

## ІСТОРИЯ НАУКИ HISTORY OF SCIENCE

УДК 631.67:621.3: 631.445.4. «71»(477.7)

### Еволюція чорнозему південного за тривалого зрошення біологічно очищеними міськими стічними водами в умовах степового Криму

В.Є. Дишлюк

ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського», Харків, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 02.08.2019 Отримано після доопрацювання 16.08.2019 Затверджено до друку 19.08.2019 Доступно онлайн 01.09.2019	У статті дано комплексну оцінку впливу тривалого зрошення біологічно очищеними стічними водами міста Євпаторії на території Автономної республіки Крим (Сакський район) на зміни спрямованості та інтенсивності процесу ґрунтоутворення і трансформації характеристик чорнозему південного в умовах степового Криму. Дослідження проведено у період інтенсивного зрошення (1985-1992 рр.). Проаналізовано особливості агроекологічного стану тривало зрошуваного чорнозему південного та запропоновано комплекс заходів для мінімізації ризику деградації ґрунту. Методи досліджень – «ключів-аналогів», порівняльно-географічний, порівняльно-аналітичний, статистичний. Представлено результати комплексних аналітичних досліджень хімічних, фізико-хімічних, мікробіологічних, геохімічних та санітарно-гігієнічних характеристик зрошуваних і незрошуваних ґрунтів, а також якості поливних вод. З'ясовано, що тривале зрошення стічними водами з підвищеною мінералізацією і несприятливою іонною структурою спричинило ознаки іригаційної деградації ґрунту (тенденцію до слабого засолення й, осолонцювання). Разом з тим виявлено, що чорнозем південний, тривало зрошуваний стічними водами, завдяки високій генетичній буферній здатності (вміст CaCO <sub>3</sub> в метровому шарі варіює в межах 10-24 %) і наявності активних концентрацій катіонів кальцію в ґрунтовому розчині (гальмують процес осолонцювання), а також природній здатності ґрунту до самоочищення (звільнення від різноманітних забруднювачів), характеризується близьким до оптимального агроекологічним станом і еволюціонує за своєрідним гумусово-акумулятивним типом ґрунтоутворення. Перелічено комплекс заходів, які на час завершення експерименту було рекомендовано для мінімізації деградації ґрунту: організаційно-технічні й технологічні для поліпшення якості поливних стічних вод, застосування їх для іригації на обмежених площах з доброю дренажістністю; агро меліоративні прийоми; організаційні – призупинення зрошення на декілька років (перехід на нові площі) для природного оздоровлення ґрунту до відновлення його властивостей.
<i>Ключові слова:</i>  <i>агроекологічний стан ґрунту; зрошування; ґрунтоутворення; міські стічні води; характеристики ґрунту; превентивні заходи; чорнозем південний.</i>	

E-mail: [dyshlyuk\\_ve@ukr.net](mailto:dyshlyuk_ve@ukr.net)

*Форма цитування:* Дишлюк В.Є. Еволюція чорнозему південного за тривалого зрошення біологічно очищеними міськими стічними водами в умовах степового Криму. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. Вип. 88. Харків: ННЦ «ІГА ім. О.Н. Соколовського». 2019. С. 106-119. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss88-15>.

### 1. Вступ

Кримський півострів за природно-кліматичними умовами відноситься до аридної зони (крім гірської частини) і характеризується як вододефіцитний регіон. В останні десятиліття додатковим чинником, що збільшує дефіцит природного зволоження в Україні і, зокрема, в кримському регіоні, є глобальні зміни клімату, які проявляються у підвищенні температури повітря та зростанні частоти тривалих посушливих періодів [1]. У цих природних умовах одним з найважливіших чинників зменшення залежності землеробства від посухи є застосування заходів зі штучного зволоження земель. З огляду на особливості природно-кліматичних умов і необхідність стабілізації землеробства для гарантування внутрішньої продовольчої безпеки АР Крим потрібно здійснювати заходи з відновлення і подальшого розвитку зрошення із доведенням поливних площ до 537,5 тис. га [2], що обумовлює необхідність пошуку резерву води для іригації.

З'ясовано [3-5], що на півострові в докризовий період у водні об'єкти скидали в середньому 930,1 млн м<sup>3</sup>/рік відпрацьованих вод, з них 258,4 млн м<sup>3</sup> оброблених на очисних спорудах, з яких 3,9 млн м<sup>3</sup> нормативно очищених стічних вод (1,5 % від обсягу оброблених) були застосовані для зрошення на 1 тис. га, решта – скинуті в акваторії морів. По суті щорічні об'єми скинутих відпрацьованих вод становили третину обсягу загальної подачі води з р. Дніпро (2980 млн м<sup>3</sup>) [6], яка на 80-84 % була використана для іригації [7], що свідчить про наявність резерву води у вигляді нормативно очищених міських стічних вод для іригації і безгосподарне витрачання якісної води для зрошення. Підтвердженням можуть бути прогнози розрахунки [3-5] з перспективи розвитку зрошення міськими стічними водами в Україні, які демонструють, що в АР Крим за використання

лише обсягів міських стічних вод із задовільними іригаційними властивостями можна зрошувати площу 40 тис. га.

Водночас через скиди стічних вод і забруднення морських вод та донних відкладів деградують екосистеми прибережних акваторій Чорного та Азовського морів [8], погіршилися санітарно-гігієнічні показники прибережних вод, що спричиняє періодичні спалахи епідемічних захворювань населення [9]. Відмічено зниження якості морських рекреаційних ресурсів, збіднення природно-ресурсного потенціалу [8, 9], що призводить до соціально-економічних збитків [10]. Для відновлення природного стану екосистем прибережних акваторій морів необхідне застосування превентивних заходів. Слід відмітити, що в країнах Європейського союзу ще з 1998 р. заборонена практика скидання забруднених каналізаційних стічних вод у водні об'єкти (директива 91/271/ЄС «Переробка муніципальних стічних вод») [11].

Відомо [12-16], що найбільш раціональним способом утилізації міських стічних вод є включення їх до біологічного кругообігу. Застосування нормативно очищених міських стічних вод для зрошення (особливо цілорічного) – превентивний захід щодо збереження водних об'єктів від забруднення і раціонального використання води. У маловодній Україні, особливо в посушливих урбанізованих регіонах (Донбас, Приазов'я, Причорномор'я, Крим), біологічно очищені міські стічні води, за науково обґрунтованого підходу, можуть бути перспективним джерелом для іригації [3-5, 13, 15, 16].

Характерною особливістю кримського регіону є наявність значних обсягів обмежено придатних міських стічних вод, які за дефіциту води і за умови дотримання певних заходів (меліоративне поліпшення якості води, застосування агроеліоративних прийомів) можуть бути використані для іригації. Прикладом є досвід тривалого (понад 30 років) сільськогосподарського застосування стічних вод м. Євпаторії після біологічного очищення (потужність комплексу очисних споруд (КОС) – 40-45 тис. м<sup>3</sup>/добу). Тривале застосуванням стічних вод м. Євпаторії на полях забезпечувало високі показники врожайності кормових культур (більші у 2-4 рази, ніж на богарі) і значний природоохоронний ефект (запобігання скиданню 3,3 млн м<sup>3</sup>/рік стічних вод у Чорне море – 20 % їх річного обсягу) [17]. Проте тривале зрошення міськими стічними водами за певних умов (непостійність складу, специфічна якість) може бути потужним антропогенним чинником впливу на ґрунт і його деградації (іригаційна, хімічна, біологічна), особливо верхнього гумусованого шару, що є своєрідним фільтром, який поглинає і трансформує більшу частину органічних і водорозчинних сполук, які містяться у стічних водах. З огляду на вищезазначене і необхідність моніторингу екологічного стану компонентів природного середовища на спеціалізованих меліоративних системах (землеробські поля зрошення – ЗПЗ) з урахуванням специфіки зрошувальних вод, особливостей зональних ґрунтів і природних умов регіону потрібно було з'ясувати особливості впливу тривалого зрошення стічними водами м. Євпаторії на зміни напряму та інтенсивності процесу ґрунтоутворення та трансформацію властивостей ґрунту для оцінки сучасного агроекологічного (ґрунтово-меліоративні, мікробіологічні, геохімічні і санітарно-гігієнічні показники) стану ґрунту та для оптимізації технології зрошення стічними водами, розроблення комплексу запобіжних заходів для мінімізації ризику деградації ґрунту.

Мета дослідження – вивчення впливу тривалого зрошення біологічно очищеними стічними водами м. Євпаторії на зміну напряму й інтенсивності процесу ґрунтоутворення та трансформацію властивостей чорнозему південного в умовах степового Криму.

## **2. Об'єкти, умови і методика дослідження**

У 1985-1992 роках Українською науково-дослідною станцією зрошення стічними водами Мінводгоспу УРСР (з 1991 р. – Українська науково-дослідна станція утилізації стічних вод УкрНДІ гідротехніки і меліорації УААН, нині – ДП «Центральна лабораторія якості води та ґрунтів Інституту водних проблем і меліорації НААН») за участю автора (відповідальний виконавець НДР) у рамках бюджетної і договірної тематик виконані комплексні дослідження впливу тривалого зрошення біологічно очищеними стічними водами м. Євпаторії у системі «зрошувальна вода – ґрунт – підземні води – рослини» для агроекологічної оцінки змін стану компонентів навколишнього природного середовища в умовах степового Криму. У 2003-2005 рр. в рамках НТП УААН «Родючість і охорона ґрунтів» автором продовжені дослідження рівня родючості чорнозему південного для оцінки агроекологічного стану і напряму еволюції ґрунту в післяіригаційний період (результати дослідження будуть опубліковані в наступному повідомленні). Раніше вже було опубліковано результати комплексного дослідження, що стосуються підсистем «зрошувальна вода» [18] і «підземні води» [19]. У цьому повідомленні висвітлено результати дослідження в підсистемі «ґрунт»: встановлення змін напряму й інтенсивності

процесу ґрунтоутворення і трансформації властивостей чорнозему південного за впливу тривалого зрошення біологічно очищеними стічними водами м. Євпаторії; оцінка сучасного агроекологічного (ґрунтово-меліоративні, мікробіологічні, геохімічні і санітарно-гігієнічні показники) стану ґрунту та рекомендації (комплекс заходів) для мінімізації ризику його деградації і безпечного використання ґрунту.

Польові дослідження проводили в господарствах, сучасна назва яких – СВК ім. Горького і СВК «Береговий» у Сакському районі АР Крим. В межах їх землекористування було організовано євпаторійські землеробські поля зрошення - ЗПЗ, їх площа становить 1280 га. Ми діагностували [20], що в СВК ім. Горького, в межах полів із стаціонарними дослідно-виробничими ділянками, ґрунтовий покрив представлений чорноземом південним важкосуглинковим щебенювато-кам'янистим на вапняках, а в СВК «Береговий» – чорноземом південним карбонатним легкоглинистим на лесоподібних глинах. Згідно з генетичною еколого-субстантивною класифікацією ґрунтів України [21] ці ґрунти мають такі назви: чорнозем південний слабогумусоаккумулятивний щебенювато-кам'янистий на вапняках і чорнозем південний слабогумусоаккумулятивний легкоглинистий карбонатний на лесах. Об'єкти дослідження: два підвиди чорнозему південного (щебенювато-кам'янистий на вапняках та карбонатний на лесах) і біологічно очищені стічні води м. Євпаторії та вода р. Дніпро – як варіант порівняння. Вивчення ґрунтових властивостей, процесів і режимів базувалося на порівняльно-географічному і порівняльно-аналітичному методах дослідження. Основою цих підходів є метод «ключів-аналогів» [22], згідно з яким в межах одного геоморфологічного елементу з однотиповим сільськогосподарським використанням земель закладено репрезентативні стаціонарні ділянки на незрошуваних і зрошуваних ґрунтах. Закладання стаціонарних дослідно-виробничих ділянок і проведення дослідів здійснювали згідно з методиками [22, 23]. Стаціонарні ділянки в обох господарствах закладено за схемою: 1) ґрунт незрошуваний (контроль); 2) ґрунт, зрошуваний водою р. Дніпро з Північно-Кримського каналу (ПКК); 3) ґрунт, зрошуваний біологічно очищеними стічними водами м. Євпаторії. У шарі 0-100 см ґрунтів визначали ґрунтово-меліоративні показники, у верхньому (0-40 см) шарі – мікробіологічні, геохімічні і санітарно-гігієнічні.

Проби ґрунту для дослідження відбирали в 1985-1992 рр. (СВК ім. Горького) і 1988-1990 рр. (СВК «Береговий») щорічно в 5-кратній повторності в один або два терміни: весною (під час сівби) і восени (під час збирання урожаю). Лабораторно-аналітичні роботи включали такі визначення: рН водний; вміст і склад водорозчинних солей; обмінні катіони (за стандартизованими методиками, які використовували у той час [24-28]); чисельність таксономічних і еколого-трофічних груп мікроорганізмів; нітрифікаційну здатність [29, 30]; вміст важких металів і елементів-забруднювачів (масові концентрації валових форм хімічних елементів (на спектрометрі СТЕ-1 із напівавтоматичною приставкою УСА-6 спектрально-емісійним методом [31]); вміст ртуті (атомно-абсорбційним методом на спектрофотометрі ААС-30 [32]); санітарно-гігієнічні показники (бактеріологічні (колі-титр (титр БГКП), загальне мікробне число (ЗМЧ), патогенні мікроорганізми, в т.ч. сальмонели [33], гельмінтологічні [34]); вміст синтетичних поверхнево-активних речовин (ПАР) [35].

Комплексну оцінку придатності біологічно очищених стічних вод м. Євпаторії виконано за ДСТУ 7369:2013 [36], води р. Дніпро за ДСТУ 2730-94 [37]. Оцінку еколого-агромеліоративного стану незрошеного і зрошеного ґрунту проведено за [38, 39]; інтенсивність мінералізаційних процесів (Кмін – коефіцієнт мінералізації та іммобілізації азоту ґрунту) визначали розрахунковим методом, як відношення чисельності бактерій, що засвоюють мінеральний азот, до чисельності амоніфікаторів [40]. Еколого-біогеохімічну і санітарно-гігієнічну оцінку забруднення ґрунту важкими металами й елементами-забруднювачами виконували методом порівняння фактичного їх вмісту з фоновим вмістом хімічних елементів у ґрунтах [41] та вітчизняними [42] і зарубіжними [43, 44] нормативами. Оцінку рівня забруднення ґрунтів важкими металами виконано за такими критеріями – коефіцієнт концентрації хімічних елементів (Кс) і сумарний показник забруднення (Zс) [45]. Оцінку впливу зрошення стічними водами м. Євпаторія на зміну властивостей і показників родючості ґрунту використовували порівняльний метод [22] – порівнювали параметри ґрунту на зрошуваних і незрошуваних ділянках.

Землекористування обох господарств розташовані в зоні Степу південного помірно сухого в межах Південностепової агроґрунтової підзони [46]. У геоморфологічному відношенні територія є рівнинною (Євпаторійська пологохвиляста рівнина), за умовами рельєфу це підвищена хвиляста рівнина. Територія в межах ЗПЗ відноситься до території з покритим карстом [47]. Підземні води району дослідження відносяться до Тарханкутсько-Євпаторійського карстового артезіанського басейну і відповідають типу ґрунтових. Основний водоносний горизонт залягає на глибині 50-80 м у вапняках неогену (середній сармат, меотис) і підстелений глинами нижнього сармату. Територія характеризується

глибоким рівнем залягання підґрунтових вод (мінералізація 0,5-3,0 г/дм<sup>3</sup>), тип солей – хлоридно-гідрокарбонатний натрієвий і автоморфним меліоративним режимом [47].

Район дослідження належить до дуже посушливої, помірно жаркої агрокліматичної зони з м'якою зимою. Клімат території характеризують такі основні показники: середньорічна температура повітря 10,2-11,4 °С (січня – 0,1°, липня +23,2°). Сума температур вище 10 °С – 3200-3400 °С. Середньорічна кількість опадів – 310-380 мм, на теплий період припадає – 185-250 мм. В літній період випаровуваність в два рази перевищує надходження вологи з атмосферними опадами. Гідротермічний коефіцієнт Г.Т.Селянинова в травні-вересні становить 0,61-0,67. Найменша відносна вологість повітря в липні і серпні становить відповідно 54 і 53 %.

Сільськогосподарське застосування стічних вод м. Євпаторії розпочато в 1961 р., спочатку на окремих полях в СВК ім. Горького. Із 1976 р. запроваджене регулярне зрошення біологічно очищеними стічними водами м. Євпаторії в обох господарствах. На час досліджень у межах ЗПЗ господарствами були освоєні 7-8-пільні кормові сівозміни з 2-3 полями люцерни посівної. Агротехніка вирощування культур – зональна. Режими зрошення стічними водами м. Євпаторії відповідають зональним для річкових вод. Біологічно очищені стічні води застосовували для вологозарядкових (озимі колосові на зернофураж і зелений корм – 600 м<sup>3</sup>/га, люцерна посівна – 1000-1200 м<sup>3</sup>/га) і вегетаційних (залежно від культури 3-6 разів по 600-800 м<sup>3</sup>/га) поливів. Залежно від погодних умов і біологічних особливостей культур зрошувальні норми варіювали в межах 1800-5200 м<sup>3</sup>/га на рік (середньозважена норма – 3500 м<sup>3</sup>/га на рік). Способи зрошення – дощувальними агрегатами ДДА-100 М, поверхневим способом по борознах і щілинах. Зрошення дніпровською водою в господарствах розпочато в 1977 р. з каналу РЧ-2-Т-5 ПКК дощувальними машинами «Фрегат» ДМУ-Асс.

### 3. Результати та їх обговорення

#### 3.1. Характеристика зрошувальних вод

Показники якості стічних вод м. Євпаторії після біологічного очищення характеризувалися такими параметрами (у вегетаційні періоди 1985-1992 рр.): мінералізація – 1,70–3,10 г/дм<sup>3</sup> (середнє значення – 2,1 г/дм<sup>3</sup>); вміст карбонат-, гідрокарбонат-, хлорид- і сульфат-іонів відповідно – 0,0–2,23; 4,23–8,70; 12,95–35,92 і 3,81–22,10 мекв/дм<sup>3</sup>; вміст іонів кальцію, магнію, натрію і калію відповідно – 4,33–7,80; 3,92–7,32; 16,43–31,80 і 0,44–0,75 мекв/дм<sup>3</sup>; рН 7,5–8,3. Удобрювальна цінність стічних вод невисока – з 1000 м<sup>3</sup> води в ґрунт надходить 21–38 кг азоту, 13–20 кг фосфору, 27-57 кг калію. У складі стічних вод серед рухомих форм поживних речовин переважали аміачний азот (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) і ортофосфати (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), вміст нітритного азоту (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) – 0,05-0,22 мг/дм<sup>3</sup> (ГДК 0,5 мг/дм<sup>3</sup>). За вмістом важких металів і елементів-забруднювачів стічні води відповідають низькому рівню забруднення політантами (сумарний показник забруднення Zс <10). За санітарно-гігієнічними показниками стічні води м. Євпаторії характеризувалися певною бактеріальною забрудненістю (мікробне число – 15–250·10<sup>3</sup>, колі-титр – 4·10<sup>3</sup>–10<sup>2</sup>), патогенні мікроорганізми (в т.ч. сальмонели) не виявлено, в окремих зразках вод виявлено яйця гельмінтів (0,2–40 екз./дм<sup>3</sup>). Вміст ПАР становив 0,56 мг/дм<sup>3</sup> (допустима концентрація 0,5 мг/дм<sup>3</sup> [48]); визначено незначний вміст нафтопродуктів тощо. Отже, стічні води м. Євпаторії після біологічного очищення характеризуються як середньомінералізовані і належать до категорії слабосолонуватих, мають хлоридний натрієвий тип солей (87 % проб) (на початку зрошення – хлоридно-гідрокарбонатний натрієвий тип солей), але мають несприятливі іригаційні властивості (підвищена мінералізація, несприятлива іонна структура вод – 54-69 % Na<sup>+</sup> від суми катіонів, підвищені величини водневого показника лужності) та санітарно-гігієнічні показники (бактеріальна забрудненість, інколи – наявність яєць гельмінтів, що свідчить про відсутність доочищення і знезараження стоків на КОС) і згідно з оцінкою за [36], віднесені до таких, що перебувають на межі придатності для зрошення (інколи – непридатні) через небезпеку спричинення засолення і осолонцювання ґрунту. Більш детально умови формування стічних вод м. Євпаторії, особливості хімічного складу біологічно очищених стічних вод, їх еколого-санітарні і токсикологічні показники, результати комплексної оцінки придатності для зрошення описані у попередніх публікаціях [18].

Дніпровська вода відноситься до категорії прісної (мінералізація 0,3-0,4 г/дм<sup>3</sup>), характеризується реакцією середовища від нейтральної до лужної (рН 7,1-8,7), гідрокарбонатним кальцієвим або гідрокарбонатно-сульфатним кальцієвим складом солей і, згідно з оцінкою [37], є придатною для зрошення (1-й клас придатності), за винятком підвищеного значення рН.

### 3.2. Вплив зрошення на властивості ґрунту

#### 3.2.1. Загальні тенденції змін

Аналіз літературних даних у більшості випадків свідчить про неоднозначний вплив тривалого зрошення чорноземних ґрунтів (навіть якісною водою) на найважливіші показники родючості – вміст і якість гумусу, структуру ґрунту, водно-сольовий і повітряний режими [49-53]. У літературі також висвітлено досвід багаторічного застосування очищених міських стічних вод для зрошення чорноземів південних, звичайних і типових [54-55]. З'ясовано, що за зрошення стічними водами в чорноземах поліпшується поживний режим, збільшується вміст гумусу та підвищується біологічна активність. До негативних змін відносять тенденцію до осолонцювання, підвищення рН ґрунтового розчину, погіршення водно-фізичних властивостей. Сучасними дослідженнями [52] в основному встановлено закономірності еволюції зрошуваних ґрунтів щодо зміни їх сольового режиму, які відбуваються за 4 стадіями: 1 – активні зміни; 2 – сповільнені зміни; 3 – квазірівноважний стан; 4 – відновлення властивостей.

#### 3.2.2. Склад водної витяжки

Аналіз водної витяжки незрошеного чорнозему південного слабогумусоакумулятивного щебенювато-кам'янистого на вапняках показав, що в метровому шарі загальний вміст водорозчинних солей перебував у межах 0,083-0,097 % (середній – 0,084 %), вміст токсичних солей варіював відповідно в межах 0,015-0,067 % (середній – 0,042 %), тобто ґрунт характеризувався як незасолений (Табл. 1).

Після 9-ти річного зрошення водою р. Дніпро загальна сума солей у товщі ґрунту (0-100 см) варіювала в межах 0,070-0,103 % (середнє значення – 0,084 %), токсичних солей – 0,020-0,047 % (0,034%). Тенденція зменшення величини цих показників якості ґрунту пояснювалася опрісненням ґрунту завдяки поливам прісною водою (вимивання іонів кальцію, калію, хлорид-іонів у нижні горизонти). Згідно з нормативами [38,39] ґрунт після 9-річного зрошення водою р. Дніпро можна класифікувати як незасолений. Тип засолення: за аніонним складом – сульфатно-гідрокарбонатний (увесь профіль ґрунту); за катіонним складом – в шарі 0-20 см - магнієво-кальцієвий, 20-60 см - кальцієвий, 60-100 см - магнієво-кальцієвий. Зрошення прісною водою (1-й клас придатності) спричинило помітну трансформацію складу солей в ґрунті в напрямі зрушення співвідношення кальцію та натрію, особливо у шарі 0-60 см (з 3,5-8,3 до 3,0-3,6).

Після 10-річного зрошення стічними водами м. Євпаторії в метровому шарі ґрунту відмічено зростання загального вмісту водорозчинних і токсичних солей за рахунок збільшення вмісту іонів хлориду, сульфату і натрію). Загальний вміст водорозчинних солей становив 0,116-0,139 % (середнє значення 0,138 %), а токсичних 0,107-0,122 % (0,115 %). Встановлено чітку тенденцію трансформації складу солей у ґрунті в напрямі наближення його до хімічного складу (хімізму) зрошувальних вод. В шарах ґрунту 0-20, 60-80 і 80-100 см визначено підвищені параметри вмісту хлорид-іону (0,32-0,86 мекв / 100 г), що перевищують допустиму межу (0,3 мекв) в 1,1, 2,5 і 2,9 рази відповідно. Вміст іону натрію у шарі 0-100 см більший у 6 і 7 разів, ніж у незрошеному ґрунті і зрошуваному річковою водою відповідно, тобто, існувала потенційна можливість входження натрію у вбирний комплекс ґрунту (ГВК). Відношення вмісту кальцію до натрію в метровому шарі ґрунту звузилося до критичних меж – 0,1-0,2. Згідно з нормативами [38,39] після 10-річного зрошення стічними водами ґрунт за вмістом солей класифікували як незасолений. Слід відмітити, що згідно з міжнародною класифікацією [56] дуже слабке засолення ґрунту констатується при вмісті 0,06-0,10 % токсичних солей у водній витяжці. Під впливом 10-річного зрошення стічними водами м. Євпаторії тип засолення ґрунту змінився і за катіонним складом визначався як натрієвий, а за аніонним у шарі 0-20 см – як гідрокарбонатний, 20-40 – сульфатно-гідрокарбонатний, 40-60 – гідрокарбонатний, 60-100 – сульфатно-гідрокарбонатно-хлоридний. Сольовий режим ґрунту після 10-річного зрошення стічними водами перебуває у стадії активних змін [52].

Після 25-річного зрошення стічними водами м. Євпаторії констатовано найвищі параметри загального вмісту водорозчинних і токсичних солей через збільшення вмісту хлоридів і сульфатів натрію у нижній частині досліджуваного шару (40-100 см). Відношення  $Ca^{2+}/Na^{+}$  в метровому шарі ґрунту є критичним – 0,1-0,3 (середнє – 0,2). За загальним вмістом солей (0,117-0,175 %) ґрунт оцінено як незасолений (класифікаційна межа – 0,2 %), за вмістом токсичних солей в шарі 0-20 см (0,107 %) – незасолений (межа – 0,15 %), 20-60 см (0,121 %) – незасолений, 60-100 см (0,133-0,137 %) – слабозасолений лише за умови хлоридно-сульфатного (ХС) типу засолення (за якого межа токсичних – 0,10-0,25 % [38, 39]).

Таблиця 1

Хімічний склад водних витяжок незрошуваного і зрошуваного чорнозему південного слабогумусоаккумулятивного щепенно-вапто-кам'янистого на вапняках (СВК ім. Горького)

Шар ґрунту, см	Сума солей, %		рН водний	Вміст іонів, мекв на 100 г ґрунту						Ca <sup>2+</sup> Na <sup>+</sup>	
	загальна	токсичних		HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	
<i>ґрунт незрошуваний</i>											
0-20	0,083	0,015	7,90	0,72	0,06	0,33	0,75	0,15	0,09	0,027	8,3
20-40	0,097	0,041	7,90	0,76	0,06	0,50	0,70	0,50	0,12	0,015	5,9
40-60	0,091	0,040	7,80	0,64	0,08	0,50	0,70	0,40	0,20	0,012	3,5
60-80	0,093	0,047	7,80	0,74	0,08	0,42	0,55	0,25	0,46	0,008	1,2
80-100	0,088	0,067	7,90	0,90	0,14	0,12	0,25	0,50	0,50	0,008	0,5
0-100	0,084	0,042	7,86	0,75	0,08	0,37	0,59	0,36	0,27	0,014	2,1
<i>ґрунт, зрошуваний водою р. Дніпро (9 років)</i>											
0-20	0,103	0,047	7,85	0,76	0,02	0,62	0,75	0,50	0,21	0,018	3,6
20-40	0,076	0,019	7,90	0,74	0,02	0,21	0,70	0,10	0,19	0,008	3,7
40-60	0,070	0,020	7,95	0,48	0,02	0,46	0,60	0,10	0,20	0,008	3,0
60-80	0,080	0,039	7,80	0,62	0,02	0,46	0,50	0,35	0,23	0,008	2,2
80-100	0,085	0,046	7,80	0,68	0,06	0,42	0,50	0,45	0,24	0,008	2,1
0-100	0,084	0,034	7,86	0,66	0,03	0,43	0,61	0,30	0,21	0,010	2,9
<i>ґрунт, зрошуваний стічними водами м. Євпаторії (10 років)</i>											
0-20	0,137	0,120	7,90	1,12	0,32	0,25	0,25	0,20	1,60	0,020	0,2
20-40	0,131	0,106	7,90	0,98	0,24	0,42	0,30	0,10	1,50	0,013	0,2
40-60	0,116	0,104	7,95	0,76	0,16	0,50	0,25	0,10	1,46	0,008	0,2
60-80	0,138	0,121	7,60	0,70	0,76	0,50	0,20	0,15	1,66	0,013	0,1
80-100	0,139	0,122	7,70	0,70	0,86	0,42	0,25	0,15	1,68	0,008	0,1
0-100	0,138	0,115	7,81	0,85	0,47	0,42	0,25	0,14	1,58	0,012	0,2
<i>ґрунт, зрошуваний стічними водами м. Євпаторії (25 років)</i>											
0-20	0,117	0,107	7,80	1,06	0,14	0,17	0,15	0,10	1,50	0,020	0,1
20-40	0,129	0,111	7,90	1,04	0,14	0,42	0,15	0,10	1,56	0,013	0,1
40-60	0,151	0,130	7,90	1,02	0,30	0,79	0,25	0,15	1,80	0,004	0,1
60-80	0,175	0,137	7,90	1,02	0,62	0,75	0,40	0,10	1,96	0,004	0,2
80-100	0,170	0,133	7,90	0,92	0,66	0,79	0,50	0,15	1,84	0,004	0,3
0-100	0,149	0,124	7,88	1,01	0,37	0,37	0,29	0,12	1,73	0,009	0,2
<i>ґрунт, зрошуваний стічними водами м. Євпаторії (30 років)</i>											
0-20	0,104	0,080	7,70	0,82	0,18	0,33	0,20	0,05	1,15	0,013	0,2
20-40	0,121	0,097	7,80	0,82	0,24	0,54	0,20	0,10	1,35	0,009	0,1
40-60	0,123	0,100	7,80	0,86	0,32	0,45	0,15	0,05	1,45	0,006	0,1
60-80	0,127	0,103	7,80	0,82	0,36	0,54	0,20	0,10	1,45	0,006	0,1
80-100	0,131	0,110	7,90	0,82	0,42	0,54	0,15	0,10	1,55	0,009	0,1
0-100	0,121	0,098	7,80	0,83	0,30	0,48	0,18	0,08	1,39	0,009	0,1

Примітка: іони SO<sub>3</sub><sup>2-</sup> не виявлено

Тип засолення ґрунту за аніонним складом в шарі 0-20 см – гідрокарбонатний, 20-60 см – сульфатно-гідрокарбонатний, 60-100 см – хлоридно-сульфатно-гідрокарбонатний; за катіонним складом (у 0-100 см) – натрієвий. Сольовий режим ґрунту після 25-річного зрошення – у стадії сповільнених змін [52].

Після 30-річного зрошення стічними водами у метровій товщі ґрунту збереглися такі самі тенденції щодо трансформації складу солей і сольового режиму, який перейшов до 3-ї стадії – квазірівноважного стану [52].

### 3.2.3. Склад обмінних катіонів ГВК

За зрошення стічними водами м. Євпаторії, що мали несприятливі іригаційні властивості, в результаті входження водорозчинного натрію в ГВК розвивався процес осолонцювання ґрунту, що узгоджується з висновками [54, 55]. Після зрошення стічними водами (10, 25 і 30 років) в 0-100 см шарі частка обмінного  $\text{Na}^+$  у складі обмінних катіонів зростає у 3,0–4,6 та 4,7–7,3 рази порівняно з незрошуваним і зрошуваним річковою водою ґрунтом. Згідно з класифікацією ґрунтів за ступенем вторинної солонцюватості [38,39] встановлено, що після 10-річного зрошення стічними водами шар ґрунту 0-100 см можна класифікувати як несолонцюватий (частка обмінного  $\text{Na}^+$  у сумі усіх катіонів ГВК менше 5%); після 25-річного – слабосолонцюватий ( $\text{Na}^+$  – 5,3-8,8% в шарі 40-100 см); після 30-річного – несолонцюватий ( $\text{Na}^+$  – менше 5%). Чорнозем південний, тривало зрошуваний стічними водами, характеризується високим кальцієвим потенціалом (вміст  $\text{CaCO}_3$  в 0-100 см шарі варіює в межах –10-24%) і, відповідно, високою буферністю, тому, завдяки високій буферній здатності та наявності активних концентрацій катіонів кальцію в ґрунтовому розчині, гальмується інтенсивний розвиток процесу осолонцювання ґрунту. (Табл. 2).

**Таблиця 2**

Склад обмінних катіонів у незрошуваному і зрошуваному чорноземі південному (СВК ім. Горького)

Шар ґрунту, см	Обмінні катіони							
	вміст, мекв на 100 г ґрунту					частка у сумі катіонів, %		
	сума	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Na}^+$	$\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Na}^+$
<i>ґрунт незрошуваний</i>								
0 – 20	45,33	40,00	5,00	0,33	8,00	88,24	11,03	0,73
20 – 40	50,38	37,50	12,50	0,38	3,00	74,43	24,81	0,75
40 – 60	47,91	32,50	15,00	0,41	2,17	67,83	31,31	0,86
60 – 80	55,82	37,50	17,50	0,82	2,14	67,18	31,35	1,47
80 – 100	46,26	32,50	12,50	1,26	2,60	70,25	27,02	2,72
0 – 100	49,14	36,00	12,50	0,64	2,88	73,26	25,44	1,30
<i>ґрунт, зрошуваний водою р. Дніпро (9 років)</i>								
0 – 20	52,91	47,50	5,00	0,41	9,50	89,77	9,45	0,77
20 – 40	42,91	40,00	2,50	0,41	16,00	93,22	5,83	0,95
40 – 60	47,86	45,00	2,50	0,36	18,00	94,02	5,22	0,75
60 – 80	40,38	37,50	2,50	0,38	15,00	92,87	6,19	0,94
80 – 100	55,41	45,00	10,00	0,41	4,70	81,21	18,05	0,74
0 – 100	47,90	43,00	4,50	0,39	9,60	89,77	9,39	0,81
<i>ґрунт, зрошуваний стічними водами м. Євпаторії (10 років)</i>								
0 – 20	39,20	32,50	5,00	1,70	6,50	82,91	12,75	4,34
20 – 40	41,24	32,50	7,50	1,24	4,33	78,81	18,20	3,01
40 – 60	41,71	30,00	10,00	1,71	3,00	71,92	24,00	4,10
60 – 80	41,47	27,50	12,50	1,47	2,20	66,31	30,14	3,54
80 – 100	41,76	25,00	15,00	1,76	1,67	59,86	35,92	4,21
0 – 100	41,08	29,50	10,00	1,58	2,95	71,81	24,34	3,85
<i>ґрунт, зрошуваний стічними водами м. Євпаторії (25 років)</i>								
0 – 20	41,52	32,50	7,50	1,52	4,33	78,27	24,10	3,66
20 – 40	39,42	35,00	2,50	1,92	14,00	88,79	6,34	4,87
40 – 60	36,96	32,50	2,50	1,96	13,00	87,93	6,76	5,30
60 – 80	40,52	27,50	10,00	3,02	2,75	67,87	24,68	7,45
80 – 100	32,91	22,50	7,50	2,91	3,00	68,37	22,79	8,84
0 – 100	38,27	30,00	6,00	2,27	5,00	78,39	15,68	5,93
<i>ґрунт, зрошуваний стічними водами м. Євпаторії (30 років)</i>								
0 – 20	54,40	40,00	12,50	1,90	3,20	73,53	22,98	3,49
20 – 40	49,75	37,50	10,00	2,25	3,75	75,38	20,10	4,52
40 – 60	52,10	40,00	10,00	2,10	4,00	76,77	19,19	4,03
60 – 80	46,90	37,50	7,50	1,90	5,00	79,96	15,99	4,05
80 – 100	52,00	35,00	15,00	2,00	2,33	76,31	28,85	3,85
0 – 100	51,03	38,00	11,00	2,03	3,45	74,47	21,56	3,98

Розвиток процесу осолонцювання чорнозему південного був спричинений несприятливими іригаційними властивостями поливних стічних вод (хлоридний натрієвий тип солей, підвищена мінералізація – 1,70–3,10 г/дм<sup>3</sup>, несприятлива іонна структура вод – 54-69 % Na<sup>+</sup> від суми катіонів), які обумовили метаморфізацію сольового складу ґрунтів у напрямі підвищення вмісту та активності розчинного натрію, входження його в ГВК і осолонцювання ґрунтів, а також трансформацію їх мінеральних компонентів [52]. Отже, тривале зрошення стічними водами м. Євпаторії (10, 25 і 30 років), згідно з вітчизняними нормативами, не спричинило вторинного засолення ґрунту (загальний вміст водорозчинних і токсичних солей не досягав меж токсичності і не був небезпечним для рослин), що узгоджується з висновками інших авторів [54, 55]. Проте за міжнародною класифікацією (з більш жорсткими вимогами до вмісту токсичних солей у водній витяжці) класифікували дуже слабе засолення ґрунту (0-100 см). Крім того, слід відмітити підвищену токсичність хлор-іону в шарі 40-100 см. Ступінь лужності ґрунту на всіх ділянках дослідів було класифіковано як низький. Зрошення стічними водами в результаті входження водорозчинного натрію в ГВК обумовило розвиток процесу вторинного осолонцювання ґрунту, проте інтенсивність процесу гальмувалася завдяки високій генетичній буферній здатності чорнозему південного. Вищезазначені зміни в сольовому режимі і стані ГВК були характерними й для другого досліджуваного підвиду чорнозему (карбонатного на лесах) після 15-річного зрошення стічними водами. Тенденція до слабкого засолення й осолонцювання ґрунту за зрошення стічними водами свідчить про необхідність застосування запобіжних меліоративних заходів.

### 3.2.4. Стан мікробного ценозу ґрунту

У літературі повідомляють [57-59], що напрям і ступінь змін стану мікробних ценозів чорноземів, зрошуваних мінералізованими водами, залежить від сполучення ряду факторів – тривалості й інтенсивності зрошення, якості поливних вод, структури сівозміни, кліматичних умов, агротехніки тощо. Встановлено [57-59], що тривале (13 років) зрошення мінералізованими водами чорнозему південного в помірному режимі при високій культурі землеробства підвищувало його біогенність порівняно з незрошуваним аналогом, відмічено більш низьку напруженість мінералізаційних процесів.

З даних (Табл. 3) можна зробити висновок, що при однотипному сільськогосподарському використанні земель тривале (25 років) застосування біологічно очищених стічних вод м. Євпаторії для зрошення кормових агрофітоценозів (7-8-пільні кормові сівозміни з 2-3 полями люцерни посівної) сприяє зростанню загальної біологічної активності ґрунту (збільшується кількість представників усіх досліджених еколого-трофічних груп мікроорганізмів) порівняно із незрошуваним аналогом, що узгоджується з висновками [54, 55].

**Таблиця 3**

*Вплив зрошення біологічно очищеними стічними водами м. Євпаторії на розвиток і формування мікробного ценозу чорнозему південного слабогумусоакумулятивного щебенювато-кам'янистого на вапняках (СВК ім. Горького), (шар 0–20 см)*

Ґрунт	Чисельність мікроорганізмів у сухому ґрунті (КУО)				K <sub>мін</sub>	Нітрифікаційна здатність, мг NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /100 г ґрунту
	актиноміцети, млн /г	гриби, тис. /г	мікроорганізми, що засвоюють органічні форми азоту, млн /г	мікроорганізми, що засвоюють мінеральні форми азоту, млн /г		
<i>Весна (III декада квітня)</i>						
Незрошуваний	0,21±0,01	11,5±1,0	21,4±1,8	29,0±1,9	1,35	7,10±0,94
Зрошуваний стічними водами	0,41±0,02	15,0±1,7	34,7±2,2	33,4±2,5	0,98	9,96±2,05
<i>Літо (I декада липня)</i>						
Незрошуваний	115,0±9,7	19,5±1,6	298,0±33,0	364,3±41,1	1,22	12,67±1,46
Зрошуваний стічними водами	207,0±15,3	23,0±2,0	525,5±41,0	600,0±55,0	1,14	13,50±1,41

При цьому співвідношення бактерій, які засвоюють переважно мінеральні сполуки азоту та мікроорганізмів-амоніфікаторів змінюється на користь останніх, що свідчить про забезпечення ґрунту органічними сполуками і обумовлює відносне зниження мінералізаційної активності (K<sub>мін</sub>). Зрошення стічними водами дещо збільшує (1 декада липня) нітрифікаційну активність ґрунту. Чисельність мікроорганізмів у ґрунті змінюється

залежно від пори року (весна, літо), а розвиток мікробоценозу має тенденцію до активізації (підвищення біогенності) в умовах зрошення стічними водами. Таким чином, незважаючи на несприятливі хімічні характеристики стічних вод м. Євпаторії (підвищена мінералізація і несприятлива іонна структура), їх позитивний вплив на біогенність ґрунту перевищує можливі негаразди, пов'язані з потенційним засоленням.

### *3.3. Мікроелементний склад ґрунту та оцінка забруднення токсичними елементами*

Відомо [60-62], що ґрунтовий покрив є потужним акумулятором забруднюючих речовин і з часом їх не втрачає. Особливо міцно фіксуються токсичні елементи у верхньому гумусованому шарі. Повідомляють [63-64], що застосування поливних вод, які забруднені токсичними елементами, може призводити до накопичення в ґрунті важких металів. Нами виконана еколого-біогеохімічна оцінка забруднення чорнозему південного у шарі 0-40 см токсичними елементами. Аналіз ступеня забруднення ґрунту представлений для 19 елементів, які за ступенем екологічної безпеки відносять до високонебезпечних (Hg, Pb, Zn), середньонебезпечних (Co, Ni, Mo, Cu, Cr) і малонебезпечних (Ba, V, Mn, Sr, Sn, Be, Bi, Ti, Zr, Sc, Ag). Передусім слід відмітити, що середній валовий вміст хімічних елементів у досліджуваних підвидах чорнозему південного розподіляється у вигляді такого низхідного ряду:  $Ti > Mn > Ba > Zr > Sr > Zn > Cr > V > Ni > Cu > Pb > Sc > Co > Sn > Be > Bi > Mo > Hg > Ag$  (на всіх варіантах досліджу). Як видно із даних табл. 4 концентрації основної частини досліджуваних елементів у верхньому шарі зрошуваного чорнозему південного в обох господарствах не перевищують фонових значень [41] і вмісту металів на незрошуваному аналогу.

Середній вміст у ґрунті групи таких елементів, як Pb, Zn, Mo, Bi, Sc, Zr і Ti (чорнозем південний щебенювато-кам'янистий на вапняках) і Pb, Zn, Ni, Mo, Cu, Cr, Ba, V, Mn, Bi, Sc, Zr і Ti (чорнозем південний карбонатний на лесах) дещо перевищував фонові величини для цих підвидів ґрунту [41]. Цим обумовлені і найвищі значення коефіцієнтів концентрації (Kc) хімічних елементів. Проте підвищений вміст елементів і, відповідно, значень Kc у ґрунтах відмічено на всіх ділянках досліджу, незалежно від досліджуваного фактора (зрошення стічними водами) і тривалості його застосування (15 і 30 років), тому можна припустити, що зазначене явище спричинене умовами ґрунтоутворення. Порівнянням середнього вмісту елементів у ґрунті з ГДК і величинами гігієнічної межі концентрації елементів (ГМК – величина 5-кратного перевищення фону, що застосована до групи елементів Ba, Sr, Bi, Ag і Sc через відсутність ГДК) виявлено, що на всіх ділянках досліджу середній вміст хімічних елементів у верхньому шарі ґрунту не перевищує вітчизняні [42] і зарубіжні [43,44] нормативи. Діапазон варіювання сумарного показника забруднення (Zc) ґрунту становить 4,9-5,2 (чорнозем південний щебенювато-кам'янистий на вапняках) і 7,8-9,5 (чорнозем південний карбонатний на лесах), тому, згідно з нормативом [42], ґрунти оцінено як такі, що мають «допустиму» категорію забруднення ( $Zc < 16$ ).

### *3.4. Санітарно-гігієнічна характеристика ґрунту*

Результати досліджень Київського науково-дослідного інституту загальної та комунальної гігієни імені О.М. Марзєєва (нині - ДУ «Інститут громадського здоров'я імені О.М. Марзєєва» НАМН України) показали, що в санітарно-гігієнічному відношенні стічні води м. Євпаторії після біологічного очищення характеризуються як помірно забруднені (бактеріальне забруднення, інколи – присутність яєць гельмінтів), що свідчить про перевантаження потужностей КОС м. Євпаторії і відсутність доочищення та знезараження біологічно очищених стічних вод. Водночас у публікаціях [65, 66] повідомляється, що радикально вирішити проблему охорони водних об'єктів від забруднення можна у разі застосування стічних вод для іригації, в процесі якої відбувається їх ґрунтове доочищення. Доцільність використання ґрунтового середовища як ефективного доочищувача стічних вод (особливо міських) полягає в тому, що це одна із ланок кругообігу речовин, в якій відбувається очищення води від більшості органічних залишків і відходів. В санітарно-гігієнічному відношенні найліпший ефект ґрунтового доочищення стічних вод досягається в теплу пору року, завдяки активній діяльності ґрунтових мікробоценозів. Зазначене знайшло підтвердження в результатах наших досліджень, якими виявлено зростання рівня біогенності і загальної біологічної активності ґрунту в літній період та в умовах зрошення стічними водами (Табл. 3). Крім того, на життєздатність патогенних мікроорганізмів згубно впливають зневоднення та високі рівні ультрафіолетового опромінення і теплового режиму, характерні для природних умов кримського регіону.

**Таблиця 4**  
Середній валовий вміст і значення коефіцієнтів концентрації хімічних елементів у незрошуваному і зрошуваному чорноземі південному (шар 0-40 см) та критерії його оцінки

Варіант	Hg	Pb	Вміст хімічного елементу (мг/кг повітряно-сухого ґрунту) – над ризико; коефіцієнт концентрації (Кс) – під ризико										Ba	V	
			Zn	Co	Ni	Mo	Cu	Cr	СВК ім. Горького, Чорнозем південний слабоумованулятивний щепенноавто-кам'янистий на вапняку						
1	0,05	16,2	80,0	13,0	37,0	1,35	35,0	65,5	290	40,5					
	0,60	1,62	1,23	0,54	0,86	1,69	0,74	0,49	0,58	0,42					
2	0,10	17,0	87,0	12,0	32,0	1,10	30,0	74,0	290	54,0					
	1,20	1,70	1,34	0,50	0,74	1,37	0,64	0,56	0,58	0,56					
3	0,05	14,2	79,5	10,0	41,0	1,20	33,0	62,0	322	45,0					
	0,05	1,42	1,21	0,42	0,95	1,50	0,70	0,47	0,64	0,47					
Фон [41]	1,00*	10,0	65,0	24,0	43,0	0,80	47,0	133,0	500*	96					
СВК «Береговий»; Чорнозем південний слабоумованулятивний легкоглинистий карбонатний на лесі															
1	0,05	22,5	100,0	15,0	32,5	1,35	30,0	75,5	600	75,0					
	0,60	2,25	1,14	0,68	1,07	2,08	1,43	0,57	1,20	1,03					
2	0,04	20,0	100,0	12,5	45,0	1,35	28,5	90,0	620	75,7					
	0,49	2,00	1,14	0,57	1,50	2,08	1,36	0,68	1,24	1,04					
3	0,06	25,0	95,0	15,0	44,0	1,40	29,0	90,0	640	86,0					
	0,72	2,50	1,08	0,68	1,47	2,15	1,38	0,68	1,28	1,18					
Фон 2 [41]	1,00*	10,0	88,0	22,0	30,0	0,65	21,0	133,0	500	73,0					
	2,10	32,0	100,0	–	85,0	–	55,0	–	–	150,0					
ГДК [42]	2,00	100,0	300,0	50,0	50,0	5,00	100,0	100,0	–	50,0					
ГДК [43]	5,00	100,0	300,0	50,0	100,0	10,00	100,0	100,0	–	100,0					
ГМК	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–					
СВК «Береговий»; Чорнозем південний слабоумованулятивний легкоглинистий карбонатний на лесі															
1	900	150	3,8	1,6	0,05	3,1	13,5	183	4000	4,9					
	1,00	0,81	0,47	1,60	0,25	0,62	2,08	1,08	1,57	–					
2	880	130	3,7	1,6	0,02	2,5	12,0	207	5433	5,4					
	0,98	0,71	0,47	1,60	0,10	0,50	1,85	1,22	2,13	–					
3	904	165	3,3	1,5	0,05	3,05	12,3	188	4644	4,4					
	1,00	0,90	0,41	1,50	0,25	0,61	1,89	1,10	1,82	–					
Фон 1 [41]	900	184	8*	1,00*	0,20*	5*	6,5*	120*	2550	–					
СВК «Береговий»; Чорнозем південний слабоумованулятивний легкоглинистий карбонатний на лесі															
1	1100,0	185	4,1	1,2	0,02	2,5	17,5	200	5850	7,8					
	1,22	1,00	0,51	1,20	0,04	0,50	2,69	1,18	2,29	–					
2	1250,0	140	4,0	2,0	0,02	2,8	14,0	250	6300	9,2					
	1,39	0,76	0,50	2,20	0,04	0,56	2,15	1,47	2,47	–					
3	1225,0	180	5,3	1,4	0,02	2,5	15,0	305	5975	9,2					
	1,36	0,98	0,66	1,40	0,04	0,50	2,31	1,79	2,34	–					
Фон 2 [41]	900	184	8,0*	1,0*	0,50*	5,0*	6,5*	120*	2550	–					
ГДК [42]	1500	–	4,5	–	–	–	–	–	–	–					
ГДК [43]	–	–	50,0	–	–	10,0	–	–	5000	–					
ГДК [44]	–	–	–	–	–	10,0	–	–	–	–					
ГМК	–	920	–	5,0	2,50	–	32,0	–	–	–					

**Примітка.** Варіанти: 1 – ґрунт незрошуваний; 2 – ґрунт, зрошуваний водою р. Дніпро 15 років; 3 – ґрунт, зрошуваний стічними водами м. Євпаторії (в СВК ім. Горького – 30, в СВК «Береговий» – 15 років).  
Фон 1 – середній вміст елементів у чорноземі південному на елевій карбонатних порід (за [41]); Фон 2 – середній вміст елементів у чорноземі південному на лесях (за [41]); \*Джерела інформації: фон Hg взято за [43]; Ва, Sn, Ве – за [44]; за фон Вi і Zr взяті їхні класики в осадових породах відповідно за [44] і [43]; фон Sc взято за [43]; ГМК – гігієнічна межа концентрації елемента.

В СВК «Береговий» в кінці вегетаційного періоду у верхній частині досліджуваного шару ґрунту (0-40 см) на полях 15-річного зрошення біологічно очищеними стічними водами було зафіксовано більш високі параметри загального мікробного числа (ЗМЧ) порівняно з незрошуваним ґрунтом (Табл. 5).

**Таблиця 5**

Санітарно-гігієнічна характеристика незрошеного і зрошеного чорнозему південного (шар 0-40 см) в кінці вегетаційного періоду (середні дані)

Варіант	Бактеріологічний показник		Патогенні мікро-організми, в тому числі сальмонели, екз./г ґрунту	Кількість яєць гельмінтів		ПАР, мг/кг ґрунту
	Колі-титр	ЗМЧ, КУО/г ґрунту		всього, екз./кг ґрунту	деформовані, %	
<i>СВК ім. Горького, чорнозем південний слабогумусоаккумулятивний щебенювато-кам'янистий на вапняку</i>						
1	1,1	300000-350000	не виявлено	не виявлено	не виявлено	0,22-0,35
2	1,0	550000	не виявлено	не виявлено	не виявлено	0,25
3	1,1 – <1,1	300000-450000	не виявлено	51-90	100	0,30-0,35
<i>СВК «Береговий», чорнозем південний слабогумусоаккумулятивний легкоглинистий карбонатний на лесі</i>						
1	>1,1	250000-300000	не виявлено	не виявлено	не виявлено	0,49-0,56
2	1,0	400000	не виявлено	не виявлено	не виявлено	0,48
3	1,1 – <1,1	900000-1250000	не виявлено	40-80	100	0,58-0,63

**Примітка:** варіанти дослідів: 1 – ґрунт незрошуваний; 2 – ґрунт, зрошуваний водою р. Дніпро 15 років; 3 – ґрунт, зрошуваний біологічно очищеними стічними водами м. Євпаторії (у СВК ім. Горького – 30, у СВК «Береговий» – 15 років)

За параметрами колі-титру ґрунт, зрошуваний біологічно очищеними стічними водами м. Євпаторії, характеризувався як чистий або ж із слабким ступенем забруднення. В орному шарі ґрунту було виявлено деформовані (не життєздатні) яйця гельмінтів; вміст специфічних речовин (ПАР) – у межах звичайних параметрів якості ґрунту. В СВК ім. Горького, в кормовій сівозміні з більш тривалим терміном зрошення біологічно очищеними стічними водами (30 років), ґрунт отримав подібну санітарно-гігієнічну характеристику якості. Отже, можна констатувати, що тривале застосування біологічно очищених стічних вод м. Євпаторії для зрошення кормових агрофітоценозів у господарствах Сакського р-ну АР Крим за санітарно-бактеріологічними і гельмінтологічними показниками та вмістом специфічних речовин (ПАР) у ґрунті не спричинило забруднення верхнього шару (0-40 см) патогенними мікроорганізмами, життєздатними яйцями гельмінтів і специфічними токсичними речовинами (важкі метали, елементи-забруднювачі, ПАР тощо). За санітарно-гігієнічною оцінкою верхній шар ґрунту (0-40 см) можна оцінити як чистий або ж із слабким ступенем забруднення. Завдяки природній самоочищувальній здатності ґрунту в його середовищі відбувається ефективне доочищення біологічно очищених міських стічних вод і їх знезараження, що узгоджується із [65, 66] щодо того, що ґрунти представляють собою підходяще середовище для перетворення й очищення (доочищення) стічних вод різного походження. Органічні залишки і відходи, які до того були забруднювачами, в ґрунті стають джерелами енергії для ґрунтових мікробних ценозів і джерелами поживних елементів для рослин.

За результатами досліджень для мінімізації прояву ознак іригаційної деградації ґрунту (упередження процесів засолення та осолонцювання), поліпшення санітарно-гігієнічних показників ґрунту зрошеного біологічно очищеними стічними водами м. Євпаторії було рекомендовано комплекс превентивних заходів: організаційно-технічні (виключення або обмеження скидання в каналізаційну мережу високомінералізованих промислових стоків; реконструкція та модернізація КОС м. Євпаторії); технологічні (меліоративне поліпшення вод); агро-меліоративні (періодична глибока оранка з внесенням меліорантів і підвищених норм органічних добрив, вирощування солестійких культур, біологічні методи меліорації, промивання ґрунту), організаційні – перехід на нові площі зрошення для природного оздоровлення і відновлення властивостей тривало зрошеного ґрунту.

#### 4. Висновки

1. Тривале зрошення біологічно очищеними мінералізованими стічними водами м. Євпаторії з хлоридним натрієвим типом хімізму солей спричинило ознаки іригаційної деградації метрової товщі чорнозему південного (тенденція до слабого засолення та осолонцювання). Водночас зрошення стічними водами обумовило підвищення біогенності ґрунту і зменшення активності мінералізаційних процесів. Зрошення стічними водами не спричинило забруднення ґрунту токсичними речовинами (важкі метали, ПАР); завдяки природним процесам самоочищення відбувається певне очищення ґрунту від хвороботворних мікроорганізмів. Тривало зрошуваний стічними водами чорнозем південний, завдяки високій генетичній буферній здатності і активній концентрації катіонів кальцію в ґрунтовому розчині, а також природній здатності ґрунту до самоочищення від різноманітних забруднювачів, характеризувався близьким до оптимального агроекологічним станом і еволюціонував за своєрідним гумусово-аккумулятивним типом ґрунтоутворення.

2. Екологічно безпечна технологія використання біологічно очищених стічних вод м. Євпаторії для іригації має передбачати обов'язкові заходи з санітарно-гігієнічного контролю на ЗПЗ: підготовку полів перед зрошенням; дотримання режимів зрошення, системи удобрення і правил агротехніки. Для запобігання забруднення ґрунту необхідно здійснювати періодичний контроль його еколого-гігієнічного стану за такими показниками: санітарно-хімічні (вміст органічного вуглецю, сульфатів, карбонатів та гідрокарбонатів, хлоридів, аміаку, нітратів, нітритів); санітарно-мікробіологічні (патогенні мікроорганізми кишкової групи); гельмінтологічні (яйця гельмінтів); вірусологічні.

3. Одним із шляхів розв'язання проблеми дефіциту води для іригації та для упередження забруднення прибережних акваторій Чорного і Азовського морів доцільним є використання за науково-обґрунтованого підходу біологічно очищених міських стічних вод для зрошення кормових агрофітоценозів із застосуванням прогресивних способів поливу і безпечних режимів зрошення.

#### Подяки

Автор висловлює вдячність за тісну співпрацю у виконанні наукової тематики кандидату с.-г. наук Т.Л. Сало (науковий керівник НДР), науковим співробітникам В.Ф. Гресь, Г.І. Андріяко та іншим співробітникам ДП «Центральна лабораторія якості води та ґрунтів Інституту водних проблем і меліорації НААН».

#### Список використаних джерел

1. *Ромащенко М.І.* Концепція відновлення та розвитку зрошення у Південному регіоні України / За ред. М.І. Ромащенко. Київ: ЦП «Компринт», 2014. 28 с.
2. *Ромащенко М.І.* Наукові засади розвитку зрошення земель в Україні. Київ: Аграрна наука, 2012. 28 с.
3. *Дишлюк В.Є.* Перспективи використання стічних вод міських очисних споруд у землеробстві України. *Меліорація і водне господарство*. Міжвід. тем. наук. зб. Київ: Аграрна наука, 1997. Вип. 84. С. 83–97.
4. *Дишлюк В.Є.* Перспективи використання стічних вод міських очисних споруд у землеробстві України (повідомлення II). *Меліорація і водне господарство*: міжвід. тем. наук. зб. Київ: Аграрна наука, 1998. Вип. 85. С. 57–66.
5. *Dyshlyuk V.Ye.* Utilization of urban sewage waters for irrigation of agricultural lands in Ukraine. *Debreceni Egyetem Agrártudományi Közlemények Acta Agraria Debrecenitnsis*. № 61. Debrecen. 2014. P. 5–7.
6. *Паламарчук М.М., Зарочевна Н.Б.* Водний фонд України: Довідковий посібник / За ред. В.М. Хорєва, К.А. Алієва. Київ: Ніка-Центр. 2016. 107 с.
7. *Устойчивый Крым*. Водные ресурсы. Симферополь: Таврида, 2003. С. 171.
8. *Юровський Ю.Г.* Сучасний стан прибережно-морської зони України. *Інформаційний бюлетень про стан геологічного середовища України у 1994–1995 рр.* Вип. 14. Київ: Держкомгеологія України, 1997. С. 41–51.
9. *Національна доповідь* про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2001 році. Київ: Мінекоресурсів України, 2003. С. 33–43.
10. *Коржунова Н.* Проблеми раціонального природокористування в Чорноморському регіоні. *Економіка України*. № 9. Київ: Преса України. 1996. С. 70–73.
11. *Environmental economic and social impacts of the use of sewage sludge on land: Report Milien Ltd and WRC for the European Commission, DG Environment under Study Contract DG ENV.G 4/ETU/2008/0076r.* 2008.
12. *Львович А.И.* Защита вод от загрязнения / под ред. М.М. Телитченко. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1977. 168 с.
13. *Использование сточных вод для орошения* / Ю.Г. Бескровный, М.В. Козинец, В.И. Бойко, З.И. Бойко [и др.] / Под ред. Ю.Г. Бескровного. Киев: Урожай, 1989. 158 с.
14. *Овцов Л.П.* Экологически безопасные технологии сельскохозяйственного использования животноводческих стоков и сточных вод. Москва: МГУ, 2002. 615 с.
15. *Дишлюк В.Є.* Напрями раціонального використання стічних вод // Наукові основи охорони та раціонального використання зрошуваних земель України / За ред. С.А. Балюка, М.І. Ромащенко і В.А. Сташука. Київ: Аграрна наука, 2009. С. 402–415.

16. Дишлюк В.Є. Водна меліорація ґрунтів із застосуванням стічних вод // Адаптація агротехнологій до змін клімату: ґрунтово-агрохімічні аспекти / За ред. С.А. Балюка, В.В. Медведева, Б.С. Носка. Харків: Стильна типографія, 2018. С. 156–161.
17. *Временные рекомендации по использованию для орошения сточных вод г. Евпатории*. Ровно: УИИВХ, 1982. 25 с.
18. Дишлюк В.Є. Формування, якісний склад та комплексна оцінка для іригації стічних вод очисних споруд м. Євпаторії. *Меліорація і водне господарство: міжвід. тем. наук. зб.* №88. Київ: Аграрна наука, 2002. С. 52–61.
19. Дишлюк В.Є. Якість підземних вод на територіях, прилеглих до зони масиву зрошення стічними водами міських очисних споруд. *Меліорація і водне господарство: міжвід. тем. наук. зб.* №86. Київ: Аграрна наука, 1999. С. 90–97.
20. *Почвенная карта Сакского района Крымской области*. Составлена Крымской землеустроительной экспедицией института «Укрземпроект» по материалам обследования почв, проведенного в 1957 – 1962 г. Масштаб 1:50000. Киев, 1963.
21. Полупан М.І., Соловей В.Б., Величко В.А. Класифікація ґрунтів України / За ред. М.І. Полупана. Київ: Аграрна наука, 2005. 300 с.
22. *Методические рекомендации по изучению влияния орошения на почвы УССР* / Сост.: А.В. Новикова, Н.К. Крупский, Н.И. Полупан [и др.]. Харьков: УНИИПА ЮО ВАСХНИЛ, 1979. 96 с.
23. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. Москва: Агропромиздат, 1985. 351 с.
24. *Почвы. Метод определения ионов карбонатов и бикарбонатов в водной вытяжке: ГОСТ 26424-85*. [Введ. 1986-01.01]. Москва: Госкомитет СССР по стандартам, 1985. 4 с.
25. *Почвы. Методы определения иона хлорида в водной вытяжке: ГОСТ 26425-85*. [Введ. 1986-01.01]. Москва: Госкомитет СССР по стандартам, 1985. 9 с.
26. *Почвы. Методы определения иона сульфата в водной вытяжке: ГОСТ 26426-85*. [Введ. 1986-01.01]. Москва: Госкомитет СССР по стандартам, 1985. 7 с.
27. *Почвы. Методы определения натрия и калия в водной вытяжке: ГОСТ 26427-85*. [Введ. 1986-01.01]. Москва: Госкомитет СССР по стандартам, 1985. 4 с.
28. *Почвы. Методы определения кальция и магния в водной вытяжке: ГОСТ 26428-85*. [Введ. 1986-01.01]. Москва: Госкомитет СССР по стандартам, 1985. 8 с.
29. Звягинцев Д.Г. Почва и микроорганизмы. Москва: Изд-во МГУ, 1987. 256 с.
30. *Методы изучения почвенных микроорганизмов и их метаболитов* / Под ред. Н.А. Красильникова. Москва: Изд-во МГУ, 1966. С. 7-24.
31. Тарасевич Н.И., Семенов К.А., Хлыстова А.Д. Методы спектрального и химико-спектрального анализа. Москва: Изд-во Моск. ун-та, 1973. 275 с.
32. Хавезов И., Цалев Д. Атомно-абсорбционный анализ. Ленинград: Химия, 1983. 144 с.
33. *Методические указания по санитарно-микробиологическому исследованию почвы (МУ №1446-76)*. Москва: Минздрав СССР, 1977. 47 с.
34. *Методические указания по гельминтологическому исследованию объектов внешней среды и санитарным мероприятиям по охране от загрязнения яйцами гельминтов и обезвреживанию от них нечистот, почвы, овощей, ягод, предметов обихода (МУ №1440-76)*. Москва: Минздрав СССР, 1976. 39 с.
35. Лурье Ю.Ю., Рыбникова А.М. Химический анализ производственных сточных вод. Изд. 4-е, перераб. и доп. М.: Химия, 1974. 335 с.
36. ДСТУ 7369:2013. Стічні води. Вимоги до стічних вод і їхніх осадів для зрошування та удобрення. Київ: Мінекономрозвитку України, 2013. 9 с.
37. ДСТУ 2730-94. Якість природної води для зрошення. Агрономічні критерії. Київ: Держстандарт України, 1994. 13 с.
38. ВБН 33-5.5-01-97. Організація і ведення еколого-меліоративного моніторингу. Частина 1. Зрошувані землі. Київ: Держводгосп України, 2002. 66 с.
39. *Методика оцінки та прогнозу еколого-меліоративного стану і стійкості земель при зрошенні* // Посібник 2 до ВБН 33-5.5-01-97. Організація і ведення еколого-меліоративного моніторингу. Частина 1. Зрошувані землі. Київ: Держводгосп України, 2002. 148 с.
40. *Функціонування мікробних ценозів ґрунту в умовах антропогенного навантаження* / К.І. Андрюк, Г.О. Іутинська, А.Ф. Антилчук [та ін.]. Київ: Обереги, 2001. 240 с.
41. Фатеев А.І., Пащенко Я.В., Балюк С.А. Фоновий вміст мікроелементів у ґрунтах України / за ред. А.І. Фатеева, Я.В. Пащенко. Харків: ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського», 2003. 117 с.
42. ВНД 33-5.5-06-99. Охорона водних, ґрунтових та рослинних ресурсів від забруднення важкими металами в умовах зрошення. Київ, 1999. 26 с.
43. Kloke A. 1980: Richtwerte'80: Orientierungsdaten für tolerierbare Gesamtgehalte einiger Elemente in Kulturboden / Mitteilungen des YDLUFA. Н. 1-3. Р. 9.
44. Tietjen C. The admissible rate of waste (residue) application to land with regard to high efficiency in crop production and soil pollution abatement. In: Land as a Waste Management Alternative – Publishers Inc. 1976
45. Саєт Ю.Є., Ревич Б.А., Янин Е.П. Геохімія оточуючої середовища. Москва: Недра, 1990. 335 с.
46. Дерев'яко Р.Г. Агроґрунтова зона. Географічна енциклопедія України в 3-х томах. Київ: Українська радянська енциклопедія імені М.П. Бажана, 1989. Т.1 (А–Ж). С. 12.
47. Львова Е.В. Равнинний Крым. Геологическое строение, гидрогеология, охрана природы. Киев: Наукова думка, 1978. 188 с.
48. *Гигиенические нормативы 2.1.5.689-98. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования*. М.: Минздрав России, 1998. 90 с.
49. Аниканова Е.М. Влияние орошения щелочными водами разной минерализации на южные черноземы. *Почвоведение*. 1996. №7. Москва: Наука. С. 1-10.

50. Позняк С.П. Орошаемые черноземы юго-запада Украины: монография. Львов: ВНТЛ, 1997. 240 с.
51. *Зрошувані землі Дунай-Дністровської зрошувальної системи: еволюція, екологія, моніторинг, охорона, родючість* / За ред. С.А. Балюка. Харків: ПФ «Антіква», 2001. 260 с.
52. *Наукові основи охорони та раціонального використання зрошуваних земель України* / За ред. С.А. Балюка, М.І. Ромащенко, В.А. Сташука. Київ: Аграрна наука, 2009. С. 91–210.
53. *Землі Інагулецької зрошувальної системи: стан та ефективне використання* / За наук. ред. В.О. Ушкаренка, Р.А. Вожегової: колективна монографія. Київ: Аграрна наука, 2010. 352 с. .
54. *Многолетний опыт использования сточных вод для орошения черноземов Украины* / Ю.Г. Бескровный, В.И. Бойко, И.Н. Гоголев, Б.М. Турус. *Вестник с.-х. науки*. Москва, 1987. №5. С. 58-63.
55. Бескровный Ю.Г., Бойко В.И. Влияние длительного орошения городскими сточными водами на свойства черноземов обыкновенных УССР. // Использование животноводческих стоков и сточных вод в орошаемом земледелии: сб. науч. тр. Москва: ВНИИГиМ, 1989. С. 23-29.
56. Ромащенко М.І., Балюк С.А. Зрошення земель в Україні. Стан та шляхи поліпшення. Київ: Видавництво «Світ», 2000. 114 с.
57. Христенко С.І., Найдьонова О.Є. Параметри мікробіологічних показників зрошуваних ґрунтів. // *Зрошувані землі Дунай-Дністровської зрошувальної системи: еволюція, екологія, моніторинг, охорона, родючість* / За ред. С.А. Балюка. Харків: ПФ «Антіква», 2001. 260 с.
58. Балюк С.А., Найдьонова О.Є. Вплив зрошення на стан і функціонування мікробних ценозів ґрунтів // *Наукові основи охорони та раціонального використання зрошуваних земель України* / за ред. С.А. Балюка, М.І. Ромащенко, В.А. Сташука. Київ: Аграрна наука, 2009. С. 165–187.
59. Найдьонова О.Є. Біологічна деградація чорноземів при зрошенні. Автореф. дис. на здобуття наук. ст. канд. біол. наук. Харків, 2010. 21 с.
60. *Химия тяжелых металлов, мышьяка и молибдена в почвах* / Под ред. Н.Г. Зырина и Л.К. Садовниковой. Москва: Изд-во Моск. ун-та, 1985. 208 с.
61. Чуджиян Х., Карвета С., Фацек З. Тяжелые металлы в почвах и растениях // *Экологическая кооперация*. Братислава, 1988. Вып. 1. С. 5-24.
62. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение. Новосибирск: Наука, 1991. 151 с.
63. Григорян К.В. Влияние загрязненных промышленными отходами оросительных вод на содержание тяжелых металлов в почве и в некоторых сельскохозяйственных культурах. *Почвоведение*. 1989. №9. Москва: Наука, С. 97-105
64. Захарова М.А. Агрогеохімічні закономірності міграції та акумуляції важких металів у зрошуваних ґрунтах. Автореф. дис. на здобуття наук. ст. канд. с.-г. наук. Харків, 2003. 20 с.
65. *Гигиенические основы почвенной очистки сточных вод* / Е.И. Гончарук, Г.И. Сидоренко, Т.Н. Хруслова, В.И. Циприян. Москва: Медицина, 1976. 184 с.
66. Матвеев П.Н. Гигиенические основы развития земледельческих полей орошения. Москва: Медицина, 1976. 213 с.

UDC 631.67:621.3: 631.445.4. «71»(477.7)

## Evolution of the chernozem southern during long-term irrigation with biologically treated urban wastewater under conditions of the Steppe Crimea

V.Ye. Dyshliuk

NSC «Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky», Kharkiv, Ukraine  
E-mail: dyshlyuk\_ve@ukr.net

The article gives a comprehensive assessment of the impact of prolonged irrigation of biologically treated waste water of the city of Evpatoria on the territory of the Autonomous Republic of Crimea (Saky district) on changes in the orientation and intensity of the process of soil formation and transformation of the characteristics of chernozem southern in the conditions of the steppe Crimea. The study was conducted during the period of intensive irrigation (1985-1992). The peculiarities of the agro-ecological state of the long irrigated chernozem southern are analyzed, and a set of measures is proposed to minimize the risk of soil degradation. Methods of research - "keys-analogues", comparative-geographical, comparative-analytical and statistical. The results of complex analytical studies of chemical, physico-chemical, microbiological, geochemical and sanitary-hygienic characteristics of irrigated and no irrigated soils, as well as the quality of irrigation water are presented. It has been found that prolonged irrigation with waste water with high mineralization and unfavorable ionic structure caused the signs of irrigation degradation of soil (tendency to poor salinization and alkalinization). At the same time, it was found that the chernozem southern was irrigated for a long time with waste water, due to its high genetic buffer capacity (CaCO<sub>3</sub> content in the 0-100 cm layer varies within 10-24 %) and the presence of active concentrations of calcium cations in the soil solution (inhibiting the process of soil alkalinization), as well as the ability of the soil to self-purification (release from various contaminants), is characterized by close to the optimal agro-ecological state and evolves in a kind of humus-accumulating type of soil formation. The list of measures recommended at the end of the experiment to minimize soil degradation: technical and technological to improve the quality of irrigation waste water, use them for irrigation in limited areas with good drainage; agricultural land reclamation techniques; organizational - suspension of irrigation for several years (transition to new areas) for natural improvement of the soil until restoration of its properties.

**Keywords:** agro-ecological condition of soil; chernozem southern; irrigation; preventive measures; soil characteristics; soil formation; urban waste water.

*Citing:* Dyshliuk V.Ye. 2019. Evolution of the chernozem southern during long-term irrigation with biologically treated urban wastewater under conditions of the Steppe Crimea. *Agrochemistry and Soil Science*. Collected papers. No. 88. Kharkiv: NSC ISSAR, P. 106-119. (Ukr.). DOI: <https://doi.org/10.31073/acss88-15>.