Kruger W., Kretschmann S., Norr C. Удобрения из коры, лигнина и осадков сточных вод: получение, свойства, применение. *Новости науки и техники*. 1997. С. 28–45.
19. Мерзлая Г. Е., Афанасьев Р. А. Агрехимические и экологические особенности использования осадков городских сточных вод для удобрения агроценозов. *Химическая и биологическая безопасность*. 2015. № 1–2. С. 110–115.
20. Найштейн С. Я., Борщ Ю. Г., Вашкулат Н. П., Жулинская В. А., Корчак Г. И., Лейбович Д. Л., Никитина Л. Н. Гигиенические проблемы сельскохозяйственного использования сточных вод и их осадка. *Сельскохозяйственное использование сточных вод : материалы VI междунар. совещ. ученых соц. стран по использованию сточных вод в сельском хозяйстве*. Москва, 1972. С. 265–269.
21. Романенко Н. А., Русаков Н. В., Новосильцев Г. И., Скрипова Л. В., Хижняк Н. И., Веремий А. А. Гигиенические аспекты использования осадков сточных вод в сельском хозяйстве. *Почвенная очистка и утилизация сточных вод и животноводческих стоков : тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф.* Москва : ВНИИГиМ, НПО «Прогресс», 1992. С. 3–7.
22. Чегринцев Г. Я. Наукове обґрунтування гігієнічної регламентації застосування в сільськогосподарському виробництві органічно-мінеральних добрив на основі осадів стічних вод : автореф. дис. ... д-ра мед. наук : 14.00.07. Київ,

1993. 40 с.

23. Дишлюк В. Є. Мікроелементний склад та використання осадів стічних вод міських очисних споруд як органо-мінеральних добрив. *Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету*. 2000. № 1–2. С. 61–62.

24. ДСТУ 7369:2013. Стічні води. Вимоги до стічних вод і їхніх осадів для зрошування та удобрення. [Чинний від 2013-08-22]. Київ : Мінекономрозвитку України, 2014. 9 с. (Інформація та документація).

25. КНД 33.-3.3-02-99. Технологічні та агро-екологічні нормативи використання осадів стічних вод міських очисних споруд у сільському господарстві. [Чинний від 1999-02-26]. Київ : Аграрна наука, 2000. 40 с. (Інформація та документація).

26. Веремий А. А. О формировании искусственных геохимических провинций в зоне орошения сточными водами крупного промышленного города. *Почвенная очистка и утилизация сточных вод и животноводческих стоков* : тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. Москва : ВНИИГиМ, НПО «Прогресс», 1992. С. 78–80.

27. Плеханова И. О., Кутукова Ю. Д., Обухов А. И. Накопление тяжелых металлов сельскохозяйственными растениями при внесении осадков сточных вод. *Почвоведение*. 1995. № 12. С. 1530–1536.

28. Касатиков В. А., Касатикова С. М., Султанов М. М. Поведение тяжелых металлов в системе почва – растение при внесении осадков городских сточных вод. *Агрохимия*. 1999. № 3. С. 56–60.

29. Ильин В. Б. Тяжелые металлы и неметаллы в системе почва – растение : монография. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2012. 220 с.

30. Хижняк Н. И., Сытенко М. А. Гигиенические аспекты использования осадков сточных вод после аварии на Чернобыльской АЭС. *Почвенная очистка и утилизация сточных вод и животноводческих стоков* : тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. Москва : ВНИИГиМ, НПО «Прогресс», 1992. С. 66–67.

31. Методические указания по санитарно-микробиологическому исследованию почвы (МУ 1446-76). Москва : Минздрав СССР, 1977. 47 с.

32. Методические указания по гельминтологическому исследованию объектов внешней сре-

ды и санитарным мероприятиям по охране от загрязнения яйцами гельминтов и обезвреживанию от них нечистот, почвы, овощей, ягод, предметов обихода (МУ 1440-76). Москва : Минздрав СССР, 1976. 39 с.

33. Методические рекомендации по санитарному контролю за содержанием радиоактивных веществ в объектах окружающей среды / под общ. ред. А. Н. Марья и А. С. Зыковой. Москва : Минздрав СССР, 1980. 336 с.

34. Найштейн С. Я. Актуальные вопросы гигиены почвы. Кишинев : Штиинца, 1975. 183 с.

35. Альф С. Л. Яйца геогельминтов как показатель загрязнения почвы. *Загрязнение и самоочищение внешней среды*. Москва : Медицина, 1949. С. 15–21.

36. Орлов Д. С., Садовникова Л. К., Ладонин Д. В. Экологические нормативы на нетрадиционные органические удобрения. *Химия в сельском хозяйстве*. 1995. № 5. С. 35–37.

37. Туровский И. С., Букреева Т. Е., Астахова А. В. Биотермическая обработка осадков сточных вод. *Мелиорация и водное хозяйство*. 1989. Вып. 1. 57 с.

38. Голубченко В. Ф., Попова А. В., Нікула Р. Г. Санітарно-гігієнічні аспекти використання осаду стічних вод як добрива. *Аграрний вісник Причорномор'я*. 1998. Вип. 2. С. 26–32.

39. Дишлюк В. Є. Радіологічна оцінка осадів стічних вод і продуктів їх переробки. *Агроекологічний журнал*. 2012. № 3. С. 31–34.

40. Делалио А., Гончарук В. В., Корнилович Б. Ю., Пшинко Г. Н., Спасенова Л. Н., Криворучко А. П. Утилизация осадков городских сточных вод. *Химия и технология воды*. 2003. Т. 25, № 5. С. 458–464.

41. Дишлюк В. Є., Пиляк Н. В., Лобан Л. Л. Агроекологічна характеристика та оцінка придатності осадів стічних вод очисних споруд м. Одеси на добриво. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2017. Вип. 26. С. 55–62.

42. ДСТУ 4362:2004. Якість ґрунту. Показники родючості ґрунтів. [Чинний від 2004-12-09]. Київ : Держспоживстандарт України, 2006. 19 с. (Інформація та документація).

43. Перепелятніков Г. П. Основи загальної радіоекології : монографія. — 2-ге вид., випр. і доп. Київ : Атіка, 2012. 440 с.

Отримано 03.06.2020

ECOLOGICAL AND HYGIENIC ASPECTS OF THE USE OF SEWAGE SLUDGE OF LARGE CITIES AND INDUSTRIAL CENTRES OF UKRAINE AS UNCONVENTIONAL ORGANIC FERTILIZERS

V. Ye. Dyshliuk¹, S. I. Harkavyi²

¹National Research Center “Institute of Soil Science and Agrochemistry named after O. N. Sokolovsky”, Kharkiv
e-mail: dyshlyuk_ve@ukr.net

²National Medical University, Kyiv; e-mail: garsi@i.ua

Objective. Study ecological, hygienic and radio-ecological parameters of sewage sludge (SS) of large cities and industrial centres of Ukraine, which were formed under the influence of constantly growing technogenesis; establish the degree of waste pollution and give ecological and hygienic assessment of their suitability for systemic use in agriculture as unconventional organic fertilizers.

Methods. Sanitary-microbiological, helminthological, toxicological (physical, radiochemical), comparative-analytical, statistical. **Results.** It was shown that under the conditions of constantly growing technogenesis, ecological and hygienic parameters of the studied SS after the final keeping on sludge beds were predominantly suitable for application as fertilizers. A group of cities where SS have a high level of biological pollution and require more effective disinfection has been allocated. At the same time, in terms of the level of radioactive contamination, these SS predominantly correspond to the modern regional γ -background and belong to the category of radioactively contaminated. **Conclusion.** Ecological, hygienic and radioecological parameters of SS of large cities and industrial centres of Ukraine, which were formed under the conditions of growing technogenesis in the pre-crisis period (and man-made accident at the Chernobyl nuclear power plant), after final keeping on sludge beds generally meet the requirements for use as unconventional organic fertilizers. A group of cities where SS should be subject to more efficient decontamination due to biological pollution, a sufficient level of which can be achieved by adhering to technological processes in the treatment cycle at treatment plants, longer holding period on sludge beds (3 years or more), or biothermal processing with carbon-containing fillers to biocompost has been established.

Key words: sewage sludge, unconventional organic fertilizers, pathogenic microorganisms, artificial radionuclides, degree of waste pollution, ecological and hygienic assessment of waste.

REFERENCES

1. Drozd, G. Ya. (2001). Osadki stochnykh vod kak udobrenie dlya sel'skogo khozyaystva [Sewage sludge as a fertilizer for agriculture]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika — Water supply and sanitary equipment*, 12, 33–35 [in Russian].

2. Mel'nychuk, D. O., & Gorodnij, M. M. (Eds.). (2003). *Metodychni vkazivky ta rekomendacii' z biotekhnologichnykh metodiv pererobky ta vykorystannja organichnykh vidhodiv mist* [Methodical instructions and recommendations on biotechnological methods of processing and use of organic waste of cities]. Kyiv: Alefa [in Ukrainian].

3. Degodjuk, E. G., & Degodjuk, S. E. (2006). *Ekologo-tehnogenna bezpeka Ukrai'ny* [Ecological and technogenic safety of Ukraine]. Kyiv: Ekmo [in Ukrainian].

4. Drozd, G. Ya. (2001). Vovlechenie deponi-

rovannykh osadkov stochnykh vod v khozyaystvennyy oborot [Involvement of deposited wastewater sludge in economic circulation]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika — Water supply and sanitary equipment*, 4, 11–17 [in Russian].

5. Pro vidhody: Zakon Ukrai'ny vid 5 berez. 1998 r. № 187/98-VR [On waste: Law of Ukraine of March 5. 1998. № 187/98-VR]. (1998). *Vidomosti Verhovnoi Rady Ukrainy — Information of the Verkhovna Rada of Ukraine*, 36–37, 242 [in Ukrainian].

6. Kyrejeva, I. S. (1996). Aktual'ni gigijenichni problemy ohorony navkolyshn'ogo seredovyssha promyslovykh mist Ukrainy [Actual hygienic problems of environmental protection of industrial cities of Ukraine]. *Urbanizovane navkolyshnje seredovysshhe: ohorona pryrody ta zdorov'ja ljudy ny — Urban environment: nature protection and human*

health (pp. 33–36). Kyiv: Minekobezpeky Ukrainy [in Ukrainian].

7. Seval'njev, A. I., Remzhyn, O. O., Bogdanovs'kyj, V. V., & Skljarov, V. G. (2000). Problemy ohorony zdorov'ja i navkolyshn'ogo pryrodnoho seredovyshha z ogljadu na nakopychennja vidhodiv vyrobnytstva u m. Zaporizhzhja [Problems of health care and the environment given the accumulation of industrial waste in Zaporozhye]. *Naukovyj visnyk Nacional'nogo agrarnogo universytetu — Scientific bulletin of the National agrarian university*, 26, 48–50 [in Ukrainian].

8. Evilevich, A. Z., & Evilevich, M. A. (1988). *Utilizatsiya osadkov stochnykh vod* [Utilization of sewage sludge]. Leningrad: Stroyizdat, Leningradskoe otdelenie [in Russian].

9. Tsurkan, M. A., Arkhip, O. D., & Rusu, A. P. (1989). *Gorodskie otkhody i sposoby ikh utilizatsii* [Urban waste and methods for their disposal]. Kishinev: Shtiintsa [in Russian].

10. Orlov, D. S., & Sadovnikova, L. K. (1996). Netraditsionnye melioriruyushchie sredstva i organicheskie udobreniya [Unconventional land reclamation agents and organic fertilizers]. *Pochvovedenie — Soil science*, 4, 517–523 [in Russian].

11. Ladonin, V. F. (Eds.). (2002). *Strategiya ispol'zovaniya osadkov stochnykh vod i kompostov na ikh osnove v agrikul'ture* [The strategy for the use of sewage sludge and composts based on them in agriculture] (ed. Milashchenko, N. Z.). Moskva: Agrokonsalt [in Russian].

12. Pakhnenko, E. P. (2007). *Osadki stochnykh vod i drugie netraditsionnye organicheskie udobreniya: ucheb. posob.* [Sewage sludge and other non-traditional organic fertilizers: textbook]. Moskva: BINOM. Laboratoriya znaniy [in Russian].

13. Kofman, V. Ya. (2013). Kak postupayut v Evrope s osadkami ochistnykh sooruzheniy kanalizatsii (obzor zarubezhnykh izdaniy) [What is done in Europe with the precipitation of sewage treatment plants (review of foreign publications)]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika — Water supply and sanitary equipment*, 4, 18–23 [in Russian].

14. Colangelo, F., Cioffi, R., Montagnaro, E., & Santoro, L. (2012). Soluble salt removal from MSVI 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

15. Cusido, J. A., & Cremades, L. V. (2012). Environmental effects of using clau bricks produced with sewage, Leach ability and toxicity studies. *Waste Management*, 32 (6), 1202–1208. DOI: 10.1016/j.wasman.2011.12.024

16. Kireycheva, L. V., & Khokhlova, O. B. (2002). Ispol'zovanie sapropeley v kachestve konditsionerov osadkov stochnykh vod [Use of sapropels as conditioners for sewage sludge]. *Agro-*

khimicheskij vestnik — Agrochemical bulletin, 4, 33–35 [in Russian].

17. Kardinalovskaya, R. I. (1985). *Rezervy uvelicheniya proizvodstva organicheskikh udobreniy i ikh ispol'zovanie: obzor. inform. UkrNIINTI. Seriya 31: Zemledelie i agrokimiya* [Reserves of increasing the production of organic fertilizers and their use: a review. inform. UkrNIINTI. Series 31: Agriculture and Agrochemistry]. Kiev: UkrNIINTI [in Russian].

18. Orlov, D. S., Ammosova, Ya. M., Sadovnikova, L. K., Yakimenko, O. S., Andronova, L. A., Benediktova, A. I. ... Norr, C. (1997). *Udobreniya iz kory, lignina i osadkov stochnykh vod: poluchenie, svoystva, primenenie* [Fertilizers from bark, lignin and sewage sludge: production, properties, application]. *Novosti nauki i tekhniki. Seriya: Biologiya — News of science and technology. Series: Biology*. Moskva: VINITI RAN [in Russian].

19. Merzlaya, G. E., & Afanas'ev, R. A. (2015). *Agrokhimicheskie i ekologicheskie osobennosti ispol'zovaniya osadkov gorodskikh stochnykh vod dlya udobreniya agrotsenozov* [Agrochemical and environmental features of the use of urban wastewater sludge for fertilizing agrocenoses]. *Khimicheskaya i biologicheskaya bezopasnost — Chemical and biological safety*, 1–2, 110–115 [in Russian].

20. Nayshteyn, S. Ya., Borshch, Yu. G., Vashkulat, N. P., Zhulinskaya, V. A., Korchak, G. I., Leybovich, D. L., & Nikitina, L. N. (1972). *Gigienicheskie problemy sel'skokhozyaystvennogo ispol'zovaniya stochnykh vod i ikh osadka* [Hygienic problems of agricultural use of wastewater and their sludge]. Agricultural Wastewater Use: Materials of the VI Int. conference social scientists countries for the use of wastewater in agriculture (pp. 265–269), Moskva [in Russian].

21. Romanenko, N. A., Rusakov, N. V., Novosil'tsev, G. I., Skripova, L. V., Khizhnyak, N. I., & Veremiy, A. A. (1992). *Gigienicheskie aspekty ispol'zovaniya osadkov stochnykh vod v sel'skom khozyaystve* [Hygienic aspects of the use of sewage sludge in agriculture]. Soil treatment and disposal of wastewater and livestock waste: abstract. doc. All-Union. scientific and technical conf. (pp. 3–7), Moskva: VNIIGiM, NPO «Progress» [in Russian].

22. Chegrynets, G. Ya. (1993). Scientific substantiation of hygienic regulation of application in agricultural production of organo-mineral fertilizers on the basis of sewage sludge (Unpublished doctor thesis). Kyiv [in Ukrainian].

23. Dyshljuk, V. Je. (2000). Mikroelementnyj sklad ta vykorystannja osadiv stichnykh vod mis'kyh ochysnykh sporud jak organo-mineral'nyh dobryv [Microelement composition and use of sewage sludge of urban treatment facilities as organo-mineral fertilizers]. *Visnyk Dnipropetrovs'kogo derzhavnogo agrarnogo universytetu — Bulletin of Dnipropetrovsk state agrarian university*, 1–2,

61–62 [in Ukrainian].

24. DSTU 7369:2013. (2014). *Stichni vody. Vymogy do stichnyh vod i i'hnih osadiv dlja zroshuvannja ta udobruvannja* [Sewage. Requirements for wastewater and its sediments for irrigation and fertilization]. Kyiv: Minekonomrozvytku Ukrainy, 2014 [in Ukrainian].

25. KND 33.-3.3-02-99. (2000). *Tehnologichni ta agroekologichni normatyvy vykorystannja osadiv stichnyh vod mis'kyh ochysnyh sporud u sil's'komu gospodarstvi* [Technological and agroecological standards for the use of sewage sludge from urban treatment plants in agriculture]. Kyiv: Agrarna nauka, 2000 [in Ukrainian].

26. Veremiy, A. A. (1992). *O formirovanii iskusstvennykh geokhimicheskikh provintsiy v zone orosheniya stochnymi vodami krupnogo promyshlennogo goroda* [On the formation of artificial geochemical provinces in the sewage irrigation zone of a large industrial city]. Soil treatment and disposal of wastewater and livestock waste: abstract. doc. All-Union scientific and technical conf. (pp. 78–80), Moskva: VNIIGiM, NPO «Progress» [in Russian].

27. Plekhanova, I. O., Kutukova, Yu. D., & Obukhov, A. I. (1995). Nakoplenie tyazhelykh metallov sel'skokhozyaystvennyimi rasteniyami pri vnesenii osadkov stochnykh vod [Accumulation of heavy metals by agricultural plants during the introduction of sewage sludge]. *Pochvovedenie — Soil science*, 12, 1530–1536 [in Russian].

28. Kasatikov, V. A., Kasatikova, S. M., & Sultanov, M. M. (1999). Povedenie tyazhelykh metallov v sisteme pochva-rastenie pri vnesenii osadkov gorodskikh stochnykh vod [Behavior of heavy metals in the soil-plant system upon application of urban sewage sludge]. *Agrokimiya — Agrochemistry*, 3, 56–60 [in Russian].

29. Il'in, V. B. (2012). *Tyazhelye metally i nemetally v sisteme pochva-rastenie: monografiya* [Heavy metals and non-metals in the soil-plant system: monograph]. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN [in Russian].

30. Khizhnyak, N. I., & Sytenko, M. A. (1992). *Gigienicheskie aspekty ispol'zovaniya osadkov stochnykh vod posle avarii na Chernobyl'skoy AES* [Hygienic aspects of the use of wastewater sludge after the Chernobyl accident]. Soil treatment and disposal of wastewater and livestock waste: abstract. doc. All-Union. scientific and technical conf. (pp. 66–67), Moskva: VNIIGiM, NPO «Progress» [in Russian].

31. MU 1446-76. *Metodicheskie ukazaniya po sanitarno-mikrobiologicheskomu issledovaniyu pochvy* [Guidelines for sanitary-microbiological soil research]. (1977). Moskva: Minzdrav SSSR [in Russian].

32. MU 1440-76. *Metodicheskie ukazaniya po gel'mintologicheskomu issledovaniyu ob"ektov vne-*

shney sredey i sanitarnym meropriyatiyam po okhrane ot zagryazneniya yaytsami gel'mintov i obezvrezhivaniyu ot nikh nechistot, pochvy, ovoshchey, yagod, predmetov obikhoda [Guidelines for helminthological research of environmental objects and sanitary measures for the protection of helminths from eggs and neutralization of sewage, soil, vegetables, berries, household items]. Moskva: Minzdrav SSSR [in Russian].

33. Mareya, A. N., & Zykova, A. S. (Eds.). (1980). *Metodicheskie rekomendatsii po sanitarnomu kontrolyu za sodержaniem radioaktivnykh veshchestv v ob'ektakh okruzhayushchey sredey* [Guidelines for sanitary control of the content of radioactive substances in the environment]. Moskva: Minzdrav SSSR [in Russian].

34. Nayshteyn, S. Ya. (1975). *Aktual'nye voprosy gigieny pochvy* [Actual problems of soil hygiene]. Kishinev: Shtiintsa [in Russian].

35. Al'f, S. L. (1949). Yaytsa geogel'mintov kak pokazatel' zagryazneniya pochvy [Geohelminthic eggs as an indicator of soil pollution]. *Zagryaznenie i samoochishchenie vneshney sredey — Pollution and self-cleaning of the environment* (pp. 15–21), Moskva: Meditsina [in Russian].

36. Orlov, D. S., Sadovnikova, L. K., & Ladonin, D. V. (1995). Ekologicheskie normativy na netraditsionnye organicheskie udobreniya [Environmental standards for non-traditional organic fertilizers]. *Khimiya v sel'skom khozyaystve — Chemistry in agriculture*, 5, 35–37 [in Russian].

37. Turovskiy, I. S., Bukreeva, T. E., & Astakhova, A. V. (1989). Biotermicheskaya obrabotka osadkov stochnykh vod. Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo: obzorn. inform. Seriya: Kompleksnoe ispol'zovanie i okhrana vodnykh resursov [Biothermal treatment of sewage sludge. Land reclamation and water management: an overview. inform. Series: Integrated use and protection of water resources]. Moskva: TsBNTI Minvodkhoza SSSR [in Russian].

38. Golubchenko, V. F., Popova, A. V., & Nikula, R. G. (1998). Sanitarno-gigijenichni aspekty vykorystannja osadu stichnyh vod jak dobrovya [Sanitary and hygienic aspects of sewage sludge use as fertilizer]. *Agrarnyj visnyk Prychornomor'ja — Biologist. and agricultural science*, 2, 26–32 [in Ukrainian].

39. Dyshljuk, V. Je. (2012). Radiologichna ocinka osadiv stichnyh vod i produktiv i'h pererobky [Radiological assessment of sewage sludge and products of their processing]. *Agroekologichnyy zhurnal — Agroecological journal*, 3, 31–34 [in Ukrainian].

40. Delalio, A., Goncharuk, V. V., Kornilovich, B. Yu., Pshinko, G. N., Spasenova, L. N., & Krivoruchko, A. P. (2003). Utilizatsiya osadkov gorodskikh stochnykh vod [Utilization of urban sewage sludge]. *Khimiya i tekhnologiya vody — Chem-*

istry and technology of water, 25, 5, 458–464 [in Russian].

41. Dyshljuk, V. Je., Pyljak, N. V., & Loban, L. L. (2017). Agroekologichna harakterystyka ta ocinka prydatnosti osadiv stichnyh vod ochysnyh sporud m. Odesy na dobryvo [Agroecological characteristics and assessment of suitability of sewage sludge of Odessa treatment plants for fertilizer]. *Sil's'kogospodars'ka mikrobiologija — Agricultural*

microbiology, 26, 55–62 [in Ukrainian].

42. DSTU 4362:2004. *Jakist' gruntu. Pokaznyky rodjuchosti gruntiv* [Soil quality. Indicators of soil fertility]. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2006 [in Ukrainian].

43. Perepeljatnikov, G. P. (2012). *Osnovy zagal'noi radioekologii: monografija* [Fundamentals of general radioecology: monograph]. Kyiv: Atika [in Ukrainian].

Received 03.06.2020