

УДК 631.445.25:631.461:576.26:631.671.1:631.179.34

МІКРОБІОЛОГІЧНА АКТИВНІСТЬ ТА ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН СІРОГО ЛІСОВОГО ҐРУНТУ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ ДЛЯ ЗРОШЕННЯ МІСЬКИХ СТІЧНИХ ВОД

В. Є. Дишлюк

Національна академія аграрних наук України
вул. Михайла Омеляновича-Павленка, 9; м. Київ-10, 01010, Україна; e-mail: dishlyuk@naas.gov.ua

Представлено результати досліджень впливу зрошення біологічно очищеними міськими стічними водами на біологічну активність сірого лісового ґрунту та його екологічний стан. Зрошення стічними водами за оптимального мінерального агрофону забезпечувало комфортні умови для діяльності мікробіоти і підвищувало біологічну активність ґрунту. За показниками сумарної біологічної активності зрошуваний ґрунт належить до категорії антропогенно недеградованого з добрим екологічним станом.

Ключові слова: еколого-мікробіологічна оцінка стічних вод, біологічні властивості ґрунту, інтегральний показник біологічного стану ґрунту, екологічний стан ґрунту.

З наростанням посушливості клімату в Україні виникає потреба в збільшенні зрошуваних площ земель. Особливої актуальності набуває зрошення у регіонах з нестійкою і недостатньою кількістю атмосферних опадів. За дефіциту водних ресурсів у країні біологічно очищені міські стічні води можуть бути альтернативним джерелом поливної води для зрошуваного землеробства. Нині ці води (без очистки, недостатньо очищені і нормативно очищені) скидають у поверхневі водні об'єкти, внаслідок чого у більшості регіонів вони вже непридатні для господарсько-питного водопостачання і рекреацій [1]. Водночас, за прогнозними розрахунками [2] у передкризовий період суспільного виробництва об'єми утворення міських стічних вод після очистки були достатні для зрошення 1 млн га земель. Застосування біологічно очищених міських стічних вод на полях за науково обґрунтованого підходу могло б забезпечити надійний захист водних об'єктів від забруднення, створити умови для інтенсифікації землеробства і економії запасів води для життєзабезпечення населення [2; 3].

Встановлено [4], що зрошення стічними водами різного походження обумовлює значно більший вплив на ґрунтове середовище, ніж поливи водою з поверхневих джерел. Тому при застосуванні міських стічних вод

для зрошення слід передбачати впровадження комплексу різних агроеліоративних прийомів (обробіток ґрунту, внесення добрив, меліорантів) для попередження негативного ефекту потенційного забруднення ґрунтів, ґрунтових вод і рослин [3]. Для оцінки антропогенного фактору впливу (зрошення, хімізація тощо) на ґрунтове середовище застосовуються різні підходи. В останні роки для моніторингу, діагностики, індикації і нормування забруднення ґрунту та оцінки впливу антропогенних факторів на родючість ґрунтів все частіше застосовують біологічні методи, які базуються на визначенні низки показників (мікробна біомаса, структура і активність мікробіоценозу, його стійкість до природних і антропогенних навантажень тощо) [5–7, 8–10, 11–14]. Вважається, що за змінами біологічного стану ґрунтового покриття можна судити про зміни властивостей і родючості ґрунту. З цією метою розроблено інтегральні біологічні показники та відповідна оціночна шкала. За величиною порушення біологічних показників ґрунту виділено п'ять ступенів його трансформації: недеградовані ґрунти; слабкий ступінь деградації; середній; сильний і дуже сильний [9].

У літературі наявні узагальнені результати досліджень впливу зрошення біологічно очищеними стічними водами м. Києва на

удобрених агрофонах на закономірності трансформації властивостей ґрунтів елювіального типу ґрунтоутворення [3]. Дослідження щодо характеру зміни біологічних властивостей сірого лісового ґрунту на удобрених агрофонах за зрошення міськими стічними водами та оцінка впливу фактору зрошення стічними водами в поєднанні із застосуванням оптимальних норм мінеральних добрив на біологічні властивості і екологічний стан ґрунту не проводились. У зв'язку з цим метою наших досліджень було встановлення закономірності зміни параметрів біологічних властивостей сірого лісового ґрунту за вирощування кукурудзи на силос на оптимальному мінеральному агрофоні у кормовій сівозміні залежно від зрошення біологічно очищеними стічними водами м. Києва та оцінка екологічного стану ґрунту за використання цього агро меліоративного заходу (зрошувальна меліорація із застосуванням стічних вод).

Матеріали і методи. Трьохрічне дослідження впливу зрошення стічними водами м. Києва на біологічні властивості та екологічний стан ґрунту за оптимального мінерального агрофону при вирощуванні кукурудзи на силос проведено у польовому досліді, розміщеному на дослідному полі Державного підприємства «Центральна лабораторія якості води та ґрунтів» Інституту водних проблем і меліорації НААН (колишня Українська науково-дослідна станція зрошення стічними водами Мінводгоспу України), в умовах північного Лісостепу України.

Чергування культур у сівозміні: конюшина лучна (одного року використання) – кукурудза на силос – пшениця озима – буряки кормові – ячмінь ярий на монокультуру (зернофураж) з підсівом конюшини лучної. Удобрення культур у досліді (кг/га д.р.): конюшина лучна — $P_{30}K_{45}$, кукурудза на силос — $N_{140}P_{90}K_{90}$, пшениця озима — $N_{120}P_{90}K_{90}$, буряки кормові — термофільнозброджені осадки стічних вод (97–98 % вологи) у дозі 250 т/га + $N_{120}P_{90}K_{150}$, ячмінь ярий з підсівом конюшини лучної — $N_{45}P_{45}K_{60}$, після збирання покривної культури під конюшину лучну — $N_{30}P_{45}K_{60}$.

У просторі в межах території дослідного поля було закладено незрошуваний і зрошуваний блоки польового досліді. У межах блоків ярусами розміщували поля досліді

(5 полів), які включали незрошуваний і зрошуваний ділянки. Повторність варіантів триразова. Розташування варіантів систематичне. Посівна площа ділянки — 70 м², облікової — 50 м².

Ґрунт дослідного поля — сірий лісовий легкосуглинковий. Ґрунтоутворна порода — карбонатний лесоподібний суглинок. Агрохімічна характеристика орного шару: вміст загального гумусу — 1,25–1,36 %, загального азоту — 0,032–0,040 %, рухомого фосфору — 13,0–14,9, калію — 4,5–5,3, азоту, що легко гідролізується — 5,6–7,7 мг / 100 г ґрунту. Гідролітична кислотність ґрунту становить 2,50–2,95 мг-екв / 100 г, ступінь насичення основами — 76–78 %, рН сольовий — 4,78–4,80.

Зрошення здійснювали за допомогою дощувальної машини ДКШ-64 «Волжанка». При вирощуванні кукурудзи гібрид Буковинський 3 поливи проводили (при зниженні вологості в активному шарі ґрунту) з розрахунку 70–75 % від найменшої вологоємкості (НВ). Середня зрошувальна норма для кукурудзи на силос становила 1612 м³/га (4 поливи). Контроль фактичної вологості ґрунту проводили за допомогою термостатно-вагового методу з періодичністю один раз у 10 днів.

Метеорологічні умови в роки досліджень були різними. У 1-й рік досліджень вегетаційний період відрізнявся посушливістю, в 2-й рік — був помірно теплим і середньовологим, 3-й рік — помірно теплий і недостатньо забезпечений опадами. Температура ґрунту на глибині 0–20 см варіювала у межах (°C): у травні — 14,5–18,2, червні — 19–22, липні — 19–22 і серпні — 21–20 і була сприятливою для діяльності ґрунтової мікробіоти, росту і розвитку рослин.

Для оцінки біологічних процесів у ґрунті визначали найбільш об'єктивні і інформативні показники, які відображають різні параметри біологічної активності ґрунту і його стану: актуальну активність (енергія розкладання клітковини, інтенсивність синтезу вільних амінокислот), потенційну (ферментативна активність) і фітотоксичну активності ґрунту.

Енергію розкладання клітковини в орному шарі (0–20 см) визначали методом аплікацій [15] протягом вегетації кукурудзи в три періоди: перший — від фази 5–7 листків

включно по фазу 9–11 листків, другий — від фази 9–11 листків включно по фазу цвітіння волотей і третій — від фази цвітіння волотей включно по фазу молочно-воскової стиглості зерна. Інтенсивність синтезу вільних амінокислот у ґрунті визначали методом аплікацій [15] у межах вищезгаданих періодів вегетації кукурудзи. Ґрунтові зразки для досліджень відбирали з орного шару тричі за вегетацію кукурудзи у вищезазначені періоди вегетації культури. Визначали активність ферментів різних класів: оксидоредуктаз (дегідрогенази), а також гідролаз (протеази) за методикою А. Галстяна [16]. Фітотоксичну активність ґрунту визначали за впливом на довжину коренів проростків тест-культури. При цьому застосовували метод ґрунтових пластин з тест-рослиною гірчицею білою [17]. Ґрунт вважали токсичним, коли він спричиняв пригнічення росту коренів рослин гірчиці не менше, ніж на 20–30 % порівняно з контролем (без зрошення). На основі параметрів величин вищевказаних показників біологічних властивостей ґрунту розраховували інтегральний показник біологічного стану ґрунту (ІПБС) за методом відносних величин за Д. Ацці [18]. За отриманими показниками проводили оцінку екологічного стану ґрунту. Для розрахунку ІПБС значення кожного з п'яти вказаних вище показників на контролі (в незрошуваному ґрунті) приймали за 100 % і щодо нього виражали у відсотках значення в іншому варіанті досліду (в ґрунті за зрошення стічними водами). Потім визначали середнє значення п'яти вибраних показників для кожного варіанта досліду. Отримані значення ІПБС відображали у відсотках до контролю (100 %). Використана методика дозволяє інтегрувати відносні значення різних показників, абсолютні значення яких не можуть бути додані, оскільки мають різні одиниці вимірювання.

Польовий дослід проводили згідно з вимогами [19]. Кореляційно-регресійний аналіз результатів досліджень виконано за використання програмного забезпечення Excel. Для встановлення кореляційних зв'язків біологічних властивостей ґрунту за вищезгаданими фазами росту і розвитку кукурудзи і в середньому за її вегетацію з іншими ґрунтовими властивостями в розрахунках використані показники фізичних і агрохімічних властивостей ґрунту [20].

Автор висловлює вдячність Ю. О. Драчу, А. П. Новосельській та В. І. Петрику за допомогу в проведенні мікробіологічних досліджень.

Результати та їх обговорення. Раніше [2] нами показано, що біологічно очищені стічні води м. Києва характеризуються як слаболужні і лужні (рН 7,5–8,2), слабомінералізовані (0,5–0,8 г/дц³), мають гідрокарбонатний кальцієво-натрієвий склад солей. Уміст в стічних водах радіонуклідів (⁹⁰Sr і ¹³⁷Cs), детергентів і специфічних речовин (зокрема жирів, нафти) не перевищує ГДК, концентрації важких металів відповідають низькому рівню забруднення ($Z_c < 10$), санітарно-гігієнічні показники мають задовільні значення. За оцінкою згідно з вимогами нормативу [21] стічні води належать до 1-го класу (придатні для поливу). Стічні води після біологічної очистки мають низьку удобрювальну цінність: із середньою зрошувальною нормою (1612 м³/га на рік) у ґрунт надходило: 17–18 кг азоту, 1,1–3,4 кг фосфору і 12–21 кг калію. Залишкові концентрації біогенних речовин у стічних водах перебувають переважно у водорозчинному стані, тому вони є доступними для мікробіоти і рослин. Крім водорозчинних сполук біогенних елементів, стічні води містять органічні речовини, які після мінералізації в ґрунті є додатковим джерелом поживних (як для мікроорганізмів, так і для рослин) речовин [4].

У складі біологічно очищених стічних вод м. Києва нами виявлено значну кількість агрономічно корисних мікроорганізмів (до 5 млн/мл, що в 3,8 раза більше, ніж у річкової воді) [22]. У мікробному угрупованні переважали бактерії азотного і фосфорного природних циклів (у річковій воді вони також присутні, проте їх кількість на порядки менша), що свідчить про наявність певних субстратів, у біотрансформації яких бере участь зазначена мікробіота. Також встановлено [22], що біологічно очищені стічні води м. Києва не проявляють фітотоксичності і за комплексом еколого-мікробіологічних показників придатні для зрошення земель.

Отже, при зрошенні стічними водами в орному шарі ґрунту водночас створюються умови для підвищення його біогенності як за рахунок наявності оптимальних запасів вологи та додаткового надходження мікроорганізмів, так і внаслідок забезпечення пев-

ною кількістю органічних сполук. Підтвердження цьому знаходимо в публікаціях [23–25], де повідомляється, що міські стічні води за потрапляння в ґрунт на фоні оптимальних норм мінеральних туків обумовлюють стимулюючий ефект на хід газообміну ґрунту із повітрям, на збагачення ґрунту корисною мікробіотою і підвищення мікробіологічної активності в ґрунті.

У наших дослідках на активізацію мікробіологічних процесів у ґрунті також мало вплив розміщення кукурудзи на силос у сівозміні по пласту багаторічних трав. Повідомляють [26], що в перший рік піднятий пласт багаторічних трав різко підвищує біологічну активність ґрунту. Цьому є логічне пояснення, адже рослинні рештки конюшини лучної характеризуються вузьким відношенням C : N, високим вмістом протеїну і легкістю залучення до протеолітичних реакцій [27]. Післяукісні рослинні рештки зазначеної якості є ефективним енергетичним матеріалом для розмноження і діяльності гетеротрофних ґрунтових мікроорганізмів. За даними [28] завдяки попереднику (конюшина лучна) унаслідок зяблевого обробітку під кукурудзу у верхній шар ґрунту надходило 14 т/га (сира речовина) післяукісної біомаси (зелена маса + кореневі рештки). Такі обсяги рослинних решток у поєднанні з оптимізацією водного режиму можуть сприяти формуванню сприятливих умов для забезпечення високого рівня біологічної активності в ґрунті.

Для порівняльної оцінки біологічних властивостей незрошеного і зрошеного ґрунту з використанням стічних вод ми, передусім, застосовували показник целюлозолітичної активності (добова енергія розкладання клітковини), який вважається таким, що об'єктивно відображає біологічний стан ґрунту [29]. Встановлено, що в середньому за роки досліджень в орному шарі незрошеного ґрунту зазначений біотест у другому періоді вегетації культури характеризувався вищими показниками, ніж у першому і третьому періодах (відповідно становив 0,67 % проти 0,57 % і 0,43 % до вихідної маси лляної тканини / добу). В середньому за вегетацію кукурудзи показник енергії розкладання клітковини в орному шарі незрошеного ґрунту становив 0,56 % до вихідної маси лляної тканини/добу (табл. 1). Аналізуючи показники даного біотесту в незрошеному

ґрунті в роки досліджень за вказаними періодами та в середньому за вегетацію культури, слід відзначити щорічну ідентичну тенденцію за інтенсивністю проходження мінералізаційного процесу. В зрошеному ґрунті показник добової енергії розкладання клітковини також характеризувався наростаючим темпом у другому періоді вегетації культури порівняно з першим і третім (відповідно становив 1,01 % проти 0,81 % і 0,59 % до вихідної маси лляної тканини/добу), проте перебіг процесу проходив на більш високому рівні активності, ніж у ґрунті незрошеного аналогу. У всі періоди розвитку рослин кукурудзи і в середньому за її вегетацію добовий показник енергії розкладання клітковини в орному шарі зрошеного ґрунту був вищим (відповідно на 42 %, 51 %, 37 % та 43 %) порівняно з показниками незрошеного аналогу (табл. 1).

З літератури відомо, що в ґрунті постійно міститься певна кількість вільних амінокислот. Основна роль у їх накопиченні належить ґрунтовій мікробіоті [30]. Відомо також, що активність мікроорганізмів, у результаті якої утворюються вільні амінокислоти, залежить від гідротермічного режиму ґрунту [31]. Наші дослідження свідчать, що внаслідок поливів стічними водами у зрошеному ґрунті склалися кращі умови для розвитку мікроорганізмів і, відповідно, утворення вільних амінокислот, ніж у неполивному ґрунті. У найбільш критичні за вологозабезпеченням і потребою в поживних речовинах фази росту і розвитку кукурудзи (у першому періоді — 9–11 листків, у другому — цвітіння волотей і в третьому — молочна стиглість зерна) та в середньому за вегетацію культури в орному шарі незрошеного ґрунту містилося відповідно 908, 1081, 1019 і 1003 мкг / г ґрунту вільних амінокислот (табл. 1). У середньому в роки досліджень у першому і другому періодах вегетації кукурудзи відмічено дещо вищий вміст вільних амінокислот в орному шарі зрошеного ґрунту (відповідно на 20 і 32 %), порівняно з незрошеним аналогом, проте лише в другому періоді вегетації (фаза цвітіння) приріст вмісту амінокислот у ґрунті був істотним. У третьому періоді вегетації кукурудзи вміст вільних амінокислот у зрошеному ґрунті знаходився на рівні показників незрошеного аналогу або ж навіть

Таблиця 1. Вплив зрошення біологічно очищеними стічними водами м. Києва на параметри біологічних властивостей і еколого-біологічний стан ґрунту (середнє за роки досліджень)

Варіанти досліджу	Періоди вегетації кукурудзи						Середнє за вегетацію	
	I		II		III		а	б
	а*	б*	а	б	а	б		
<i>Енергія розкладання клітковини, % до вихідної маси лляної тканини / добу</i>								
Без зрошення + N ₁₄₀ P ₉₀ K ₉₀ (контроль)	0,57	100	0,67	100	0,43	100	0,56	100
Зрошення стічними водами + N ₁₄₀ P ₉₀ K ₉₀	0,81	142	1,01	151	0,59	137	0,80	143
НП ₀₅	0,25	–	0,30	–	0,30	–	0,28	–
<i>Інтенсивність синтезу вільних амінокислот, мкг / г ґрунту</i>								
Без зрошення + N ₁₄₀ P ₉₀ K ₉₀ (контроль)	908	100	1081	100	1019	100	1003	100
Зрошення стічними водами + N ₁₄₀ P ₉₀ K ₉₀	1094	120	1425	132	889	87	1136	113
НП ₀₅	203	–	233	–	218	–	218	–
<i>Дегідрогеназна активність, мг ТФФ на 10 г повітряно-сухого ґрунту за 24 години</i>								
Без зрошення + N ₁₄₀ P ₉₀ K ₉₀ (контроль)	3,70	100	2,98	100	4,85	100	3,84	100
Зрошення стічними водами + N ₁₄₀ P ₉₀ K ₉₀	5,44	147	5,12	172	5,54	114	5,37	139
НП ₀₅	2,0	–	2,0	–	2,4	–	2,1	–
<i>Протеолітична активність, желатинолітичних одиниць на 10 г повітряно-сухого ґрунту</i>								
Без зрошення + N ₁₄₀ P ₉₀ K ₉₀ (контроль)	200	100	178	100	167	100	182	100
Зрошення стічними водами + N ₁₄₀ P ₉₀ K ₉₀	210	105	179	100	202	121	197	108
НП ₀₅	19	–	22	–	8	–	16	–
<i>Фітотоксична активність ґрунту (довжина коренів тест-культури), мм</i>								
Без зрошення + N ₁₄₀ P ₉₀ K ₉₀ (контроль)	21,2	100	24,8	100	32,4	100	26,1	100
Зрошення стічними водами + N ₁₄₀ P ₉₀ K ₉₀	24,9	117	25,2	102	27,9	86	26,0	99
НП ₀₅	3,5	–	15,2	–	14,0	–	11,0	–
<i>Інтегральний показник біологічного стану ґрунту (ІПБС), % від контролю</i>								
Без зрошення + N ₁₄₀ P ₉₀ K ₉₀ (контроль)	–	100	–	100	–	100	–	100
Зрошення стічними водами + N ₁₄₀ P ₉₀ K ₉₀	–	126	–	131	–	109	–	120

* Примітка: у графі «а» наведено фактичні величини показників біологічних властивостей ґрунту, у графі «б» — розрахункові величини цих показників у % від контролю.

був дещо меншим. Аналізуючи в середньому за роками досліджень показники вмісту вільних амінокислот в орному шарі зрошуваного ґрунту, бачимо, що в цілому за вегетацію кукурудзи вони були вищими і становили 1136 мкг / г ґрунту проти 1003 мкг / г ґрунту контрольованого варіанту, проте значення досліджуваних показників знаходились у межах статистичної похибки. Отже, в середньому в роки досліджень у найбільш критичні фази росту і розвитку кукурудзи і в цілому за вегетацію культури в орному шарі ґрунту при зрошенні стічними водами відмічено тенденцію до зростання пулу вільних амінокислот, порівняно з незрошуваним аналогом. Це може свідчити про кращу забезпеченість ґрунту мінеральним азотом і, зокрема, його нітратною формою, що відомо з літератури.

Повідомляють [29], що процес накопичення вільних амінокислот у ґрунті поєднується з енергією розкладання клітковини, і так само інтенсивність цих процесів лімітується наявністю мінерального азоту, особливо його нітратної форми.

Одним із реальних відображень зміни біологічних властивостей ґрунту за впливу антропогенних факторів є ферментативна активність [12]. Про ферментативну активність орного шару незрошуваного і зрошуваного ґрунту стічними водами ми судили за активністю оксидоредуктаз (які каталізують процеси біологічного окиснення і відновлення), зокрема дегідрогенази, а також гідролаз (які трансформують азотовмісні органічні речовини, що визначає доступність азоту для рослин), зокрема протеази. Повідомляється [32],

що з підвищенням вмісту вологи у ґрунті активність дегідрогеназ підвищується, причому ця залежність має майже лінійний характер. У наших дослідженнях в середньому за роки досліджень у найбільш критичні за вологозабезпеченням і потребою в поживних речовинах фази росту і розвитку кукурудзи, і в середньому за вегетацію відмічено вищі показники дегідрогеназної активності в орному шарі зрошуваного ґрунту (становлять відповідно 5,44; 5,12; 5,54 і 5,37 мг ТФФ на 10 г повітряно-сухого ґрунту за добу), порівняно з незрошуваним аналогом (відповідно на 47 %, 72 %, 14 % та 40 %), що свідчить про нижчі темпи перебігу процесів біологічного окиснення і відновлення у ґрунті на контрольному (без зрошення) варіанті. Проте лише в другому періоді (фаза цвітіння) прирости дегідрогеназної активності в зрошуваному ґрунті щодо цих показників на контрольному варіанті були істотними, в інші терміни визначень відмічено тенденцію до зростання активності.

В орному шарі зрошуваного ґрунту встановлено тенденцію до підвищення протеолітичної активності, прирости якої лише в третьому періоді вегетації культури були істотними порівняно із незрошуваним аналогом (табл. 1). Підвищення протеолітичної активності у зрошуваному стічними водами ґрунті може пояснюватися інтенсивним розвитком мікроорганізмів, що сприяють швидкому розкладенню в ґрунті азотистих сполук [31].

Відомо [33], що ґрунтові мікроорганізми здатні утворювати специфічні речовини, так звані фітотоксини, які можуть пригнічувати або затримувати ріст і розвиток рослин. Вміст у ґрунті фітотоксичних форм мікроорганізмів залежить від ступеня його окультурення, а також різних агротехнічних заходів. Здатність продукувати фітотоксичні речовини виявлена у багатьох видів бактерій, грибів і актиноміцетів [33]. У наших дослідженнях застосування біологічно очищених стічних вод м. Києва для зрошення кукурудзи на силос на удобреному мінеральному фоні в найбільш критичні за вологозабезпеченням і потребою в поживних речовинах фази росту і розвитку кукурудзи і в середньому за її вегетацію не призводило до зростання фітотоксичності ґрунту. Оцінка фітотоксичних властивостей зрошуваного ґрунту показала, що в середньому за роки досліджень відхилення

в розвитку тест-культури від контролю (незрошуваний ґрунт) не перевищували порогу проявлення токсичності.

У результаті розрахунків ІПБС незрошуваного і зрошуваного стічними водами ґрунту за методом відносних величин [18] встановлено (табл. 1), що у всі періоди вегетації кукурудзи на силос і в середньому за її вегетацію показники сумарної біологічної активності в зрошуваному ґрунті були вищими (відповідно у першому періоді на 26 %, у другому — на 31 %, у третьому — на 9 % і в середньому за вегетацію — на 20 %), порівняно з незрошуваним аналогом. Беручи до уваги показники сумарної біологічної активності зрошуваного ґрунту та застосовуючи відповідну методику [9] визначено, що зрошуваний стічними водами ґрунт належить до антропогенно недеградованого ґрунту з добрим еколого-біологічним станом.

Для встановлення кореляційних зв'язків між біологічними й іншими ґрунтовими властивостями за найбільш важливими за вологозабезпеченням і потребою в поживних речовинах періодами росту і розвитку кукурудзи і в середньому за її вегетацію нами використані дані [20] фізичних (щільність складення, загальна шпаруватість, шпаруватість аерації, вологість ґрунту) і агрохімічних (вміст нітратів, рухомого фосфору і калію) властивостей незрошуваного і зрошуваного ґрунтів. Встановлено пряму кореляційну залежність між вологістю орного шару зрошуваного ґрунту і його окремими біологічними властивостями у середньому за вегетацію культури (табл. 2).

Отже, тісний кореляційний зв'язок встановлено між вологістю орного шару зрошуваного ґрунту і добовою енергією розкладання клітковини; середній рівень зв'язку — між вологістю зрошуваного ґрунту та інтенсивністю синтезу вільних амінокислот, активністю дегідрогеназ і протеазною активністю. Між фітотоксичною активністю і вологістю зрошуваного ґрунту виявлено обернено прямолінійну кореляційну залежність на рівні середнього рівня зв'язку. За результатами наших досліджень на основі кореляційно-регресійного аналізу створено криволінійну математичну модель, яка відтворює залежність добової енергії розкладання клітковини від вологості орного шару зрошуваного ґрунту за вирощування кукурудзи на силос.

Таблиця 2. Кореляційні зв'язки між показниками біологічних властивостей ґрунту (шар 0–20 см) і його вологістю (у середньому за вегетаційний період кукурудзи)

Біологічні властивості ґрунту				
Енергія розкладання клітковини	Інтенсивність синтезу вільних амінокислот в ґрунті	Активність дегідрогенази	Протеазна активність ґрунту	Фітотоксична активність ґрунту
0,815*	0,437	0,605	0,346	–0,390

* Примітка: показники коефіцієнта кореляційної залежності.

Виявлений зв'язок описується таким рівнянням регресійної залежності енергії розкладання клітковини від вологості ґрунту: $Y = -2,8923 + 0,2054X - 0,0028X^2$. Отриманий у результаті розрахунків множинний коефіцієнт кореляції ($R = 0,871$) підтверджує тісний зв'язок між включеними до рівняння показниками, а коефіцієнт детермінації ($D = 76\%$) свідчить про значний вплив аргументів (X), зокрема, вологості ґрунту на функцію (Y), тобто, на енергію розкладання клітковини.

Отже, біологічно очищені стічні води м. Києва придатні для зрошення (І група), у їх складі присутні залишкові концентрації органічних і біогенних речовин та значна кількість агрономічно корисної мікробіоти, яка представлена переважно бактеріями, що беруть безпосередню участь в азотному та фосфорному циклах перетворення речовин у ґрунті. Біологічно очищені стічні води в основному не проявляють фітотоксичності.

Зрошення біологічно очищеними міськими стічними водами із вищезазначеними особливостями хімічного і мікробіологічного складу підвищувало біогенність ґрунту та позитивно впливало на його мікробоценоз, що забезпечувало в орному шарі зрошеного ґрунту в найбільш важливі періоди росту і розвитку кукурудзи та в середньому за її вегетацію вищі показники біологічної активності, ніж за умов незрошеного аналогу. Сумісне застосування міських стічних вод з мінеральними туками в цілому не спричиняло токсичності ґрунту.

Показники сумарної біологічної активності в орному шарі зрошеного ґрунту із застосуванням стічних вод у найбільш важливі періоди росту і розвитку кукурудзи і в середньому за її вегетацію були вищими (відповідно в першому періоді на 26%, у другому — на 31%, у третьому — на 9% і за вегетації — на 20%) порівняно із незрошу-

ваним аналогом, що дає підставу класифікувати ґрунт за цих умов як антропогенно не-деградований з добрим еколого-біологічним станом.

Кореляційно-регресійним аналізом встановлено пряму кореляційну залежність між вологістю зрошеного ґрунту і його окремими біологічними властивостями. Зокрема, у середньому за вегетацію кукурудзи на силос встановлено тісний кореляційний зв'язок ($r = 0,815$) між вологістю орного шару зрошеного ґрунту і добовою енергією розкладання клітковини; середній рівень зв'язку — між вологістю орного шару зрошеного ґрунту і інтенсивністю синтезу вільних амінокислот ($r = 0,437$), активністю дегідрогеназ ($r = 0,605$) і протеазною активністю ($r = 0,346$).

1. Яцик А. В. Екологічна ситуація в Україні і шляхи її поліпшення / А. В. Яцик. — К. : Оріяни, 2003. — 84с.

2. Дишлюк В. Є. Напрями раціонального використання стічних вод / Дишлюк В. Є. // Наукові основи охорони та раціонального використання зрошуваних земель України / за наук. ред. С. А. Балюка, М. І. Ромашенка, В. А. Сташука. — К. : Аграрна наука, 2009. — С. 402–415.

3. Использование сточных вод для орошения / [Ю. Г. Бескровный, М. В. Козинец, В. И. Бойко и др.] ; под ред. Ю. Г. Бескровного. — К. : Урожай, 1989. — 160 с.

4. Новиков В. М. Использование сточных вод на полях (опыт ВНПО по сельскохозяйственному использованию сточных вод «Прогресс») / Новиков В. М., Элик Э. Е. — М. : Россельхозиздат, 1986. — 80 с.

5. Хазиев Ф. Х. Системно-экологический анализ ферментативной активности почв / Ф. Х. Хазиев. — М. : Наука, 1982. — 203 с.

6. Хамова О. Ф. Биологическая активность лугово-черноземной почвы при длительном применении удобрений в условиях орошения / Хамова О. Ф., Бойко В. С. // Агрехимия. — 1997. — № 7. — С. 20–23.

7. Меркушева М. Г. Микробиологический режим аллювиальных луговых почв Забайкалья при орошении и удобрении / Меркушева М. Г., Аюшина Т. А., Инешина Е. Г. // *Агрохимия*. — 2014. — № 3. — С. 5–13.
8. Христинко С. І. Параметри мікробіологічних показників зрошуваних ґрунтів / Христинко С. І., Найдьонова О. Є. // *Зрошувані землі Дунай–Дністровської зрошувальної системи: еволюція, екологія, моніторинг, охорона, родючість* / за ред. С. А. Балюка. — Х. : Антіква, 2001. — С. 65–70.
9. Балюк С. А. Вплив зрошення на стан і функціонування мікробних ценозів ґрунтів / Балюк С. А., Найдьонова О. Є. // *Наукові основи охорони та раціонального використання зрошуваних земель України* / за наук. ред. С. А. Балюка, М. І. Ромащенко, В. А. Сташука. — К. : Аграрна наука, 2009. — С. 165–187.
10. Воротинцева Л. І. Зрошувані ґрунти Донецької області: еколого-агроекологічний стан, комплексні заходи з охорони та раціонального використання / Воротинцева Л. І. — Х. : Смугаста типографія, 2017. — 207 с.
11. Кузнецов В. А. Микрофлора и биологическая активность дерново-подзолистой почвы при орошении сточными водами / Кузнецов В. А., Захарцова Л. М., Попова Т. И. // *Методы естественной очистки сточных вод и экономическая эффективность их использования для орошения*. — М. : ВНИИГиМ, 1973. — С. 47–52.
12. Григорян К. В. Диагностика загрязненных тяжелыми металлами орошаемых почв по активности фосфатазы / Григорян К. В., Галстян А. Ш. // *Почвоведение*. — 1986, № 8. — С. 63–67.
13. Казеев К. Ш. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований / Казеев К. Ш., Колесников С. И., Вальков В. Ф. — Ростов-на-Дону: РГУ, 2003. — 204 с.
14. Шерстобоева О. В. Біодіагностика і біобезпека ґрунтів агроєкосистем / Шерстобоева О. В., Дем'янюк О. С., Чабанюк Я. В. // *Агроєкологічний журнал*. — 2017. — № 2. — С. 142–147.
15. Мишустин Е. Н. Аппликационные методы в почвенной микробиологии / Е. Н. Мишустин, И. С. Востров // *Микробиологические и биохимические исследования почв*. — К. : Урожай, 1971. — С. 3–12.
16. Галстян А. Ш. Определение активности ферментов почв (методологические указания) / Галстян А. Ш. — Ереван : Айастан, 1978. — 37 с.
17. Методы изучения почвенных микроорганизмов и их метаболитов / под ред. Н. А. Крайильникова. — М. : МГУ, 1966. — 162 с.
18. Ацци Дж. Сельскохозяйственная экология / Дж. Ацци ; [пер. с англ. Н. А. Емельяновой, О. В. Лисовской, М. П. Шикеданц] ; под ред. В. Е. Писарева. — М. : Изд-во иностранной литературы, 1959. — 480 с.
19. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. — М. : Агропромиздат, 1985. — 351 с.
20. Дышлюк В. Е. Влияние основной обработки на свойства почвы и продуктивность культур при орошении в северной Лесостепи УССР : дис. ... канд. с.-х. наук / Дышлюк В. Е. — К., 1986. — С. 54–96, 105–123.
21. Стічні води. Вимоги до стічних вод і їхніх осадів для зрошування та удобрення. ДСТУ 7369:2013. — [Чинний від 2001-01-01]. — К. : Мінекономрозвитку України, 2014. — 7 с. (Національний стандарт України).
22. Дишлюк В. Є. Мікробіологічна характеристика стічних вод м. Києва та оцінка екологічної придатності їх для використання в землеробстві [електронний ресурс] / В. Є. Дишлюк // *Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України*. — 2016 — № 4 (61). — Режим доступу: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/article/view/6957.pdf>.
23. Ушкаренко В. А. Орошение сточными водами кормовых культур на каштановых почвах УССР : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. / В. А. Ушкаренко ; Одесский сельскохозяйственный институт. — Одесса, 1966. — 28 с.
24. Сало Т. Л. Влияние орошения сточными водами на микрофлору и биохимическую активность лугово-черноземных тяжелосуглинистых почв в условиях предгорного Крыма / Сало Т. Л., Дышлюк В. Е., Драч Ю. А. // *Микробиологический журнал*. — 1990. — Т. 52., № 5. — С. 82–88.
25. Гражене А. Почвенные сапрофитные микроорганизмы на пастбищах, орошаемых и удобряемых высокими нормами минерального азота / Гражене А. // *Вопросы орошения сельскохозяйственных культур на осушаемых землях*. — 1978. — Вып. 2. — С. 101–112.
26. Канівець В. І. Життя ґрунту / Канівець В. І. — К. : Аграрна наука, 2001. — 131 с.
27. Александрова Л. Н. Процессы гумусообразования в почве // *Записки Ленинградского сельскохозяйственного института*. — Т. 142. — Гумусовые вещества почвы (их образование, состав, свойства и значение в почвообразовании и плодородии). — Л. : Пушкин, 1970. — С. 26–81.
28. Ефективне використання сидератів у сучасному землеробстві (науково-методичні рекомендації) / [О. М. Бердніков, В. В. Волкогон, Л. В. Потапенко та ін.]. — Чернігів, 2012. — 26 с.
29. Мишустин Е. Н. Образование свободных аминокислот на разрушающейся в почве целлюлозе / Мишустин Е. Н., Петрова А. Н. // *Микробиология*. — 1966. — Т. 35, Вып. 3. — С. 491–495.

30. Умаров М. М. Свободные аминокислоты некоторых почв СССР / Умаров М. М., Асеева И. В. // Почвоведение. — М. : Наука, 1971. — № 10. — С. 108–111.

31. Абашеева Н. Е. Биологическая активность и плодородие при орошении сточными водами / Абашеева Н. Е., Маркушева М. Г. // Агробиохимия. — № 10. — С. 109–121.

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЫ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ДЛЯ ОРОШЕНИЯ ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД

В. Е. Дышлюк

Национальная академия аграрных наук Украины, г. Киев

Представлены результаты исследований влияния орошения биологически очищенными городскими сточными водами на биологическую активность серой лесной почвы и её экологическое состояние. Орошение сточными водами при оптимальном минеральном агрофоне обеспечивало комфортные условия для деятельности микробиоты и повышало биологическую активность почвы. По показателям суммарной биологической активности орошаемая почва относится к категории антропогенно недеградированной с хорошим экологическим состоянием.

Ключевые слова: *эколого-микробиологическая оценка сточных вод, биологические свойства почвы, интегральный показатель биологического состояния почвы, экологическое состояние почвы.*

32. Cerna S. Effect of some ecological factors on dehydrogenase activity in soil / Cerna S. // Rostl. vyroba. — 1972. — Vol. 18, № 1. — P. 101–106.

33. Берестецкий О. А. Фитотоксины почвенных микроорганизмов и их экологическая роль / Берестецкий О. А. // Фитотоксические свойства почвенных микроорганизмов. — Л. : ВНИИСХМ, 1978. — С. 7–30.

MICROBIOLOGICAL ACTIVITY AND ENVIRONMENTAL STATE OF GRAY FOREST SOIL APPLIED FOR IRRIGATION OF URBAN WASTEWATER

V. Ye. Dyshliuk

National Academy of Agrarian Science of Ukraine, Kyiv

The results of studies of the effect of irrigation with biologically purified urban wastewater on the biological activity of gray forest soil and its environmental state are presented. Irrigated by wastewater under optimal mineral agrarian background provided comfortable conditions for the activity of microbiota and increased biological activity of soil. According to the parameters of total biological activity, irrigated soil is classified as anthropogenically degraded with a good environmental condition.

Key words: *environmental and biological assessment of wastewater, biological properties of soil, integral parameter of biological state of soil, environmental state of soil.*

Отримано 04.04.2018