

ЗАГАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

УДК 631.461 :631.33:557.47

ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН НАКОПИЧЕНИХ ОСАДІВ СТІЧНИХ ВОД М. КИЄВА

Бондар О.І.¹, Лозовицький П.С.¹, Машков О.А.¹, Лозовицький А.П.²

¹Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління,
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, 03035, м. Київ,
dei2005@ukr.net

²ТОВ «Географіка»,
вул. Голосіївська, 18, 03039, м. Київ

Досліджено хімічний склад, наявність поживних для сільськогосподарських культур речовин, чисельність мікроорганізмів та рівні забруднення важкими металами і радіонуклідами осадів стічних вод очисних споруд м. Київ. Проведено їх оцінювання за можливістю застосування як органічних добрив. Основними екологічними ризиками, що обмежують застосування осадів стічних вод для поліпшення родючості ґрунтів, є високі концентрації в них нітратів та важких металів. *Ключові слова:* хімічний склад, поживні речовини, чисельність мікроорганізмів, важкі метали, радіоактивність, осад стічних вод.

Экологическое состояние накопленных осадков сточных вод г. Киева. Бондарь А.И., Лозовицкий П.С., Машков О.А., Лозовицкий А.П. Исследованы химический состав, наличие питательных для сельскохозяйственных культур веществ, численность микроорганизмов и уровни загрязнения тяжелыми металлами и радионуклидами осадков сточных вод очистных сооружений г. Киева. Проведена их оценка по возможности применения в качестве органического удобрения. Основными экологическими рисками, сдерживающими применение исследованных осадков сточных вод в качестве органических удобрений, являются высокие концентрации в них нитратов и тяжелых металлов. *Ключевые слова:* химический состав, питательные вещества, численность микроорганизмов, тяжелые металлы, радиоактивность, осадки сточных вод.

Ecological status of accumulated sewage sludge in Kiev. Bondar O., Lozovitsky P., Mashkov O., Lozovitsky A. The chemical composition, the presence of nutrients for crops substances, the number of microorganisms and contamination levels of heavy metals and radionuclides sewage sludge treatment facilities in Kiev and evaluations carried out on the possibility of use as organic fertilizer. The main environmental risk hindering research applications of sewage sludge as organic fertilizers are high concentrations of nitrates in them, and heavy metals. *Key-*

words: chemical composition, nutrients, the number of microorganisms, heavy metals, radioactivity, sewage sludge.

Вступ

Система каналізації м. Києва має 2500 км каналізаційних мереж і колекторів, 33 каналізаційні насосні станції різних рівнів значення (від районного до міського) та Бортницьку станцію аерації. Бортницька станція аерації (БСА) — складний комплекс інженерних споруд, обладнання та комунікацій, призначений для повної біологічної очистки стічних вод та обробки затриманих забруднень. БСА було введено в дію у 1965 р. Після закінчення будівництва 3-ої черги (1992 рік) потужність станції досягла 1800 тис. м³ на добу. Надходження стічних вод на станцію становить

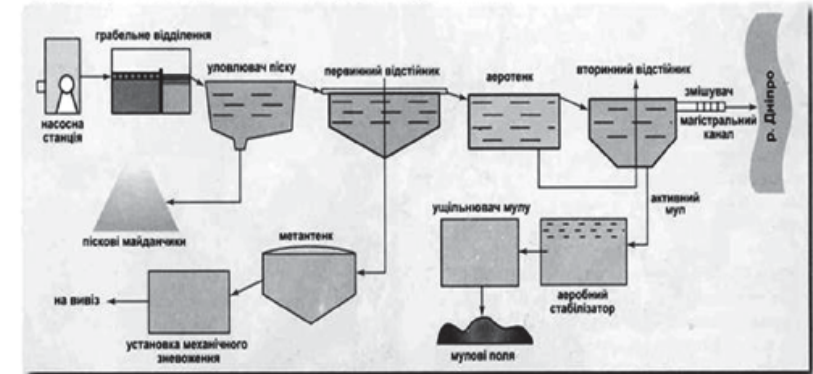
решітки з механічними граблями, пісколовки, первинні відстійники.

Комплекс біологічної очистки стічних вод складається з аеротенків, в яких відбувається біологічне окислення розчинених у воді органічних речовин активним мулом та вторинних відстійників, де відбувається механічне розділення активного мулу та очищеної стічної води (рис. 1).

Біологічно очищена стічна вода скидається в магістральний канал і далі у р. Дніпро нижче м. Києва.

Забруднення, затримані при очищенні стічних вод, видаляються різними способами: 1) пісок, затриманий у пісколовках, гідроелеваторами видаляється на піскові майданчики, де

Схема очистки стічних вод Бортницькою станцією аерації



близько 1300 тис. м³ на добу. Усього за рік на спорудах БСА очищується 470 млн м³ стічних вод.

Технологічний процес очистки стічних вод складається з механічного і біологічного очищення. При механічному очищенні застосовують:

зневоднюється, а потім вивозиться за-
собами механізації; 2) сирий осад і жироплаваючі речовини з первинних відстійників видаляються в метантенки для збродування в термофільних умовах з наступним зневодненням на центрифугах або перекачуються на мулові поля; 3) надлишковий актив-

ний мул із вторинних відстійників видаляється на обробку в аеробних стабілізаторах; 4) стабілізований активний мул ущільнюється в мулоущільнювачах, а потім перекачується на мулові поля для зневоднення.

Активний мул – кінцева стадія переробки побутових стічних вод з допомогою біотехнічних методів, в основі яких аеробні і анаеробні процеси біологічного очищення. Сирі осад стічних вод мають невисоку концентрацію твердих компонентів. Одним із способів їх ущільнення і обезводнення є відстоювання. Також застосовують хімічні коагулянти. Зазвичай, це неорганічні солі, вапно, органічні полімери. Концентрування мулу відбувається у спеціальних відстійниках (аеротенках) протягом 24 годин, після чого видаляється основна частина надмулової рідини. Частинки активного мулу являють собою суміш бактерій і найпростіших. Анаеробне бродіння мулу використовується для зменшення його маси та зниження кількості патогенної мікрофлори. При цьому використовуються процеси, в яких мікроорганізми не мають доступу до вільного кисню. Анаеробні процеси протікають в септиках та метантенках, де відбувається бродіння органічних компонентів активного мулу. Пізніше, на кінцевій стадії утилізації на мулових полях, де значні маси мулу перебувають в умовах звалища без доступу повітря, анаеробні процеси посилюються. В процесі бродіння складні органічні молекули під дією бактерій розкладаються на простіші, переважно леткі жирні кислоти. В свою чергу далі відбувається розкладання кислот до метану CO_2 "метаноутворюючими" бактеріями.

Заброджений осад та ущільнений стабілізований мул перекачують на мулові поля для подальшого сушіння в природних умовах. Загальний об'єм осадів, що перекачується на мулові поля, становить 12000 м³ цілодобово з вологістю 97 – 98 %.

Постановка проблеми

Суть проблеми полягає в тому, що село територіально розташоване на відстані 12 км від Бортницької станції аерації, де здійснюють біохімічне очищення господарських і побутових стоків Києва. Традиційні методи переробки стічних каналізаційних вод спричиняють утворення значної кількості твердих відходів, які відкладають на мулових полях. Осад та надлишковий активний мул, якого утворюється понад 9 тис. т щодоби, відправляють на мулові поля, які заповнені на третину більше допустимої норми. На полях в околицях с. Ревне зараз накопичено 9 млн кубів осаду та мулу, сумарна площа яких становить 272 га. Мешканці села виявилися «заручниками» індустріального розвитку м. Києва.

Осади в необробленому вигляді протягом десятків років зливалися на переобтяжені мулові площадки, у відвали, водосховища, кар'єри, що призвело до порушення екологічної безпеки й умов життя населення.

Відомо, що до березня 1990 р. практикували застосування мулів в якості органічних добрив на полях радгоспу «Комунар» (тепер КСП Ревне). На поля господарства було вивезено близько 20 тис. тонн мулових відходів, що становить близько 1 кг/м². Окрім того, до 1991р. практикували полив ґрунтів та

сільськогосподарських рослин стічними водами в межах Ботницької зрошувальної системи. Застосовані мулові відходи, стічні поливні води на значних площах спричинили забруднення ґрунтів та ґрунтових вод токсичними сполуками, патогенною мікрофлорою, яка здатна проявляти себе протягом тривалого часу.

Після заборони на вивіз основним джерелом забруднення довкілля села Ревне є мулові карти, з поверхні яких у повітря виділяються леткі органічні і неорганічні продукти, а також забруднюються ґрунтові води, які потім дренуються у річку Дніпро.

Дослідження атмосферного повітря с. Ревного показали, що вміст сірководню тут перевищує ГДК у 8-25 разів. Сірководень викликає відчуття неприємного запаху, головні болі, слезоточивість, світлобоязнь, нежить. Тривалий і систематичний їхній вплив на людину спричиняє зниження імунної реактивності організму, збільшує неспецифічну захворюваність, у тому числі катарями верхніх дихальних шляхів, ангінами, пневмоніями, неврозами. Має місце також і ембріональний ефект [7,13,14].

Вміст сірчастого газу SO_2 у повітрі перевищує ГДК у 64-184 рази, викликає у людей подразнення очей, горла, захворювання верхніх дихальних шляхів, порушує обмінні процеси в організмі, викликає захворювання серцево-судинної системи, антитоксичну функцію печінки, порушує діяльність нирок, знижує імунітет організму [7,13,14].

У воді колодязів села надзвичайно високий вміст заліза 1,5 мг/дм³ (ГДК 0,2), цинку 7,8 (ГДК = 5,0), нітратів 656 (ГДК = 45,0), магнію 88,8 мг/дм³ (ГДК = 80 мг/дм). Загальна лужність

води сягає 22,2 мг-екв/дм³ за нормою 7,0 [7,13].

Ця екологічна проблема надзвичайно актуальна, оскільки мулові карти до цього часу є діючими і становлять загрозу для здоров'я людей не лише с. Ревного та прилеглих сіл, але й можуть стати причиною глобальної екологічної катастрофи для України.

Мета та завдання досліджень

Мета досліджень – визначення хімічного складу ОСВ для оцінки можливості використання їх або їхніх похідних як органічних добрив та виявлення можливих негативних впливів на здоров'я людей та стан довкілля [24].

Завдання досліджень:

- визначити вмісту основних елементів живлення рослин в ОСВ, їх рухомість та співвідношення;
- вивчити фізико-хімічні властивості ОСВ;
- визначити вміст токсичних елементів (важкі метали) в ОСВ, їх рухомість та співвідношення;
- визначити активність природних та штучних радіонуклідів в ОСВ та провести їх радіаційно-екологічну оцінку;
- дати оцінку можливій небезпеці застосування ОСВ як органічних добрив для фізико-хімічних властивостей ґрунтів, здоров'я людей та екологічного стану довкілля.

Методика досліджень

Дослідження хімічного складу ОСВ проводили стандартними та стандартизованими методами та за методиками, що використовуються для проведення агрохімічних, еколого-

токсикологічних та радіологічних досліджень ґрунтів, добрив, продукції рослинництва [1, 9, 24].

У зразках ОСВ (з мулових полів) і в гної за допомогою багатоканального аналізатора імпульсів «NOKIA» із напівпровідниковим детектором GEM-30,190 фірми «ORTEC» (США) проведено за стандартною методикою γ-спектрометричні визначення питомої активності штучних радіонуклідів ^{134}Cs і ^{137}Cs і супутніх природних радіоізотопів ^{155}Eu , ^{40}K , ^{228}Ra і Th [18-20].

Чисельності мікроорганізмів у зразках вихідних осадів стічних вод, гною ВРХ визначали в Інституті сільськогосподарської мікробіології УААН за загальноприйнятими в мікробіології методиками [10, 23]. Розрахунок кількості мікроорганізмів проводили на 1 г сухого субстрату з урахуванням вологості відповідних зразків, визначених водночас з мікробіологічними посівами. В усіх субстратах визначали чисельність різних груп мікроорганізмів: бактерії, що засвоюють переважно мінеральні (середовище КАА), у тому числі актиноміцети, та органічні (середовище МПА) сполуки азоту, азотфіксувальні бактерії на середовищі Ешбі, азотобактер на середовищі Федорова (методом обростання грудочок субстрату), фосфатмобілізувальні бактерії на середовищі Муромцева, гриби на середовищі Чапека-Докса. Визначали коефіцієнти мінералізації та іммобілізації азоту в субстратах (співвідношення чисельності бактерій, що засвоюють переважно мінеральний

азот до кількості аммоніфікаторів) [29]. В основу оцінки параметрів чисельності групового складу мікроорганізмів в осадах стічних вод і продуктах їх переробки закладено порівняльний метод, за яким показники чисельності мікроорганізмів у традиційному органічному добриві (контрольний варіант) порівнювали з показниками у досліджуваних субстратах [12].

Результати досліджень та їх обговорення

Хімічний склад осадів стічних вод

Елементарний склад сухої речовини осадів коливається в широких межах. Суха речовина сирих осадів має такий склад (% маси сухої речовини осаду): 35,4-87,8 С; 4,5-8,7 Н; 0,2-2,7 S; 1,8-8,0 N; 7,6-35,4 O; суха речовина активного мула містить, %: 44,0-75,8 С; 5,0-8,2 Н; 0,9-2,7 S; 3,3-9,8 N; 12,5-43,2 O.

За гранулометричним складом досліджувані осаді стічних вод (ОСВ) є мулистими, близькими до природних алевритових мулів утворення, які містять помітну кількість домішок пелітового (глинистого) або піщаного матеріалу (табл. 1). Найбільш широко представлена фракція з розміром часток 0,05-0,01 мм. Уміст глинистих часток у осадах стічних вод коливається в межах 20-40 %. Через це вони можуть впливати на зниження водно-фільтраційних характеристик ґрунтів і зниження аерації при використанні їх як органічних добрив на ґрунтах лівобережжя Дніпра.

Таблиця 1. Гранулометричний склад і деякі фізико-хімічні властивості ОСВ

Значення	Об'ємна маса, г/дм ³	Гранулометричний склад мм, %						Зольність, %	Втрати при обробці, %	Гумус, %	Карбонати, %	рН водне
		0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	<0,005					
Мінімальне	1,98	1,0	1,0	1,0	28,0	3,0	14,0	49,0	4,0	0	0	6,4
Максимальне	2,61	27,0	25,0	24,0	59,0	19,0	28,0	55,9	50,3	37,5	5,0	7,8
Середнє	2,305	10,0	9,83	4,83	39,67	9,50	23,42	52,4	26,38	16,29	2,35	7,2

Досить значною є мулиста фракція (<0,005 мм), особливо у зразках тривалого періоду зберігання, що свідчить про значний вміст у цій фракції дрібнодисперсної органічної речовини у вигляді гумусу. Аналогічні результати одержано для осадів стічних вод Дніпропетровська та Запоріжжя [28].

Осади мають слабо кислу й нейтральну реакцію та помітну кількість загальної органічної речовини, яка майже на 50 % складається з гумусоподібних форм.

Мінеральна частина осадів містить сполуки оксидів кремнію, алюмінію, заліза, кальцію, магнію, калію, натрію, цинку, хрому, нікелю та ін. (табл. 2).

Таблиця 2. Хімічний склад мінеральної частини осаду

Уміст оксидів, %	Тип осаду		
	З первинних відстійників	Активний мул	Зброджена суміш осаду первинних відстійників і активного мулу
SiO ₂	21,4-55,9	17,6-33,8	27,3-35,7
Al ₂ O ₃	0,3-18,9	7,3-26,9	8,7-9,3
Fe ₂ O ₃	3,0-13,9	7,2-18,7	11,4-13,6
CaO	11,8-35,9	8,9-16,7	12,5-15,6
MgO	2,1-4,3	1,4-11,4	1,5-3,6
K ₂ O	0,7-3,4	0,8-3,9	1,8-2,8
Na ₂ O	0,8-4,2	1,9-8,3	2,6-4,7
SO ₃	1,8-7,5	1,5-6,8	3,0-7,2
ZnO	0,1-0,6	0,2-0,3	0,1-0,3
CuO	0,1-0,8	0,1-0,2	0,2-0,3
NiO	0,2-2,9	0,2-3,4	0,2-1,0
Cr ₂ O ₃	0,8-3,1	0-2,4	1,3-1,9

Одержані експериментальні дані показали, що вміст такого компоненту як кремнезем може коливатися в досить широких межах. Але в цілому за цим параметром, а також за зольністю і валовим умістом органічної речовини розглянуті ОСВ близькі до середньозольних торф'янистих ґрунтів.

У мулових відкладах з терміном витримки більше 2 років уміст глинозему (Al₂O₃) нижчий, а оксиду кальцію — вищий, ніж у зональних ґрунтах. Осади характеризуються високим умістом заліза. Цей факт необхідно враховувати при можливому використанні ОСВ як добрива,

оскільки відомо, що оксиди заліза можуть акумулюватися у певних ґрунтових горизонтах, взаємодіяти з ґрунтовими колоїдами і ґрунтовими розчинами, утворюючи системи, здатні блокувати надходження у коріння рослин поживних речовин і вологи. Такий фітотоксичний ефект виявляється при концентрації оксидів заліза у будь-яких ґрунтах, які перевищують 5–6% [16].

Мулові відклади осади стічних вод (порівняно з дослідженими ґрунтами) характеризуються високими валовими концентраціями загального азоту і фосфору (табл. 3). Відомо, що вміст фосфатів у зональних ґрунтах на лівобережжі Києва значно менший. Тому ОСВ м. Києва, які містять 1,7-3,9

% загального фосфору, могли б стати цінним фосфоромісним добривом. Виявлено, що й рухомого фосфору у ОСВ значно більше, ніж у найбільш забезпечених ґрунтах регіону.

Для ОСВ характерний також підвищений вміст водорозчинних і доступних для живлення рослин N і K. З збільшенням тривалості зберігання ОСВ вміст амонійного азоту зменшується, а нітратного – зростає. Вочевидь, це пов'язано з процесами амоніфікації (з наступним вивітрюванням амонійного азоту у вигляді аміаку) і нітрифікації азотомісних ОР. Для рухомих форм фосфору і калію такі зміни практично не відзначаються.

Таблиця 3. Хімічний склад осаду мулових полів міських очисних споруд м. Києва

Показник та одиниця виміру	Межі коливання значень	Середні значення
pH водневе	6,3 - 8,6	7,5
Сухий залишок, %	22,7 - 45,4	36,1
Зольність, %	49,0 - 55,9	52,4
Вуглець, %	15,6 - 26,4	21,3
Азот загальний, %	1,6 - 2,6	2,1
C:N	7 - 15	10
Азот, мг/кг:		
нітратний	3,5 - 33,6	19,6
аміаку	34,8 - 2010,8	768,9
Фосфор загальний, %	1,7 - 3,9	2,4
Фосфор рухомий, мг/100 г	290,0 - 1988,8	1008,5
Калій загальний, %	0,5 - 0,9	0,6

За вмістом доступних для живлення рослин форм NPK досліджені ОСВ значно перевищують регіональні ґрунти. Так, за калієм це перевищення сягає 4–12,4 рази. При цьому рівень валового вмісту калію в ОСВ нижчий, ніж у ґрунтах. Вивчені осади містять також у багато разів більше такого доступного для рослин інгредієнта як нітратний азот. Підвищені

концентрації нітратів понад оптимальний рівень ($\Gamma\text{ДК NO}_3^- = 130 \text{ мг/кг}$) несприятливо впливають на якість сільськогосподарської продукції. Тому при використанні ОСВ на сільгоспугіддях необхідно здійснювати постійний контроль загального вмісту нітратів [17].

Виходячи зі складу та вмісту поживних і органічних речовин,

найбільш поширеним у світі є використання ОСВ в якості органічних добрив. Їх цінність у багатьох випадках еквівалентна гною і сапропелю. Уміст елементів живлення рослин у сухій речовині ОСВ становить: $N_{\text{зар}}$ - 2-7 %; P_2O_5 - 1,5-7 %; K_2O - 0,15-0,35 %. Вміст гуміфікованих органічних речовин, які зумовлюють високі ґрунтоутворюючі чинники ОСВ, відповідно 50-70 %. Завдяки внесенню ОСВ в ґрунт відбувається підвищення вмісту гумусу, поліпшення водневофізичних властивостей і забезпеченості головними елементами живлення – азотом, фосфором, калієм [22, 27, 28].

У досліджуваних осадах стічних вод виявлено помітну кількість різних водорозчинних солей (від 0,47 до 1,52%).

Серед них переважають сульфати, нітрати, кальцій, амоній (табл. 4), тобто компоненти сольового складу переважно антропогенного походження. Виявлено, що сумарна засоленість ОСВ приблизно у 10-25 разів перевищує вміст легкорозчинних солей у ґрунтах Київської обл. Слід звернути увагу на досить високий вміст у ОСВ такого токсичного для рослин компонента як хлориди, а також підвищений валовий вміст сірки, скоріше за все, органічного і сульфатного походження. Вміст сірки у досліджених ОСВ на I -2 порядки перевищує цей показник у ґрунтах. Але оскільки сірки у ґрунтах практично не вистачає, то внесення ОСВ на сільськогосподарські угіддя покращить їх властивості за цим показником.

Таблиця 4. Уміст основних легкорозчинних солей у мулових відкладах очисних споруд м. Києва

Значення показника	Од. вимірювання	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	Сума солей
		мг/кг	мг/кг	мг/кг	мг/кг	мг/кг	мг/кг	мг/кг	мг/кг	мг/кг	
Мінімальне	%	0,10	0,02	0,002	0,01	0,006	0,004	0,30	0,001	0	0,47
Максимальне	%	0,30	0,05	0,02	0,02	0,08	0,05	0,78	0,14	0,56	1,52
Середнє	мг/кг	2329,3	235,8	96,8	139,8	289,2	128,2	5318,7	279,8	1282,8	10100,4
	%	0,243	0,022	0,011	0,015	0,030	0,013	0,532	0,028	0,128	1,022

Відомо, що за сумарним умістом різних водорозчинних солей ґрунти поділяються на кілька груп. У незасолених ґрунтах уміст таких солей менше 0,3%. У слабо- і середньозасолених ґрунтах цей показник змінюється в межах 0,3–1,0%. При вмісті солей 1,0–2,0% ґрунти є сильнозасоленими, більше 2,0% – солонча-

ками. З огляду на це, досліджувані ОСВ м. Києва слід віднести до середньо- і сильнозасолених (табл. 4). Засолення носить сульфатно-кальцієвий характер, присутня також помітна кількість нітратів. Карбонатність ОСВ невелика. За її значенням рН водної витяжки можна стверджувати про

відсутність у вивчених осадах такої шкідливої домішки як сода.

Однак, при використанні ОСВ для різних цілей необхідно звернути увагу на такий токсичний для рослин елемент як хлор. У ОСВ м. Києва середні концентрації цього елемента помітно перевищують величину ГДК (0,01%), встановлену для ґрунтів сільськогосподарських угідь. Тому при різних способах утилізації ОСВ треба постійно контролювати можливе надходження у ґрунт хлоридів і водорозчинних солей в цілому. При цьому слід враховувати і сольовий резерв удобрюваних ґрунтів, який в умовах регіону є досить високим (75–80% від граничної межі (0,3%), за якою настає засолення ґрунту).

Сумарний вміст обмінних основ у поглинутому комплексі мулових відкладів є високим (35,2-87,0 мг-екв/100 г сухої речовини осадів) і помітно перевищує відповідну характеристику регіональних ґрунтів по-

близу Києва. Співвідношення кальцію і магнію у вбирному комплексі є сприятливим для магнієвого живлення рослин і становить 3:1 або 4:1. Відомо, що оптимальна величина такого співвідношення для ґрунтів перебуває у межах 3:1.

Висока вбирна здатність ОСВ, яка зумовлена підвищенням умістом обмінних основ, є позитивною характеристикою таких субстратів, оскільки це сприяє поглинанню і обмеженню здатності до міграції багатьох токсичних інгредієнтів (наприклад, важких металів або радіонуклідів) як в ОСВ, так і в ґрунтах [11].

До найбільш небезпечних компонентів стічних вод і осадів стічних вод міст, у першу чергу, слід віднести важкі метали. У стічних водах великих промислових центрів виявляється до 20 металів, при цьому концентрації свинцю, хрому, мий'яку, кадмію та ін. нерідко перевищують ГДК (табл. 5) [2, 8, 22, 25-28].

Таблиця 5. Вміст важких металів у ОСВ деяких міст України

Назва елемента	Уміст важких металів, мг/кг сухої речовини								
	м. Суми	м. Київ	м. Дніпропетровськ	м. Харків, БКБО	м. Харків, ДКБО	м. Запоріжжя	м. Луцьк	м. Луганськ	
Кадмій (Cd)	14,22	55,00	27,5	6,44	8,83	10,52	6,3	18,93	
Кобальт (Co ²⁺)	3,99	10,2	70,88	-	-	-	81,4	34,13	
Нікель (Ni ²⁺)	223,2	280,0	517,75	160,0	294,58	414,85	13,0	149,0	
Стронцій (Sr)	-	-	215,5	104,50	116,67	136,47	-	-	
Свинець (Pb ²⁺)	87,21	650,0	172,13	172	243,83	100,16	365,0	92,73	
Хром (Cr ³⁺)	421,23	1130,0	1749,38	-	-	614,4	93,6	-	
Мідь (Cu ²⁺)	373,51	740,0	682,63	675	1379,2	1101,0	484,0	287,0	
Марганець (Mn ²⁺)	171,49	2460,0	-	745,3	940,83	-	273,0	338,0	
Цинк (Zn ²⁺)	1078,05	1960,0	2321,13	847,0	893,33	1338,22	561,0	372,67	
Залізо (Fe)	-	20650,0	94800	13500	22833	34625	1262,0	17408,3	
Миш'як	-	-	3,7	-	-	9,82	-	-	
Бром	-	-	20,79	-	-	24,24	-	-	
Ртуть	-	-	-	-	-	9,01	0,55	-	

Примітка: достовірні дані відсутні.

У мулових відкладах виявлено високий уміст сполук заліза, який перевищує аналогічний показник для ґрунтів у 4-6 разів. ОСВ м. Києва за умістом кадмію, свинцю, марганцю значно перевищують ОСВ інших великих міст України – Дніпропетровська, Запоріжжя, Харкова, Луганська.

При порівнянні вмісту важких металів у ОСВ м. Києва на початку їхнього складування (1973 р.) за даними Хрушолової [26] і одержаними в останні 5-7 років, помітні масштабні зміни в якісному і кількісному складі мулів Бортницької станції аерації. Вміст цинку виріс у 2400 разів, хрому – 3500, марганцю – 4000, свинцю – 7000 разів. З'явилися нові, раніше не виявлені, токсичні метали в значних кількостях. Дані дослідження підтверджують високу забрудненість ґрунтів важкими металами.

У зарубіжних країнах 35-40 % загальної кількості утворених осадів використовують як добрива. Збільшення кінцевого розміщення ОСВ, на думку багатьох фахівців, є більш прийнятним як екологічно, так і економічно, за умови забезпечення цілковитої безпеки лю-

дей, тварин, рослин і навколишнього середовища загалом [3, 16]. У 13 індустріально розвинутих країнах Європи та США більше 30 % їх використовується в якості добрива. Так, у Люксембурзі в сільському господарстві використовують близько 90 % річного виходу ОСВ, у Швейцарії – 70, Німеччині – 30, США – 26, Франції – 23 %. Широкого вжитку набули осади в Канаді, Великобританії, Японії, Фінляндії, Швеції, Польщі, Болгарії та інших країнах [16]. У Російській Федерації застосовують менше 10 % осадів, з яких тільки 4-6 % у сільському господарстві. В країнах ЄС діють численні директиви, що дозволяють окремим державам уніфіковано сприймати трактування екологічних проблем. Використання осаду стічних вод у сільському господарстві європейських країн базується на Директиві 86/278, яка встановлює обмеження для концентрації важких металів, присутніх в ОСВ, та розмежує умови застосування осаду стічних вод. Осад має постійно перевірятися на вміст концентрації важких металів й інших шкідливих сполук (табл. 6).

Таблиця 6. Гранично допустимий вміст мікроелементів в осадах стічних вод населених пунктів, дозволених до утилізації в якості добрива, мг/кг

Країна	Cd	Zn	Cu	Ni	Cr	Pb	Hg	As	Co	Mn	Mo	Se
Росія	30	4000	1500	400	1200	1000	15	20	н/н	2000	н/н	н/н
Україна	30	2500	1500	200	750	750	15	н/н	100	2000	н/н	н/н
США	39	2800	1500	420	1200	300	17	41	н/н	н/н	18	36
Австрія	10	2000	500	200	500	500	10	100	100	н/н	н/н	н/н
Бельгія	10	2000	500	100	500	300	10	10	20	500	н/н	25
Данія	8	2000	300	20	40	485	6	н/н	6	н/н	н/н	н/н
Канада	20	2000	н/н	180	н/н	500	5	75	150	н/н	20	14
Нідерланди	10	3000	600	100	500	500	10	10	н/н	н/н	н/н	н/н
Франція	20	3000	1000	200	1000	800	10	н/н	20	н/н	н/н	100
Германія	5	2000	800	200	900	900	8	н/н	н/н	н/н	н/н	н/н
Швеція	15	10000	3000	500	1000	300	8	н/н	50	н/н	н/н	н/н
Швейцарія	30	3000	100	200	1000	1000	10	н/н	100	н/н	н/н	н/н

Примітка: н/н не нормується

Незважаючи на окремі негативні твердження, використання органічних осадів як нетрадиційних добрив з метою збільшення родючості ґрунтів є одним із можливих варіантів вирішення проблеми їх розташування, оскільки повернення відходів переробки у сільськогосподарські та міські землі є вагомим чинником замикання кругообігу речовин у природі [6,22]. В Україні з 6-12 % всіх утворених осадів, які взагалі знаходять вторинне використання, в сільському господарстві вживається не більше 1/3.

У досліджуваних ОСВ виявлено значну кількість таких забруднюючих речовин як нафтопродукти і СПАР. Уміст нафтопродуктів у мулах приблизно на порядок більший, ніж у відібраних зразках ґрунтів і становить 0,17-1,41 г/кг сухої речовини (у середньому 0,536 г/кг сухої речовини). Наявність нафтопродуктів у мулах очисних споруд свідчить про те, що фракції нафтових вуглеводнів з високою температурою кипіння досить стійкі до біохімічного руйнування і вилучаються з стічних вод переважно за рахунок сорбції на завислих частках і частках надлишкового активного мулу [28]. Найбільші концентрації нафтопродуктів виявлено у свіжоутворених ОСВ. Зі збільшенням терміну витримки мулів їх концентрації дещо зменшуються і потім стабілізуються.

Вміст СПАР у ОСВ приблизно на порядок вищий, ніж у ґрунтах. Уміст аніонноактивних СПАР у осадах змінюється в межах 0,1-0,27 г/кг сухої речовини, катіонноактивних – 0,1-0,3, неіоногенних – не виявлено.

Радіоактивність осадів стічних вод

У 1973 р. параметри сумарної радіоактивності ОСВ Бортницької станції аерації ВАТ «АК «Київводоканал» становили 0,21 Бк/кг [27], а після аварії на ЧАЕС – зросли до 85,1 Бк/кг (за [26]) та 37 Бк/кг (за [2]). За результатами екологічної паспортизації ОСВ міських станцій аерації у післячорнобильський період встановлено, що параметри питомої активності ОСВ Бортницької станції аерації ВАТ «АК «Київводоканал» були такими: для ^{137}Cs – 33,7 Бк/кг, для ^{90}Sr – 11,8 Бк/кг [8]. Вважається недоцільним застосування на ґрунтах ОСВ тих міст, що розташовані в 100-кілометровій зоні впливу аварії на ЧАЕС, через небезпеку радіоактивного забруднення земель [2, 15, 18, 19, 26]. Тому необхідне детальніше дослідження сучасних параметрів радіоактивності ОСВ Бортницької станції аерації ВАТ «АК «Київводоканал» для обґрунтування екологічної доцільності їх використання на добриво та (або) як сировини для їх виробництва.

Слід наголосити, що у віддалений післячорнобильський період в ОСВ відмічено зменшення параметрів питомого вмісту ^{137}Cs (14,40 Бк/кг) порівняно з ранніми післяаварійними роками (31,9–33,7 Бк/кг) [2, 26]. Активність радіонуклідів у ОСВ представлено таким спадаючим рядом: ^{40}K (73%), ^{137}Cs (12%), Th (9%), ^{228}Ra (5%) і ^{155}Eu (1%). У ОСВ не було виявлено ^{134}Cs (табл. 7) [5].

Таблиця 7. Радіологічні показники осадів стічних вод м. Києва та їх сумарна активність (усередньому) [5]

Субтракт	Активність радіонуклідів, Бк/кг						Сума γ-квантів, Бк/кг
	^{155}Eu	^{137}Cs	^{137}Cs	^{40}K	Th Nat	^{228}Ra Nat	
ОСВ	0,95	-	14,40	90,72	11,25	5,92	123,24
	1,00*	-	12	73	9	5,0	100,0
Гній ВРХ	-	0,25	6,15	99,8	1,16	3,76	111,12
	-	0,2	5,5	90,0	1,0	3,3	100

Примітка: * наведено внесок радіонукліду (%) в сумарну радіоактивність

Санітарно-бактеріологічні і мікробіологічні показники осадів стічних вод

Бактеріологічні та гельмінтологічні показники, на відміну від хімічних, є прямими показниками ступеня фекального забруднення води, ґрунту та інших об'єктів навколишнього середовища. Ці показники слід віднести до найважливіших характеристик при встановленні можливості використання ОСВ як добрив. У багатьох випадках вони практично повністю визначають вибір способів попередньої підготовки і оптимізації складу ОСВ, технології їх внесення під різні сільськогосподарські культури.

Найбільшим забрудненням характеризуються свіжоутворені та змішані ОСВ. У зразках, які витримані 2 роки і більше, вміст цих мікроорганізмів близький до їх вмісту в ґрунті. Для цих зразків характерний також найбільший вміст БГКП (бактерій групи кишкової палички). За цими показниками вони характеризуються як "сильно забруднені" і "надзвичайно небезпечні" у санітарно-бактеріологічному відношенні.

Мікробне число (кількість сапрофітів) для ОСВ, витриманих на мулових майданчиках кілька років, практично відповідає аналогічній характеристиці досліджених ґрунтів (до 0,9). У всіх зразках ОСВ і ґрунтів виявлені також патогенні

мікроорганізми групи кишкових інфекцій, у тому числі й сальмонели. Отже, ОСВ з досить тривалим терміном витримки (а також ґрунти) можуть бути охарактеризовані як "слабо забруднені відносно безпечні". Використання таких ОСВ як добрив або сировини для приготування не погіршує санітарно-бактеріологічні характеристики ґрунту сільгоспугідь [4].

Одночасно повного знезараження ОСВ не відбувається. Про це свідчить наявність в окремих пробах деякої кількості життєздатних личинок стронгілоїд, низьке значення колі-титру у свіжих ОСВ, підвищене мікробне число і значна кількість фекальних бактерій у деяких досліджених зразках. Тому епідеміологічно безпечна утилізація даних ОСВ вимагає реалізації додаткових заходів з їх дозозаражування. До таких заходів можна віднести обробку ОСВ простими знезаражуючими реагентами (аміаком, вапном тощо).

Встановлено, що партії осадів стічних вод, експериментальних органо-мінеральних сумішей (ОМС) і гною ВРХ значно відрізнялися за абсолютними показниками вмісту мікроорганізмів. Так, чисельність мікроорганізмів, що засвоюють переважно органічні сполуки азоту, є найбільшою в гної ВРХ і дещо меншою – в осадах стічних вод.

Виконані мікробіологічні дослідження ОСВ показали, що найбільш інтенсивно мікробіологічна активність таких субстратів виявляється у перші 6–

12 місяців. Ці періоди характеризуються перш за все високою активністю мінералізаційної групи, в тому числі амоніфікаторів, олігонітрофілів, бактерій, які використовують азот мінеральних сполук.

Невисокою є інтенсивність мінералізаційних процесів у напівперепрілому гної ВРХ, осадах стічних вод. Інтенсивність мінералізаційних процесів в осадах стічних вод становить 0,51-0,80, у гної великої рогаї худоби – 0,81-1,13. Вважається [29], що показники коефіцієнтів мінералізації та іmobilізації нижчі за 1,0 свідчать про переважання синтетичних процесів над мінералізаційними, а значне перевищення цього показника відображає протилежну залежність.

Найбільша кількість стрептоміцетів присутня у гної ВРХ незалежно від досліджуваної партії цього субстрату. Приблизно на половину меншою (але на досить високому рівні – мільйони КУО в 1 грам) є чисельність цих мікроорганізмів в осадах стічних вод. Отже внесення гною ВРХ та осадів стічних вод у ґрунти буде сприяти процесам гумусоутворення.

При визначенні в досліджуваних субстратах чисельності азотфіксуювальних бактерій встановлено, що найбільша їх кількість присутня у гної ВРХ, дещо нижча – в осадах стічних вод.

Несподівано вищою в осадах стічних вод, порівняно до гною ВРХ, виявилася кількість такого представника мікроорганізмів як азотобактер. В осадах стічних вод кількість азотобактера більша, ніж у гної ВРХ, майже в два рази. Оскільки азотобактер є одним із найбільш вразливих мікроорганізмів до дії антропогенних забруднювачів і індикатором відсутності фітотоксичності [21,30,31], то можна вважати,

що осади стічних вод та продукти їх переробки є цілком оптимальними в цьому відношенні.

При аналізі показників чисельності фосфатмобілізуювальних мікроорганізмів у субстратах встановлено, що найбільша їх кількість присутня в гної ВРХ – 63,9 млн КУО/1 г сухої речовини. Досить високим, хоча й нижчим за показники контрольного субстрату приблизно в два рази, є вміст фосфатмобілізаторів у осадах стічних вод.

При вивченні чисельності мікроскопічних грибів у досліджуваних об'єктах встановлено, що найбільша їх кількість налічується в контрольному субстраті – 398,9 тис/КУО на 1 г сухої речовини (гної ВРХ). Осади стічних вод помітно поступаються за цим показником традиційному органічному добриву – 174,4 тис/КУО на 1 г сухої речовини [4].

Позитивним при цьому є те, що осади стічних вод та продукти їх переробки не можуть бути тими субстратами, які містять патогенні форми мікроміцетів, оскільки умови для їх розвитку несприятливі. Цей висновок є цікавим і цінним, оскільки перспектива використання нових добрив повинна оцінюватися і за можливим їх впливом на розвиток захворювань сільськогосподарських культур, частину з яких спричиняє інтенсивний розвиток патогенних форм мікроміцетів [4].

Встановлено, що технологічно підготовлені осади стічних вод Бортицької станції аерації ВАТ АК«Київводоканал» як субстрат прийнятні для розвитку мікроорганізмів різних еколого-трофічних груп. За чисельністю мікроорганізмів окремих груп ці відходи поступаються традиційному органічному добриву. Проте вони переважають його за кількістю азотобактера і характеризуються значно меншим вмістом

мікроміцетів, що з позицій агрономії є надзвичайно цінною ознакою.

У цілому, за мікробіологічними показниками осади стічних вод і продукти їх переробки придатні для використання на добриво у землеробстві.

Висновки

Щодо при очищенні стічних вод м. Києва утворюється понад 9 тис. т мулу, який складають у картах на полях в околицях с. Ревне. При цьому карти заповнені втричі більше допустимої норми, де накопичено 9 млн кубів осаду та мулу, сумарна площа полів становить 272 га.

За гранулометричним складом досліджувані ОСВ є мулистими, близькими до природних алевритових мулів утворення, які містять помітну кількість домішок пелітового (глинистого) або піщаного матеріалу. Вміст глинистих часток у осадах стічних вод коливається в межах 20-40 %. Отже вони можуть впливати на зниження водно-фільтраційних характеристик ґрунтів і зниження аерації при використанні їх як органічних добрив на лівобережжі Дніпра.

Осади мають слабокислу й нейтральну реакцію та помітну кількість загальної органічної речовини, яка майже на 50 % складається з гумусоподібних форм. За зольністю і валовим вмістом органічної речовини розглянуті ОСВ близькі до середньозольних торф'янистих ґрунтів.

ОСВ характеризуються високим вмістом оксидів заліза. При використанні ОСВ як добрива оксиди заліза можуть акумулюватися у певних ґрунтових горизонтах, взаємодіяти з ґрунтовими колоїдами і ґрунтовими розчинами, утворюючи системи, здатні блокувати надходження у коріння рослин поживних речовин і вологи.

Мулові відклади осадів стічних вод м. Києва характеризуються високими валовими й рухомими концентраціями загального азоту і фосфору, значно вищими, ніж їх вміст у зональних ґрунтах лівобережжя Києва.

Зі збільшенням тривалості зберігання ОСВ вміст амонійного азоту зменшується, а нітратного — зростає. Для рухомих форм фосфору і калію такі зміни практично не відзначаються.

У досліджуваних осадах стічних вод виявлено помітну кількість різних водорозчинних солей (від 0,47 до 1,52%). Серед них переважають сульфати, нітрати, кальцій, амоній. Сумарна засоленість ОСВ приблизно у 10-25 разів перевищує вміст легкорозчинних солей у ґрунтах Київської обл. Досить високий вміст у ОСВ токсичних для рослин компонентів хлориду і сірки. Досліджувані ОСВ є середньо- і сильно засоленими. Засолення носить сульфатно-кальцієвий характер.

Карбонатність ОСВ невелика і відсутня сода.

Сумарний вміст обмінних основ у поглинутому комплексі мулових відкладів є високим (35,2-87,0 мг-екв/100 г сухої речовини осадів) і помітно перевищує відповідну характеристику регіональних ґрунтів поблизу Києва. Співвідношення кальцію і магнію у вбирному комплексі є сприятливим для магнієвого живлення рослин і становить 3:1 або 4:1.

В ОСВ м. Києва виявлено високі концентрації свинцю, хрому, миш'яку, кадмію та ін., які негативно впливають на розвиток сільськогосподарських рослин і можуть накопичуватися в їх продукції.

У досліджуваних ОСВ виявлено значну кількість таких забруднюючих речовин як нафтопродукти і СПАР.

Порівняно з 1973 р. ОСВ м. Києва мають досить високі параметри сумарної радіоактивності.

Загалом за мікробіологічними показниками осади стічних вод і продукти їх переробки придатні для використання на добриво у землеробстві.

Отже, сьогодні не рекомендовано ОСВ м. Києва використовувати для удобрення ґрунтів у невідготовленому вигляді. Їх необхідно очищати від важких металів, радіоактивності, розбавляти, компостувати, зброджувати на біогаз або спалювати для отримання енергетичних ресурсів.

Література

1. Аринушкина Э.В. Руководство по химическому анализу почв. Изд. 2-ое, переработанное и дополненное. М.: Изд-во МГУ, 1970. - 630 с.
2. Веремий А.А. О формировании искусственных геохимических провинций в зоне орошения сточными водами крупного промышленного города / А.А. Веремий // Тезисы докл. «Почвенная очистка и утилизация сточных вод и животноводческих стоков». — М.: ВНИИГиМ, НПО «Прогресс», 1992. — С. 78–80.
3. Гюнтер Л.И. К проблеме утилизации ОСВ в качестве удобрения / Л.И. Гюнтер, С.Д. Беляева // Известия жилищно-коммунальной академии городского хозяйства и экологии. - 1997. - № 2. - С. 38–48.
4. Дишлок В.С. Вплив осадів стічних вод і продуктів їх переробки на мікробне угруповання та біологічну активність ризосферного ґрунту рослин кукурудзи [Текст] / В.С. Дишлок // Міжвідомчий тематичний науковий збірник. Сільськогосподарська мікробіологія. — К.: Інститут мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного, 2010. — Вип. 12 — С. 68–86.
5. Дишлок В.С. Радіологічна оцінка осадів стічних вод і продуктів їх переробки / Агроекологічний журнал. 2012. № 3 с.31–34.
6. Дрозд Г.Я. Исследование депонированных осадков сточных вод / Г.Я. Дрозд, В.В. Чура, Р.В. Бреус // 36. научных работ Луганского национального аграрного университета. Серия «Технические науки». - 2007. - №72(95). - С. 3–17.
7. Екологічна ситуація на території Бориспільського району потребує негайного вирішення // Бориспільські вісті. - 22 лютого 2008 р.
8. Звіт про НДР: «Розробка технологій та екологічних нормативів одержання і використання екологічно чистих добрив на основі осадів мських стічних вод з проведенням моніторингу стоків промислових підприємств, осадів, ґрунтів та вирощуваної сільськогосподарської продукції» / Т.Л. Сало, В.С. Дишлок, М.С. Герасимчук [та ін.]; Українська академія аграрних наук, Дослідна станція утилізації стічних вод ІГім УААН. — К., 1995. — 99 с. — Деп. в УкрІНТЕІ, номер держ. реєстрації 01.93. У 005231, інв. номер 02.96. U.001896 (заключний)
9. Методика агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення / За редакцією члена-кореспондента. УААН С. М. Рижук та інших. — К., 2003. — 63 с.
10. Методические указания по выделению микроорганизмов, растворяющих труднодоступные минеральные и органические соединения фосфора / ВНИИСХМ. — Л., 1981. — 20 с.
11. Методичні вказівки та рекомендації з біотехнологічних методів переробки та використання органічних відходів міст / За заг. ред. Мельничука Д. О. та Городнього М. М. — К. : ТОВ «Алефа», 2003. — 111 с.
12. Мишустин Е.Н. Ассоциации почвенных микроорганизмов / Е.Н. Мишустин. — М.: Наука, 1975. — 106 с.
13. Нависла загроза затоплення с. Ревне і стікання каналізації у Дніпро // Трудова слава. — 20 травня 2008.
14. Нечистоти захлестнут столицу // Киевский регион. - 25-31.10.2006
15. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97); Державні гігієнічні нормативи. — 121 с.
16. Обработка осадка сточных вод — опыт и полезные советы / Пер. с англ. А. Кузавко, под. ред. Л. Науменко. — Комиссия по окружающей среде Союза балтийских городов. — 125 с.

17. Органические удобрения / А. А. Бацу 2-е изд. — 184 с.
18. Ориентировочные допустимые концентрации (ОДК) тяжелых металлов и мышьяка в почвах (Дополнение № 1 к перечню ПДК и ОДК № 6229-91), утв. 27.12.1994 № 13 ГН 2.7.020-94.
19. Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України. Затв. Наказом МОЗ України № 54 від 20.02.2005. — К., 2005. — 116 с.
20. Перепелятников Г.П. Основы заальной радиоэкологии: [монография] / Г.П. Перепелятников. — 2-ге вид.— К.: Атіка, 2012. — 440 с.
21. Рубенчик Л.И. Микроорганизмы — биологические индикаторы / Л.И. Рубенчик. — К.: Наук. думка, 1972. — 164 с.
22. Сорокіна К. Б. Технологія переробки та утилізації осадів / Сорокіна К. Б., Козловська С. Б. Харків: ХНАМГ, 2012 — 226 с.
23. Теппер Е.З. Практикум по микробиологии / Е.З. Теппер, В.К. Шильникова, Г.И. Переверзева. — Минск: Колас, 1972. — 200 с.
24. Технічні умови. Добриво із осадів стічних вод: ТУ 204 України 76-93 / Держ. ком. України по житлово-комунальному господарству. — Харків.— 1994. — 16 с.
25. Фесюк В. О. Екологічні наслідки впливу осадів стічних вод очисних споруд м. Луцька на навколишнє середовище та шляхи їх мінімізації / В. О. Фесюк, С. Г. Панькевич // Наук. пр. Укр. н.-д. гідрометеоролог. ін-ту. — К.: УкрГМІ, 2007. — Вип. 256. — С. 286–292.
26. Хижняк Н.И. Гигиенические аспекты использования осадков сточных вод после аварии на Чернобыльской АЭС / Н.И. Хижняк, М.А. Сытенко // Тезисы докл. «Почвенная очистка и утилизация сточных вод и животноводческих стоков». — М.: ВНИИГиМ, НПО «Прогресс», 1992. — С. 66–67.
27. Хруслова Т.М. Використання мулу стічних вод у сільському господарстві / Т.М. Хруслова, С.Я. Найштейн. — К.: Урожай, 1974. — 64 с.
28. Шевчук В. А. Біотехнологія одержання органіко-мінеральних добрив із вторинної сировини / В. А. Шевчук, К. О. Чеботько, Разгуляева В. А. — К., 2001 — 204 с.
29. Шерстобоева Е.В. Биоиндикация экологического состояния почв / Шерстобоева Е.В., Чабанюк Я.В., Федак Л.И. //С.-г. мікробіол. міжвід. темат. наук. зб. — Чернівці: ЦНТЕІ, 2008. — Вип. 7. — С. 48–56.
30. Kolosvary I. Data concerning the possibility of using the abundance of the *Azotobacter* cells as a bioindicator of soil pollution / Kolosvary I. // Stud. Univ. Babeş-Bolyai. Biol. — 1998. — № 1-2. — P. 137–141.
31. Pavlov S.V. On the problem of development of soil biomonitoring subsystem / Pavlov S.V., Kuramshina N.G., Yurieva V.V., Yurieva G.V. // Intern. Ecol. Congr. (Voronezh, Sept. 22-28 1996 y.): Abstr. — Voronezh: Manhattan (Kans.), 1996. — P. 126.