

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКА ЕКОЛОГІЯ.
АГРОНОМІЧНІ НАУКИ

УДК 631.879.2:504:614.79
© 2016

Ю.С. КРАМАРЬОВА,
кандидат медичних наук

ДЗ “Дніпропетровська медична академія
МОЗ України”

E-mail: Julia-grata@rambler.ru

м. Дніпро, вул. В. Вернадського, 9

ЕКОЛОГО-ГІГІЄНИЧНА
ХАРАКТЕРИСТИКА
ТА АГРОХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ
ОРГАНО-МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ,
ОТРИМАНИХ
НА ОСНОВІ ОСАДІВ
МІСЬКИХ СТІЧНИХ ВОД

Проведено порівняльну оцінку фізико-хімічних і токсикологічних властивостей осадів міських стічних вод станцій аерації м. Дніпро та органо-мінеральних добрив, отриманих на їх основі після вилучення з них важких металів. Запропоновано оптимальний склад органо-мінеральних добрив та вдосконалено технологію їх виробництва в промислових умовах. Отримані органо-мінеральні добрива мають пролонговану дію і незаперечні переваги порівняно зі стандартними туками, внесеними в еквівалентній дозі. Їх переваги чітко проявляються в посушливі роки. Застосування органо-мінеральних добрив, отриманих на основі осадів міських стічних вод, дало можливість отримати надбавку врожаю зерна ячменю ярого в межах 2,5–3,0 ц/га, що відповідає існуючим санітарно-гігієнічним вимогам.

Ключові слова: осаді міських стічних вод, органо-мінеральні добрива, важкі метали.

Однією з найістотніших діагностичних ознак деградації ґрунту є суттєве зменшення вмісту в ньому органічної речовини та її основної складової – гумусу. Це зумовлено багатьма причинами, основними з яких є відсутність постійної компенсації рослинними рештками й органічними добривами поточних витрат органічної речовини, переважно внаслідок її біологічної мінералізації та змін співвідношення, що склалися між мінералізацією свіжої органічної речовини, утворенням і стабілізацією нових гумусових речовин у ґрунті. Відомо, що основою регулювання кругообігу речовин у землеробстві й відтворення балансу гумусу в ґрунтах є раціональне застосування органічних і органо-мінеральних добрив (ОМД) на основі місцевої сировини – гною, поживних решток, торфу, сапропелю, осадів міських стічних вод (ОМСВ) тощо [1, 2]. Серед усіх перелічених джерел органічної речовини важливе місце займають осаді міських стічних вод, які мають у своєму складі, поряд з великою кількістю різноманітних поживних речовин, ще

й цілий ряд поллютантів [3], домінуюче положення серед яких займають катіони важких металів (ВМ) [4]. Нарешті, їх багаторічне складування навкруги станцій аерації вилучає з раціонального використання дефіцитні міські площі [3, 4]. Провідним чинником, що стримує корисне вторинне використання ОМСВ індустріальних міст, як сировини для виготовлення на їх основі ОМД, є їх токсикологічна небезпека через можливе додаткове надходження з них в об'єкти довкілля токсичних речовин, передусім ВМ [2, 3]. Тому розробка надійних методів вилучення ВМ з ОМСВ є головною передумовою їх використання, як сировини для виготовлення на їх основі ОМД, що буде сприяти відновленню органічної речовини в ґрунті для отримання якісної та безпечної рослинної продукції [4]. Проблема утилізації ОМСВ, що утворюються на каналізаційних очисних спорудах міст, стає екологічним і економічним напрямом захисту навколишнього середовища і охорони здоров'я населення. Через невирішеність шляхів утилізації ОМСВ в Україні з кожним

роком зростає їх навантаження на мулові карти і вимагає розширення площ для зберігання [4, 7].

Одним із шляхів утилізації ОСВ у світі є їх використання як сировини для виробництва на їх основі ОМД з метою підвищення вмісту гумусу в ґрунтах, їх родючості і продуктивності землеробства [2–4]. Аналіз проведених досліджень і публікацій показав, що використання стічних вод, як цінного добрива, важливе для зниження забруднення навколишнього середовища ВМ, підвищення врожайності сільськогосподарських культур [1–4]. Скороченням чисельності поголів'я великої рогатої худоби та свиней, а відповідно й різке зменшення обсягів накопичення гною в гноєсховищах господарств, робить сьогодні найбільш пріоритетним у сільськогосподарській практиці ґрунтовий шлях утилізації ОСВ після вилучення з них катіонів ВМ [8, 9]. З цієї метою після їх очищення від ВМ застосовують і термічно осушені ОМСВ, які мають вологість 35–40 % та являють собою санітарно незаражений сухий сипкий продукт. Внесення ж ОМСВ, безпосередньо взятих з мулових майданчиків без попереднього їх зневоднення (вологість 80–40 %), є досить складною задачею, оскільки за своїми фізико-механічними властивостями вони не дозволяють їх використати жодним відомим технічним засобом [2].

Останніми роками визнано [1, 4], що оптимальним вирішенням проблеми утилізації ОМСВ є їх переробка з використанням біотехнологічних, фізичних і хімічних методів та одержання на їх основі екологічно безпечних і повноцінних ОМД: біокомпостів, удобрювальних композитів (сумішей) тощо [10, 11]. Для оптимізації складу продуктів переробки ОСВ, зниження вмісту в них небажаних домішок рекомендовано використовувати, як добавки (наповнювачі), цінні в агрономічному і безпечні в санітарно-гігієнічному відношенні відходи виробництва, а з метою підвищення агрохімічних властивостей і виготовлення на їх основі ОМД вводити до їх складу мінеральні добавки. Натепер в Україні ще не створено теоретично і технологічно обґрунтованих підходів для виробництва і застосування ОМД, створених на

основі ОМСВ, недостатньо досліджено їхній вплив на родючість ґрунту, продуктивність сільськогосподарських культур та на біохімічні показники якості вирощеної продукції. Це актуалізує необхідність проведення додаткових досліджень з визначення безпосереднього впливу ОМД, отриманих на основі ОМСВ, на агрохімічні властивості чорноземних ґрунтів України як у контексті їхньої антропогенної еволюції, так і для вдосконалення моніторингу ґрунту задля уточнення регламенту безпечного застосування добрив та підвищення продуктивності зернових культур і покращення біохімічних показників якості вирощеного зерна.

Мета нашої роботи – надання еколого-гігієнічної характеристики та різнобічно оцінити агрохімічні властивості ОМД, виготовлених на основі ОМСВ.

Матеріали та методи дослідження. На лабораторних пристроях відпрацьовані основні технологічні стадії виробництва ОМД пролонгованої дії на основі ОМСВ Південної станції аерації м. Дніпро, які зберігалися на мулових майданчиках протягом 3-х років після попереднього вилучення з них пріоритетних токсикантів – катіонів ВМ. Процес виробництва ОМД включав основні стадії: виділення з ОМСВ фракції 1–3 мм шляхом просіювання їх через сита відповідного діаметра; змішування вихідних компонентів, необхідних для виробництва ОМД; грануляція; сушіння.

Із ОМСВ, які доведені після досушування до вологості 30 %, шляхом просіювання через сита виділяли товарну фракцію до 2 мм, що надходила в шнековий змішувач, у який через розпилювач під тиском 1,5 атм додавався водний розчин одного з вихідних мінеральних компонентів: амофосу, нітроамофосу, карбаміду. Грануляцію отриманої суміші проводили у два етапи. Спершу отримана волога маса ОМСВ у суміші з мінеральним компонентом надходила в гранулятор валкового типу з філь'ерами діаметром 4 мм. Другим етапом грануляції було обдування та сушіння гранул у барабанній сушарці діаметром 0,3 м. Обігрів барабана забезпечувався паливними газами газового пальника. Температура в барабані контролювалася термопа-

рою та знаходилася в межах 373–383 °С. Час сушіння – 30 хв за частоти обертів барабана 20 об./хв. Гранули ОМД, висушені до вологості 4 %, можуть зберігатися в затареному вигляді тривалий час.

Сухий залишок отриманих ОМД визначали ваговим методом з попереднім випаровуванням, зольність осадів – сухим їх озоленням у муфельній печі, азотисті сполуки (азот загальний) – за методом К'єльдаля, азот амонійний і нітратний та фосфор загальний – колориметрично, рухомі сполуки фосфору – методом Чирикова, калій валовий – емісійною полум'яною спектрофотометрією [5, 6]. Статичну міцність гранул розраховували, як відношення середньої рушійної сили на гранулу до середньої площі поперечного розрізу гранул.

Отримані ОМД досліджували на вміст у них комплексу ВМ (кадмію, свинцю, марганцю, хрому, нікелю, цинку, міді) методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії на приладах ААС-IN (Німеччина), ААС-30 Хітачі (Японія). Атомізацію аналітичних розчинів проводили в повітряно-ацетиленовому полум'ї. Поряд з валовим вмістом ВМ у ґрунті досліджені і концентрації їх рухомих форм. Рухомі форми ВМ у ґрунті визначали в амонійно-ацетатній буферній витяжці з рН = 4,8.

Ефективність ОМД, отриманих із ОМСВ, вивчали на Єрастівській дослідній станції ДУ Інституту зернового господарства НААН України в посівах ячменю ярого середньостиглого сорту Галактик. У польовому досліді добрива вносили восени під основний обробіток ґрунту суцільно врозкид у 2008–2011 рр. рекомендованою дозою. Повторність дослідів на території – триразова, повторність у часі – трирічна. Загальна площа дослідної ділянки – 50 м², облікової – 40 м².

Результати дослідження та їх обговорення. ОМД, виготовлені на основі ОМСВ, мають беззаперечні переваги відносно традиційних органічних добрив, таких як гній, пташиний послід, торф та еквівалентних доз мінеральних туків. У технологічному процесі одержання ОМД мінеральні елементи живлення утворюють з гуміновими кислотами органічно-мінеральні комплекси, що до-

зволяють закріпити азот і катіони калію в обмінній формі та зменшити ступінь їх рухомості, а фосфор перевести в дигідрофосфатну форму, що здатна легко засвоюватися рослинами. За рахунок цього коефіцієнт використання поживних речовин зростає, що дозволяє знизити дози внесення цих добрив. Використання таких ОМД сприяє покращенню фізико-хімічних властивостей ґрунту, збільшенню вмісту в ґрунті продуктивної вологи за рахунок їх здатності утримувати вологу в гранулах протягом тривалого часу, завдяки чому ґрунт стає пухкішим, знижується і щільність його складення. За їх використання не відбувається засолення ґрунтів, що іноді спостерігається в разі внесення високих доз мінеральних добрив. До переваг ОМД можна віднести й такі три головні їх особливості: 1) містять велику кількість лігніну, який є повільно діючим джерелом елементів мінерального живлення, тобто джерелом для утворення гумусу й середовищем для розвитку мікроорганізмів; 2) кальцій, що міститься в ОМД, сприяє закріпленню органічної речовини в ґрунті, а також є джерелом поповнення ґрунту катіонами Ca²⁺, тобто забезпечує формування сприятливих воднофізичних властивостей ґрунту; 3) ОМД, які містять у своєму складі до 6 % органічного вуглецю, дозволяють вирішити одну з головних проблем сучасного землеробства – забезпечення бездефіцитного балансу гумусу.

Поряд з викладеним у технології використання ОМД важливим є те, що з них елементи живлення звільнюються відповідно до потреб рослин, протягом періоду онтогенезу пролонговано. В основному перехід з них у ґрунтовий розчин поживних речовин протікає при зростанні зволоження ґрунту, а під час засухи, навпаки, вони знаходяться в гранулі і не підвищують осмотичний тиск рідкої фази ґрунту й зводять до мінімуму непродуктивні втрати поживних речовин. ОМД містять поряд з органічними компонентами ще й легкодоступні рослинам мінеральні форми азоту, рухомі форми фосфору й калію та мікроелементи в хелатній формі, в яких функції лігандів виконують гумінові та фульвокислоти, присутні в складі цих осадів. Отримані ОМД включають у свої грану-

ли, поряд з необхідними рослинам макро- і мікроелементами, ще й органічні речовини, які представлені гумусом, гуматами, фульватами й іншими органічними сполуками, що є джерелом вихідного матеріалу, з якого в ґрунті в процесі гуміфікації утворюється гумус. У ґрунт разом з цими ОМД надходить й цілий комплекс біологічно активних речовин таких, як гібереліни, ауксини, цитокініни та ін., які позитивно впливають на фізіологічні і біохімічні процеси, що відбуваються в рослинному організмі.

Добрива, отримані шляхом інтенсивного змішування, грануляції та сушіння, є твердим гетерогенним комплексом. Роль безперервної фази (матриці) належить органічній речовині, а дисперсної фази (наповнювача) – мінеральному компоненту. Органічна частина утворює комірчастий каркас, який запобігає вимиванню поживних речовин. Карбамід, амофос або нітроамофос, які входять до складу отриманого ОМД, за оптимальних умов зволоження ґрунту здатні розкладатися з утворенням аміаку, який взаємодіє з органічною речовиною ґрунту. Гумати амонію, які утворюються при цьому, характеризуються значно більшою біологічною активністю, ніж компоненти, з яких він утворився. Легкорозчинні компоненти таких добрив вільно адсорбуються іонообмінними струк-

турами ґрунту та міцно утримуються ними, що підвищує коефіцієнт використання сільськогосподарськими рослинами поживних речовин з цих добрив та забезпечує їх пролонговану дію. Оскільки транспортування “традиційних” органічних добрив у незмінному вигляді на великі відстані є економічно не вигідним, то ОМД, отримані на основі ОМСВ, навпаки, компактні, сухі, відносно легкі, мають задовільні фізико-хімічні властивості (табл. 1), і їх без будь-яких проблем можна перевозити на значні відстані від місця виробництва.

Серед різновидів ОМД з карбамідом характеризується найвищою статичною міцністю гранул (на 64,2 % вище, ніж в ОМД з амофосом) при $p < 0,05$, та на 35,2 % вище, ніж в ОМД з нітроамофосом при $p < 0,01$, та займає провідне місце за вмістом загальної азоту. У всіх добривах ВМ є природними домішками, які потрапляють до них разом зі сировиною, з якої виробляють відповідні туки, тому їх кількість залежить від виду вихідної сировини і технології переробки. Вміст цих домішок варіює в надто широких межах, від 5 до 10 %. Серед усіх їх видів, за експериментальними даними ЦІНАО, азотні добрива вважаються найбільш екологічно “чистими” [6]. Але за науково необґрунтованого їх використання вміст у них токсичних

1. Фізико-хімічні показники якості ОМСВ після трьох років зберігання та ОМД, отриманих на їх основі ($M \pm SD$)

Показник, одиниця виміру	ОМД з мінеральним компонентом			ОМСВ
	карбамід	амофос	нітроамофос	
Вологість, %	21,6±1,1	28,6±1,5	25,4±1,1	43,9±1,8
pH водневе	6,5±0,1	5,9±0,1	6,5±0,1	5,9±0,1
Сухий залишок, %	32,4±1,7	35,4±1,3	30,4±1,1	32,4±1,7
Органічна речовина, %	21,2±0,1	26,8±1,1	24,1±0,7	24,3±1,4
Статична міцність гранул, Па	2,3±0,7	1,4±0,3	1,7±0,3	-
Гігроскопічність, %	8,6±1,1	9,1±0,9	8,7±0,6	-
Азот загальний, %	9,1±0,1	6,3±0,1	5,2±0,1	1,4±0,2
Фосфор загальний, %	0,5±0,1	2,6±0,2	6,4±0,4	1,3±0,1
Калій загальний, %	0,9±0,2	0,6±0,1	5,9±0,6	0,2±0,05

2. Вміст валових та рухомих форм ВМ в ОМД, отриманих з ОМСВ

Об'єкт дослідження	Форма присутності	Концентрація та клас небезпеки в ґрунті, (M±m), мг/кг *						
		Zn (I)	Mn	Cu (I)	Ni (II)	Cd (I)	Pb (I)	Cr (II)
ОМД № 1 з карбамідом	Валова	24,59±1,22	78,9±2,3	30,1±3,3	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
	Рухома	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
ОМД № 2 з амофосом	Валова	26,8±1,3	76,4±2,1	29,33±1,5	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
	Рухома	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
ОМД № 3 з нітроамофосом	Валова	24,7±1,3	79,2±2,1	28,4±2,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
	Рухома	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Фонові концентрації	Валова	54	1017	20	34	-	15	62
ГДК у ґрунті, мг/кг	Валова	-	1500	3,0 (72)	4,0 (14,0)	-	32 (260)	80,0
	Рухома	23,0 (200)	(1500)					6,0

* У дужках – допустимі показники ГДК вмісту ВМ у чорноземах звичайних.

домішок (складових добрив), що надходять до ланок агроценозу, може бути таким, що негативно впливатиме на здоров'я людини. Крім того, азотні добрива, як хімічно активні речовини, значно впливають на фізико-хімічні властивості ґрунту та життєдіяльність ґрунтової мікрофлори, через що змінюють умови міграції ВМ за ґрунтовим профілем та в системах “ґрунт-рослина” і “ґрунт-ґрунтова вода”.

Прогнозуючи збільшення вмісту ВМ у ґрунті, можна передбачити збільшення вмісту й мікроелементів у сільськогосподарських культурах. При цьому їх надлишок чи нестача в навколишньому середовищі зумовлюють зміни в процесах обміну речовин, виникнення аномалій розвитку, виявлення ендемічних захворювань у тварин та людини [2]. Для вилучення ВМ з ОМСВ після трирічного терміну їх зберігання нами запропоновано використовувати 0,1М розчин етилендіамінтетраацетату (ЕДТА) у співвідношенні 2:1,

оскільки при цьому забезпечується найбільш повне вилучення з них ВМ. Результати досліджень показали, що вміст цинку в оброблених ОМСВ зменшився в 10,2 раза порівняно з кількістю його в необроблених осадах при $p < 0,01$ і був нижчим за фонові значення; вміст міді зменшився в 17,7 раза при $p < 0,01$. Концентрація марганцю знизилася в 17,7 раза при $p < 0,01$. Вміст ВМ в ОМД, отриманих на основі ОМСВ, був у межах фонових концентрацій для регіональних ґрунтів і не перевищував ГДК (табл. 2).

Результати наших досліджень підтверджують, що запропонована технологія виготовлення ОМД позитивно впливає на зниження небезпеки забруднення чорноземів звичайних рухомими формами ВМ. Зокрема, попереднє просіювання, висушування та грануляція сприяють отриманню добрив з рівномірним розподілом хімічних речовин екзогенного походження; за постійного лабораторного контролю вмісту ВМ в отриманих

3. Вміст рухомих форм фосфору та обмінного амонію в орному шарі ґрунту за внесення ОМД, отриманих з ОМСВ (n = 9, M±SD)

Рухомі форми фосфору	Добрива з ОМСВ, мг/100 г ґрунту	
	до внесення	після внесення
P ₂ O ₅	9,6 ± 0,9	12,4 ± 0,3
NH ₄ ⁺	4,9 ± 0,7	7,8 ± 0,7

добривах можна розраховувати на більш репрезентативні результати аналізів для кожної виготовленої партії; на підставі отриманих експериментальних даних є можливість більш точно розрахувати максимальну кількість внесення ОМД з дотриманням санітарно-гігієнічних вимог, не перевищуючи ГДК, перш за все за транслокаційним показником шкідливості.

У польових дослідках було встановлено, що внесення ОМД у рекомендованих дозах ($N_{30}P_{30}$) підвищує вміст у ґрунті основних мінеральних поживних речовин: збільшення рухомого фосфору на 30 % ($p < 0,01$), обмінного азоту у вигляді NH_4^+ – на 60 % ($p < 0,01$) – табл. 3. Отримані дані свідчать про прохо-

дження в ґрунті інтенсивних процесів мінералізації та гуміфікації екзогенних органічних речовин. Вміст валових і рухомих форм ВМ в орному шарі ґрунту після внесення отриманих ОМД не змінювався й залишався в межах фонових концентрацій.

Створення сприятливих умов мінерального живлення за рахунок внесення ОМД, отриманих на основі ОМСВ, дало можливість навіть в умовах жорсткої посухи, яка спостерігалася в роки проведення досліджень, отримувати близькі до середньорічних врожаї зерна. Додатковий приріст урожаю зерна в посівах ячменю ярого варіював у межах 2,5–3,0 ц/га за врожайності на контролі 25,4 ц/га.

Висновки

Таким чином, запропонована технологія отримання комплексних ОМД з ОМСВ забезпечує вміст у них достатньої кількості необхідних сільськогосподарським рослинам макро- та мікроелементів. Застосування таких ОМД на чорноземах звичайних не погіршує їх санітарні показники і дає можливість досягти в ґрунті позитивного

балансу азоту та фосфору. Наголосимо, що в агроценозах наступних культур сівозміни післядія цих ОМД тривала ще протягом чотирьох років. Вміст ВМ у зерні ячменю ярого, вирощеного із застосуванням ОМД, відповідав існуючим санітарно-гігієнічним нормам, оскільки був нижчий за максимально допустимі рівні.

Бібліографія

1. Аликбаева Л.А. Эколого-гигиенические аспекты утилизации осадков сточных вод высокоурбанизированных территорий / Л.А. Аликбаева // Вісник гігієни та епідеміології. – 2012. – Т. 10, № 1. – С. 164–168.
2. Афанасьев Р.А. Подготовка и использование осадков сточных вод в качестве удобрений / Р.А. Афанасьев, Г.Е. Мерзлая // Водоснабжение и санитарная техника. – 2008. – № 1. – С. 25–29.
3. Біотехнологія одержання органо-мінеральних добрив із вторинної сировини та їх використання / М.М. Горондній, А.В. Бикін, Є.Г. Самохвал [та ін.] // Науковий вісник НАУ. – 2002. – Вип. 48. – С. 231–236.
4. Грачева М.П. Гигиенические аспекты обезвреживания, утилизации и использования в народном хозяйстве осадков сточных вод / М.П. Грачева, Б.А. Минеев // Гигиена и санитария. – 1988. – № 1. – С. 23–24.
5. ГОСТ 5180-84. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. – М.: Изд-во стандартов, 1993. – 23 с.
6. ГОСТ 26204-91. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Чирикова в модификации ЦИНАО. – М., 1991. – 3 с.
7. Попович В.В. Горіння полігонів твердих побутових відходів як загроза здоров'ю людини та фактор техногенного навантаження на довкілля / В.В. Попович, В.П. Кучерявий // Вісник Дніпропетровського державно-

- го аграрно-економічного університету. – 2012. – № 1. – С. 162–166.
8. Скрильник Є.В. Агрохімічні і технологічні основи приготування композиційних органо-мінеральних добрив (ОМД) / Є.В. Скрильник, А.О. Федоров // Вісник Харківського державного аграрного університету. – 1999. – № 1. – С. 152–154. – (Серія: Ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове господарство).
9. Скрильник Є.В. Застосування органо-мінеральних добрив в умовах сучасного землеробства / Є.В. Скрильник // Вісник Харківського державного аграрного університету. – 1999. – № 2. – С. 141–146. – (Серія: Ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове господарство).
10. Скрильник Є.В. Вплив різних способів внесення органо-мінеральних добрив на продуктивність ланок сівозміни та баланс поживних речовин в умовах чорнозему типового Лісостепу України / Є.В. Скрильник // Вісник центру наукового забезпечення АПВ Харківської області. – 2011. – Вип. 11. – С. 252–263.
11. Скрильник Є.В. Вплив органо-мінеральних добрив на агрохімічні та фізико-хімічні показники чорнозему типового / Є.В. Скрильник // Вісник Харківського національного аграрного університету. – 2009. – № 1. – С. 137–141. – (Серія: Ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове господарство).

Рецензент – доктор сільськогосподарських наук, професор **О.О. Якунін**