



Агроекологія, радіологія, меліорація

УДК 631.4
© 2025

АГРОГЕННА ТРАНСФОРМАЦІЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗРОШУВАНИХ ЧОРНОЗЕМІВ І ЗАХОДИ ЩОДО ЗБЕРЕЖЕННЯ ЇХ РОДУЧОСТІ

Л.І. Воротинцева¹, Р.В. Панарін²

¹доктор сільськогосподарських наук
²аспірант

Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства
та агрохімії імені О.Н. Соколовського»
вул. Михайля Семенка, 4, м. Харків, 61024, Україна
e-mail: ¹vorotyntseva_ludmila@ukr.net, ²panarinrv1453@gmail.com
ORCID: ¹0000-0003-0643-8823, ²0000-0003-4266-721X

Надійшла 01.04.2025

Мета. Дослідити спрямованість агрогенної трансформації властивостей чорноземів (типового і звичайного) за тривалого зрошування придатною і непридатною за агрономічними й екологічними критеріями водою та розробити заходи з підвищення їх родючості. **Методи.** Польовий — для проведення моніторингових досліджень, дистанційного зондування Землі — для оцінювання впливу воєнних дій на стан ґрунтів обох типів, лабораторно-аналітичний — для визначення хімічного складу води та показників властивостей ґрунтів, аналізу — для визначення спрямованості агрогенної трансформації властивостей ґрунтів. **Результати.** Тривале зрошування сприяло активізації сольових процесів і змінам якісного складу чорноземів (типовою і звичайного), що проявлялись у зменшенні значення Са/Na з 5,43–4,14 : 1 до 2,50–1,42 : 1 (зрошування придатною водою) та з 5,20–2,1 : 1 до 0,53–0,64 : 1 (зрошування непридатною водою). Чорнозем типовий овочево-кормової сівозміни за контрольованого зрошування придатною водою та застосування агро меліоративних заходів розвивався переважно за квазірівноважним вектором. Відзначалося поступове підвищення вмісту гумусу в ґрунті, збільшення С_{гк}/С_{фк} (співвідношення кількості гумінових кислот до фульвокислот у гумусі) до 3,58–3,75 (шар ґрунту — 0–30 см), підвищення вмісту агрономічно цінних агрегатів до 83,0–87,9%, особливо у варіантах з органічною, органо-мінеральною, біологічною системами. За тривалого зрошування непридатною

водою істотними були осолонцювання, забруднення важкими металами. В чорноземі звичайному вміст рухомих сполук свинцю, кадмію, нікелю, хрому перевищував фон у 4–10 разів. Висновки. Визначено ступінь агрогенної трансформації та вектори розвитку сольових процесів, склад обмінних катіонів, уміст гумусу, структурно-агрегатний склад, щільність складення, забруднення ґрунтів обох типів за тривалого зрошування. Виконано оцінювання пошкодження та ідентифікацію проявів механічної й фізичної деградації чорнозему звичайного за бойових дій. Викладено пріоритетні заходи щодо збереження й підвищення родючості зрошуваних чорноземів.

Ключові слова: чорнозем, зрошування, агрогенна трансформація, властивості ґрунту, зрошувальна вода, родючість.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202507-08>

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В умовах посушливого клімату зрошування є одним із найдієвіших заходів щодо підвищення вологозабезпеченості сільськогосподарських культур, зниження ризиків залежності від погодно-кліматичних умов, сталого розвитку кліматично орієнтованого аграрного сектору економіки та забезпечення продовольчої безпеки країни. Отже, питання розвитку зрошування є актуальними як у світі [1–3], так і в Україні [4–6], і перспективи розвитку цієї галузі зростатимуть надалі. Схвалена Розпорядженням Кабінету Міністрів України «Стратегія зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 року» [7] спрямована саме на визначення стратегічних напрямів державної політики щодо зрошування і дренажу, забезпечення сталого екологічно збалансованого розвитку землеробства в Україні, зокрема відновлення та збільшення площ зрошуваних земель, дренажних систем, збереження і відтворення родючості ґрунтів. Збалансоване управління зрошуваними ґрунтами має розглядатись як одна зі складових досягнення цілей «Стратегії продовольчої безпеки України на період до 2027 року», схваленої розпорядженням КМУ від 23.07.2024 р. № 684-р [8].

Водночас зрошування є одним з антропогенних чинників ґрунтоутворення, що впливає на сольовий, біологічний, тепловий, водний режим ґрунту, змінюючи його фізичні, фізико-хімічні, біологічні та агрономічні характеристики [9–14]. Отже, на тлі зростаючої уразливості зрошуваних чорноземів до антропогенного втручання вкрай важливо вивчати спрямованість та вектори агрогенної трансформації основних властивостей і якість цих ґрунтів за тривалого впливу іригації задля збалансованого управління ґрунтовими ресурсами, забезпечення продовольчої безпеки в умовах посушливості клімату й дефіциту запасів прісної води [15–18]. Моніторинг, діагностика та прогнозування властивостей зрошуваних ґрунтів є основою комплексного оцінювання їх стану, родючості, якості, здоров'я і рівня надання екосистемних послуг. Сьогодні в міжнародній та національній державній політиці в пріоритеті — водна безпека, екологічно збалансоване, раціональне використання й управління ґрунтовими ресурсами, зокрема меліорованими землями. Для збереження особливо цінних чорноземних ґрунтів та відтворення їх родючості потрібно забезпечити виконання пріоритетних завдань зі сталого

управління ґрунтовими ресурсами [18]. Концептуальною основою такого управління є системний підхід, сутність якого полягає в дослідженні об'єкта як цілісної сукупності взаємопов'язаних компонентів (елементів), їх стану та взаємозв'язків із суміжними системами.

Унаслідок бойових дій в Україні ситуація на зрошуваних землях ускладнилася, що пов'язано з окупацією частини територій, руйнуванням і знищенням меліоративних систем, погіршенням екологічної ситуації, забрудненням водних джерел, розвитком різних видів мілітарної деградації ґрунтів, що знижує їх якість та потребує застосування заходів щодо відновлення їх стану й здоров'я [19, 20]. Чорноземи — бренд нашої країни, якими на 76% представлено ґрунтовий покрив зони зрошування. Вони зазнають руйнівного впливу та втрачають свою родючість, що потребує розроблення і застосування заходів щодо усунення негативних екологічних наслідків.

Отже, для розроблення стратегій та концептуальних основ екологічно безпечного розвитку зрошування, програм прискореного відновлення меліоративних систем і розширення площ іригації з метою адаптації до змін клімату слід обов'язково враховувати властивості ґрунтів, напрями їх змін за умови довгострокового впливу зрошування в разі використання різної за якістю поливної води як складників системи сталого управління зрошуваними землями.

Мета досліджень — вивчити спрямованість агрогенної трансформації властивостей зрошуваних чорноземів (типового і звичайного) за тривалого зрошування, розробити заходи щодо підвищення їх родючості.

Матеріали та методи досліджень. Використовували методи моніторингових і польових досліджень, лабораторно-аналітичний, аналізу та узагальнення експериментальних даних. Об'єктами досліджень були чорнозем типовий важкосуглинковий Лівобережного

Лісостепу (Мереф'янський стаціонар Харківського р-ну Харківської обл.) та чорнозем звичайний легкоглинистий (Мар'їнський стаціонар Волноваського р-ну Донецької обл.), які тривало використовуються в сільськогосподарському виробництві та зрошуються, відповідно, прісною (з річки Мжа) й мінералізованою водою (Курахівського водосховища). За іригаційним оцінюванням, воду річки Мжа класифікують як придатну для зрошування за агрономічними (згідно з ДСТУ 2730:2015) та екологічними критеріями (згідно з ДСТУ 7286:2012). Упродовж періоду досліджень мінералізація води була в межах від 0,60 до 0,72 г/дм³. Поливну воду з Курахівського водосховища, згідно з ДСТУ 2730:2015, оцінюють як непридатну для зрошування за агрономічними критеріями (через небезпеку засолення й осолонцювання ґрунту) та обмежено придатну (через небезпеку підлучення ґрунту). За екологічними критеріями, вмістом важких металів (згідно з ДСТУ 7286:2012) вона є обмежено придатною, непридатною за вмістом свинцю та кобальту. Мінералізація води з водосховища була в межах від 2,51 до 2,90 г/дм³. Термін іригації — понад 50 років.

У процесі проведення досліджень застосовували метод ключів-аналогів з відбором проб ґрунту зі зрошуваних і незрошуваних ділянок. Вивчали комплексний вплив зрошування на спрямованість ґрунтових процесів та трансформацію властивостей чорноземних ґрунтів за основними діагностичними показниками: сольовим складом водної витяжки, складом обмінних катіонів ґрунтового вбирного комплексу (ґВК), вмістом гумусу, структурно-агрегатним складом, щільністю складення ґрунту, умістом важких металів. Для визначення спрямованості ґрунтових процесів й оцінювання властивостей тривало зрошуваних чорноземів використано результати власних експериментальних

досліджень та фондові матеріали лабораторії родючості зрошуваних і солонцевих ґрунтів щодо визначення багаточасових трендів показників досліджуваних ґрунтів.

У пробах ґрунту визначали сольовий склад методом водної витяжки (ДСТУ 7943:2015, ДСТУ 7945:2015, ДСТУ 7908:2015, ДСТУ 7909:2015), уміст обмінних катіонів — методом Шолленбергера (ДСТУ 7861:2015), загального гумусу — методом Тюріна (ДСТУ 4289:2004), щільність складення ґрунту на суху масу — методом ріжучого кільця за Н.А. Качинським (ДСТУ ISO 11272:2001), рухомих сполук важких металів в ацетатно-амонійній витяжці з рН 4,8 — методом атомно-абсорбційної спектрометрії (ДСТУ 4770.1:2007, ДСТУ 4770.9:2007), структурно-агрегатний склад ґрунту — ситовим методом у модифікації Н.І. Савінова (ДСТУ 4744:2007).

Сьогодні в умовах воєнних дій зрошувани ґрунти зазнають потужного впливу та масштабних руйнувань, зокрема й Мар'їнський стаціонар (об'єкт № 2). Для оцінювання ступеню та масштабів пошкодження ґрунтового покриву застосовували дистанційні методи, оскільки проведення польових досліджень є неможливим через ведення активних бойових дій. Було обрано ділянку площею 326 га, на якій розміщується стаціонар. Використовували знімки оптичних супутників Sentinel-2 з просторовою роздільною здатністю 10 м на піксель зображення. Вони надали можливість провести попереднє оцінювання пошкоджень ґрунтів унаслідок бойових дій і фіксувати часові зміни стану ґрунтового покриву. Періодичність оновлення знімків становила 1 раз на 5 днів. Для дослідження використовували оптичні канали супутників у видимому (Red, Green, Blue) та інфрачервоному (NIR — ближній інфрачервоний, SWIR — короткохвильовий інфрачервоний) спектрах випромінювання. Для відстеження змін стану поверхні

ґрунтів і рослинності на досліджуваній території застосовували різночасові знімки за сезонами року.

Результати досліджень. Зрошувальна вода (залежно від її якості й хімічного складу) є вагомим чинником впливу на функціонування, еволюцію і стан ґрунтової системи, спрямованість ґрунтових процесів та властивості ґрунтів. В аграрному секторі через нестачу прісних природних вод для зрошування використовують мінералізовані води, які переважно є обмежено придатними та не придатними для зрошування за агрономічними й екологічними критеріями. Тривале застосування таких вод створює загрози для ґрунту та є причиною розвитку деградаційних процесів, які знижують його якість і погіршують еколого-агромеліоративний стан.

Об'єкти досліджень різняться за ґрунтово-меліоративними умовами та рівнем навантаження, що дало змогу порівняти ступінь і характер прояву агрогенної трансформації основних властивостей досліджуваних чорноземів за різних сценаріїв. Зрошування активізує швидкоплинний процес засолення та сезонні зміни сольового складу ґрунту, які визначаються хімічним складом поливної води. Чорнозем типовий, який тривало зрошувався придатною водою, за вмістом токсичних солей характеризувався як незасолений (0,03–0,04%). Водночас уміст водорозчинних солей у метровому шарі ґрунту становив 0,04–0,06% з тенденцією вилуговування солей під дією води вниз по профілю. Порівняно з незрошуваним ґрунтом не відбулося достовірних змін загального вмісту солей. Однак зрошування спричинило трансформацію якісного складу солей (рис. 1), що проявилось формуванням сольового профілю чорнозему типового.

Нашими дослідженнями встановлено, що за тривалого зрошування співвідношення водорозчинних Ca і Na в зоні активного зволоження (0–50 см)

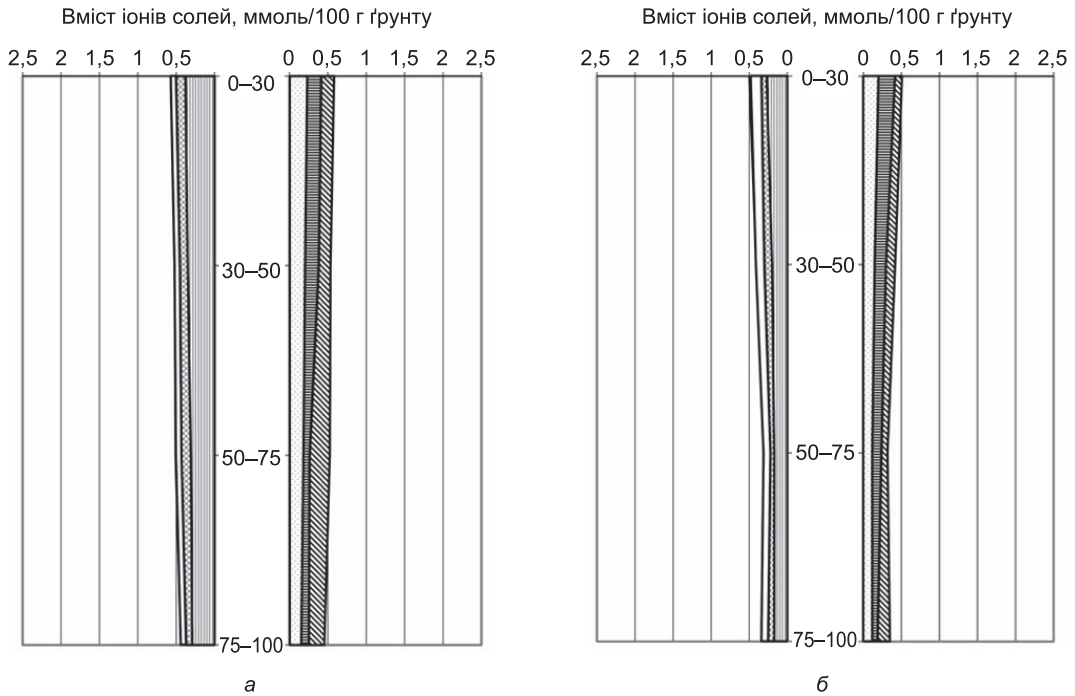


Рис. 1. Сольові профілі чорнозему типового: а) без зрошування; б) зі зрошуванням:
 ▨ — Ca^{2+} , ▩ — Mg^{2+} , □ — Na^+ , ■ — K^+ , ▤ — HCO_3^- , ▨ — Cl^- , ▩ — SO_4^{2-} — для рис. 1, 2

зменшилося з 5,43–4,14 : 1 (незрошуваний ґрунт) до 2,50–1,42 : 1. Водночас сольовий склад ґрунту змінювався та мав сезонний характер залежно від поливного чи неполивного періоду. Аналіз прогнозних трендів умісту водорозчинних і токсичних солей свідчить, що за подальшого зрошування придатною водою істотних змін їх умісту не станеться [14]. За застосування ґрунтоохоронних агрономічних практик відбуватиметься покращення властивостей ґрунту.

Тривале зрошування чорнозему звичайного не придатною за агрономічними критеріями водою сприяло здебільшого активізації сольових процесів та істотним змінам якісного складу водорозчинних солей порівняно з попереднім об'єктом (рис. 2). Аналіз трендів досліджень, проведених у Мар'їнському стаціонарі, свідчить, що внаслідок систематичного зрошування ґрунту овочевої сівозміни загальний уміст водорозчинних солей

зріс до 0,15–0,16%, а токсичних — до 0,10–0,11%, що характеризувало ґрунт як засолений [21]. Співвідношення водорозчинних Ca та Na за профілем (0–100 см) ґрунту звуилося з 5,2–2,61 : 1 до 0,42–0,71 : 1, що підтверджує розвиток процесу іригаційного осолонцювання.

За зменшення зрошувальних норм і застосування ресурсощадних способів поливу змінюється характер прояву сольових процесів. Аналіз наших результатів досліджень у цьому стаціонарі (2021 р.) підтверджує, що за подальшого зрошування чорнозему звичайного (шари ґрунту — 0–25 і 25–50 см) краплинним способом загальний уміст солей становив 0,11–0,13%, токсичних солей — 0,09–0,10%, а співвідношення Ca та Na — 0,53–0,64 : 1. За ступенем засолення ґрунт досяг верхньої межі категорії «незасолений» і нижньої межі «слабозасолений». Наш прогноз

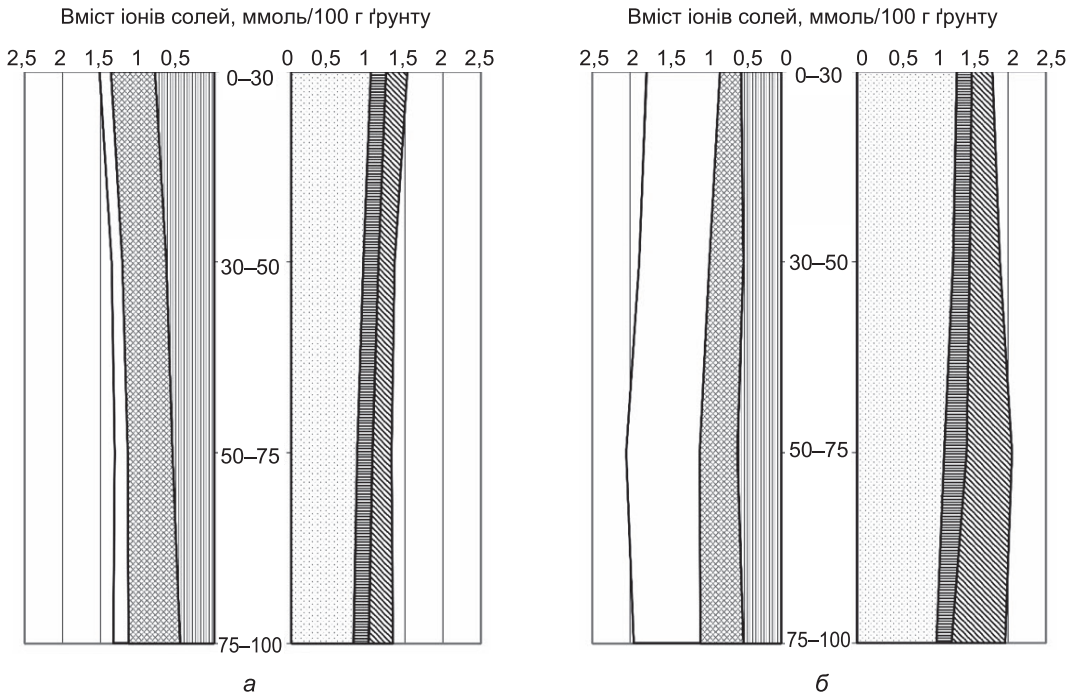


Рис. 2. Сольові профілі чорнозему звичайного: а) без зрошування; б) зі зрошуванням

доводить, що за подальшого зрошування непридатною водою встановлені закономірності змін та темпи розвитку засолення зберігатимуться й можуть посилюватися. Нині ведення сільськогосподарського виробництва є неможливим через бойові дії, окупацію частини територій.

Більш істотними є агрогенні зміни складу ґрунтового вбирного комплексу, особливо за зрошування непридатною водою, що спричиняє розвиток деградаційного процесу — осолонцювання. Інтенсивність цього процесу визначається катіонним складом зрошувальної води та ступенем гідроморфізму. Дослідженнями в Мереф'янському стаціонарі за зрошування придатною водою встановлено, що впродовж 50-річного періоду відбулося поступове зменшення вмісту обмінного кальцію. Відносний уміст його знизився в орному шарі до 72–74%, а обмінного натрію — підвищився до 1,6–1,8% суми

обмінних катіонів. Нашими подальшими дослідженнями (2022–2024 рр.) встановлено, що за зниження інтенсивності зрошування, насичення сівозміни багаторічними травами, застосування агроеліоративних заходів відбувається поступове покращення властивостей чорнозему типового. Так, у досліджуваних варіантах із застосуванням агроеліоративних заходів відзначали тенденцію до поступового підвищення відносного вмісту обмінного кальцію до 78–80% суми обмінних катіонів, а щодо вмісту обмінного натрію спостерігалася тенденція до зниження — до 1,3–1,5%. За вмістом солонцюючих катіонів чорнозем типовий характеризувався як несолонцюватий.

У чорноземі звичайному в Мар'їнському стаціонарі за тривалого зрошування мінералізованою водою процеси трансформації ґрунтового вбирного комплексу були більш істотними. За інтенсивного використання

ґрунту в овочевій сівозміні впродовж 20 років він набув ознак середнього ступеня солонцюватості (7,5% суми увібраних катіонів (Na + K) [21]. На тлі несистематичного зрошування та зниження поливних норм відзначали зниження вмісту солонцюючих катіонів у ґВК. За результатами проведених нами досліджень у цьому стаціонарі встановлено, що за подальшого зрошування водою, непридатною через небезпеку осолонцювання ґрунту, чорнозем типовий розвивався за деградаційним вектором: ступінь солонцюватості зберігався на рівні слабого, а вміст обмінних Na + K становив 4,2–4,8% суми обмінних катіонів. Отже, для відновлення родючості ґрунту необхідно застосовувати комплексні синергічні агроеліоративні заходи, спрямовані на підвищення вмісту обмінного кальцію в ґВК.

Важливим показником родючості ґрунту є гумусовий стан. Такі потужні чинники, як сівозміна, система удобрення і зрошування, впливають на вміст органічної речовини, баланс гумусу. В Мерешанському стаціонарі насичення овочевої сівозміни багаторічними травами та трансформація її в овочево-кормову сприяло припиненню розвитку деградаційного процесу дегуміфікації й поступовому його підвищенню у варіантах із застосуванням різних систем удобрення [22]. В незрошуваному ґрунті (шар ґрунту — 0–30 см) за застосування системи удобрення вміст гумусу був вищим порівняно з тривалого зрошуваним контролем у досліді (на 5–6%). За зрошування завдяки покращенню водного режиму активізуються мікробіологічні процеси, як наслідок — посилюються процеси мінералізації. У варіантах із сидеральною, орґано-мінеральною, мінеральною та біологічною системами удобрення встановлено достовірно підвищення вмісту гумусу порівняно з контролем і збільшення співвідношення С_{гк}/С_{фк} до 3,58–3,75 (шар ґрунту — 0–30 см) завдяки підвищенню

надходження свіжої органічної речовини, що сприяло відновленню родючості ґрунту.

У Мар'їнському стаціонарі із застосуванням органічної та мінеральної систем удобрення, вирощуванням багаторічних трав за контрольованого зрошування мінералізованою водою істотних відмінностей від варіанту без зрошування за вмістом гумусу не встановлено. Отже, на вміст гумусу в досліджуваних ґрунтах впливали сівозміна з насиченням багаторічними травами, система удобрення із застосуванням органічних, орґано-мінеральних, сидеральних добрив тощо.

Зрошування впливає на агрофізичний стан чорноземних ґрунтів, а ймовірні зміни проявляються у знеструктуренні орного шару, зростанні брилистості, зниженні вмісту агрономічно цінних агрегатів, ущільненні профілю, зниженні водопроникності. Структурно-агрегатний склад ґрунту є діагностичним показником інтенсивності його використання, рівня механічного навантаження та застосування агроеліоративних заходів. Нашими дослідженнями встановлено (таблиця), що за тривалого зрошування прісною водою (контроль, без добрив) у чорноземі типовому існує тенденція до зменшення вмісту агрономічно цінних макроагрегатів розміром 0,25–10,0 мм та збільшення вмісту брилистої фракції. Вміст макроагрегатів у незрошуваному ґрунті (за глибинами 0–15, 15–25, 30–40 см) становив 82,5–84,4%, а в зрошуваному — 80,4–82,4%. За зрошування вміст брилистої фракції підвищився до 12,4–15,4%, а в незрошуваному ґрунті він становив 10,2–10,5%. Коефіцієнт структурності був, відповідно, на рівнях 4,1–4,7 та 4,7–5,4. Застосування за зрошування різних систем удобрення та насичення сівозміни багаторічними травами сприяли підвищенню вмісту агрономічно цінних агрегатів до 83,0–89,4%, особливо

у варіантах з органічною, органо-мінеральною та біологічною системами удобрення. Значення коефіцієнта структурності (4,9–8,4) найвищими були у варіантах з органічною системою удобрення, що свідчить про кращу структуру ґрунту. За вмістом агрономічно цінних агрегатів структурний стан чорнозему типового в Мереш'янському стаціонарі оцінювався як дуже хороший.

Під час зрошування непридатною за агрономічними критеріями водою зміни стосовно вмісту агрономічно цінних агрегатів є більш істотними. Так, у шарі ґрунту 0–15 см він становив 78,5%, а глибше (15–25, 30–40 см) — 79,8–80,0%. Значення коефіцієнта структурності були на рівні 3,7–4,0. За вмістом агрономічно цінних агрегатів структурний стан зрошеного чорнозему звичайного в Мар'їнському стаціонарі оцінювався як хороший, а незрошеного — як дуже хороший.

Одним із важливих показників, який має агрономічне значення та впливає

на властивості ґрунту, є щільність його складення. В умовах зрошування чорнозему типового прісною водою відзначали підвищення цього показника порівняно з незрошуваним аналогом та сезонні коливання (від весни до осені). Так, у зрошеному чорноземі типовому в контролі щільність складення на кінець поливного періоду становила 1,25–1,32 г/см³ для орного шару й 1,35–1,40 г/см³ для підорного. На тлі застосування різних систем удобрення відзначалася тенденція до зменшення цього показника. За тривалого зрошування непридатною водою внаслідок розвитку процесу осолонцювання (Мар'їнський стаціонар) встановлено достовірне підвищення щільності складення орного (до 1,32–1,37 г/см³) і підорного шарів (до 1,40–1,43 г/см³) ґрунту.

Зрошування за використання обмежено придатної чи непридатної за екологічними критеріями поливної води спричиняє розвиток процесу забруднення ґрунту важкими металами,

Структурно-агрегатний склад чорноземів за зрошування

Варіант	Глибина, см	Вміст агрономічно цінних агрегатів (0,25–10 мм), %	Коефіцієнт структурності	Коефіцієнт водостійкості
<i>Зрошування придатною водою</i>				
Незрошуваний ґрунт	0–15	82,5	4,7	0,62
	15–25	83,8	5,1	0,63
	30–40	84,4	5,4	0,56
Контроль (зрошування, без добрив)	0–15	80,4	4,1	0,58
	15–25	82,4	4,7	0,60
	30–40	81,6	4,4	0,55
Зрошування + гній, 14 т/га сівозміної площі, + NPK	0–15	83,0	4,9	0,63
	15–25	89,4	8,4	0,72
	30–40	87,9	7,3	0,52
<i>Зрошування непридатною водою</i>				
Незрошуваний ґрунт	0–15	82,3	4,7	0,61
	15–25	82,9	4,8	0,60
	30–40	83,1	4,9	0,59
Зрошування непридатною водою	0–15	78,5	3,7	0,56
	15–25	79,8	4,0	0,56
	30–40	80,0	4,0	0,58

який посилюється зі збільшенням терміну іригації. Нашими дослідженнями в Мар'їнському стаціонарі встановлено перевищення фонових значень свинцю, кадмію, нікелю, хрому в ґрунті в 4–10 разів, що створює загрозу надходження токсичних речовин в організм людини через накопичення їх рослинами. Нині внаслідок бойових дій відбувається забруднення водних джерел, ґрунтового покриву, що спричиняє мілітарну деградацію ґрунтів і загострює екологічні проблеми.

Для оцінювання ступеня та масштабів пошкодження чорнозему звичайного через бойові дії у стаціонарі було проведено дослідження із застосуванням дистанційних методів: використано щорічні знімки з космосу станом на березень, липень і листопад. Для порівняння та виявлення змін було обрано знімки за аналогічний період 2021 р. (рис. 3). Аналіз різночасових знімків свідчить, що за час ведення бойових дій на досліджуваній території з'явилися такі ідентифікатори мілітарного впливу: вирви від снарядів, ракет, бомб; ущільнення від проходження військової техніки (шлях пересування); фортифікаційні споруди (окопи, бліндажі). На підставі знімків з космосу ми ідентифікували поширення механічної та фізичної деградації ґрунтового покриву (рис. 4). Механічна деградація проявляється

в деформації ґрунтового покриву під час руху техніки, будівництва наземних і підземних захисних споруд, утворення вирв, кратерів через вибухи боєприпасів, авіабомб. Усе це завдає шкоди, особливо верхньому родючому шару чорнозему звичайного, порушує природну цілісність і будову його профілю. Фізична деградація проявляється в ущільненні ґрунту внаслідок руху техніки, руйнуванні його часточок, порушенні структури ґрунту та її якості, що впливає на стан і родючість ґрунту.

З використанням супутникових знімків підраховано кількість вирв (кратерів) від вибухів, довжину ущільнених ділянок, протитанкових ровів та окопів на досліджуваній території. У березні 2024 р. на поверхні ділянки зафіксовано 4,33 км лінійних об'єктів (ущільнення від проходження техніки й фортифікацій), 0,18 га пошкоджено вирвами. На кінець червня на території налічувалося 5 км лінійних об'єктів, а на кінець жовтня — 9,8 км. Наприкінці 2024 р. — початку 2025 р. відзначали істотне збільшення щільності обстрілів і руйнування поверхні ґрунту вирвами. Отримана за знінками з космосу інформація є важливим кроком в оцінюванні збитків, завданих чорноземним ґрунтам, та розробленні заходів щодо відновлення ґрунтового покриву, що зазнав мілітарної деградації.

Знімок Sentinel-2 на 12.03.2021 р.



Рис. 3. Стан ґрунтового покриву території до початку воєнних дій

Знімок Sentinel-2 на 01.02.2025 р.

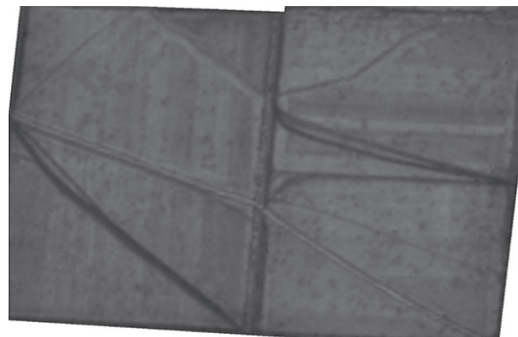


Рис. 4. Прояви механічної та фізичної деградації

Пріоритети щодо збереження та підвищення родючості зрошуваних чорноземів спрямовані на формування умов для забезпечення оптимальних показників їх властивостей і стійких умов функціонування, усунення розвитку деградаційних процесів, відновлення якості ґрунтів та підтримання їх родючості, забезпечення виконання ними екосистемних послуг. Необхідним є застосування комплексу інноваційних синергічних заходів, що ґрунтуються на даних моніторингових досліджень сучасного еколого-агромеліоративного стану зрошуваних земель. За зрошування придатною водою слід застосовувати підтримувальні заходи, а за поливу непридатною водою — відновлювальні. Заходи щодо екологічно збалансованого використання та підвищення родючості зрошуваних ґрунтів як складова системи сталого управління містять: агротехнічні (застосування

ґрунтоохоронних сівозмін із включенням багаторічних трав, системи обробітку ґрунту, еколого-безпечних режимів зрошування) й агромеліоративні прийоми (хімічну меліорацію вод і ґрунтів з використанням кальцієвмісних меліорантів, систему удобрення із застосуванням органічних добрив, сидератів, біологічних препаратів, спрямовану на оптимізацію вмісту органічної речовини, поживних макро- та мікроелементів), детоксикацію забруднених ґрунтів (внесення у ґрунт адсорбентів, застосування фітореMediaції, підбір стійких культур).

В умовах воєнного стану зрошувані чорноземи зазнають потужного впливу та мілітарної деградації, що потребує проведення моніторингових досліджень із залученням різних методів та інструментарію, оцінювання завданих збитків і реалізації програм із прискореного відновлення родючості й здоров'я ґрунтів.

Висновки

У процесі моніторингових досліджень на стаціонарних об'єктах визначено напрями агрогенної трансформації основних властивостей чорнозему типового та звичайного за тривалого зрошування придатною й непридатною водою, що визначаються якістю поливної води, терміном іригації, застосуванням агромеліоративних заходів. Визначено вектори розвитку сольових процесів, зміни складу обмінних катіонів, вмісту гумусу, структурно-агрегатного складу, щільності складення і забруднення ґрунту. На досліджуваних ґрунтах стаціонарні подальше зрошування викликало зміни якісного складу солей і зниження значення Ca/Na з $5,43-4,14 : 1$ до $2,50-1,42 : 1$ за використання придатної води та з $5,20-2,1 : 1$ до $0,53-0,64 : 1$ — непридатної. В зрошуваному придатною водою чорноземі типовому відносний уміст обмінного

кальцію зменшився до 72–74% в орному шарі, а обмінного натрію — підвищився до 1,6–1,8% суми обмінних катіонів. За поливу чорнозему звичайного непридатною водою зміни складу ГВК були більш істотними, також зберігались ознаки слабого ступеня солонцюватості (4,2–4,8% $Na + K$ суми обмінних катіонів). За зрошування придатною водою в чорноземі типовому відзначено тенденцію до зменшення вмісту агрономічно цінних макроагрегатів до 80,4–82,4% (незрошуваного ґрунту — 82,5–84,4%) та підвищення щільності складення ґрунту до $1,25-1,32 \text{ г/см}^3$ (орний шар) й $1,35-1,40 \text{ г/см}^3$ (підорний шар). За зрошування непридатною за екологічними критеріями водою відбулося зменшення вмісту агрономічно цінних агрегатів до 78,5–80,0%, а коефіцієнта структурності — до 3,7–4,0, зростання вмісту рухомих сполук

свинцю, кадмію, нікелю, хрому сталося з перевищенням фону у 4–10 разів.

За застосування ґрунтоохоронних агрономічних практик (різних систем удобрення, багаторічних трав) відзначено позитивний ефект щодо поліпшення властивостей ґрунту: підвищення вмісту агрономічно цінних агрегатів до 83,0–89,4%, особливо у варіантах з органічною, органо-мінеральною та біологічною системами удобрення,

коефіцієнта структурності — до 4,9–8,4, збільшення вмісту гумусу, кількості обмінних катіонів у складі ГВК досліджуваних ґрунтів, зниження щільності складення тощо. Виконано оцінювання пошкодження чорнозему звичайного та ідентифікацію проявів механічної і фізичної його деградації в умовах бойових дій. Запропоновано заходи щодо збереження та підвищення родючості зрошуваних чорноземів.

Vorotyntseva L.¹, Panarin R.²

National Scientific Center «Institute of Soil Science and Agrochemistry named after O.N. Sokolovskiy», 4 M. Semenko Str., Kharkiv, 61024, Ukraine; e-mail: ¹vorotyntseva_ludmila@ukr.net, ²panarinr1453@gmail.com; ORCID: ¹0000-0003-0643-8823, ²0000-0003-4266-721X

Agrogenic transformation of the properties of irrigated chernozems and measures to preserve their fertility

Goal. To study the orientation of agrogenic transformation of the properties of chernozems (typical and ordinary) at prolonged irrigation with water suitable and unsuitable for agronomic and environmental criteria, and to develop measures to increase their fertility. **Methods.** Field — for monitoring studies; remote sensing of the Earth — to assess the impact of hostilities on the state of soils of both types; laboratory analytical — to determine the chemical composition of water and indicators of soil properties; analysis — to determine the direction of agrogenic transformation of soil properties. **Results.** The prolonged irrigation contributed to the activation of salt processes and changes in the qualitative composition of chernozems (typical and ordinary), manifested in reducing the Ca/Na value from 5.43–4.14:1 to 2.50–1.42:1 (irrigation with suitable water) and from 5.20–2.1:1 to 0.53–0.64:1 (irrigation with unsuitable water). The typical chernozem of vegetable and fodder crop rotation, with controlled irrigation

with suitable water and the use of agricultural reclamation measures, developed mainly according to the quasi-equilibrium vector. There was a gradual increase in the content of humus in the soil, an increase in Sha/Sfa (the ratio of the amount of humic acids to fulvic acids in humus) to 3.58–3.75 (soil layer — 0–30 cm), an increase in the content of agronomically valuable aggregates to 83.0–87.9%, especially in versions with organic, organic-mineral, biological systems. For long-term irrigation with unusable water, salting and contamination with heavy metals were significant. In ordinary chernozem, the content of mobile compounds of lead, cadmium, nickel, and chromium exceeded the background by 4–10 times. **Conclusions.** The degree of agrogenic transformation and vectors for the development of salt processes, the composition of exchange cations, the content of humus, the structural and aggregate composition, the density of the composition, and the pollution of soils of both types during prolonged irrigation were determined. Assessment of damage and identification of manifestations of mechanical and physical degradation of ordinary chernozem during combat operations were carried out. Priority measures to preserve and increase the fertility of irrigated chernozem were outlined.

Key words: chernozem (black soil), irrigation, agrogenic transformation, soil properties, irrigation water, fertility.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agroviznyk202507-08>

Бібліографія

1. Franco-Luesma S., Cavero J., Alvaro-Fuentes J. Relevance of the irrigation and soil management system to optimize maize crop production under semiarid Mediterranean conditions. *Agricultural Water Management*.

2025. 307(2):109272. doi: 10.1016/j.agwat.2024.109272

2. Rai A., Sarkar S., Jha P. Deficit irrigation: An optimization strategy for a sustainable agriculture. *Soil-Water, Agriculture, and*

Climate Change. 2022. 113. P. 163–181. doi: 10.1007/978-3-031-12059-6_9

3. Fontanet M., Fernández-García D., Rodrigo G. et al. Combined simulation and optimization framework for irrigation scheduling in agriculture fields. *Irrigation Science*. 2022. 40(3). P. 115–130. doi: 10.1007/s00271-021-00746-y

4. Воротинцева Л.І. Системний підхід до сталого менеджменту зрошуваних ґрунтів в умовах змін клімату. *Агрехімія і ґрунтознавство*. Харків: ННЦ ІГА, 2020. 89. С. 41–50. doi: 10.31073/acss89-05

5. Romashchenko M., Faybishenko B., Onopriienko D. et al. Prospects for restoration of Ukraine's irrigation system. *Water International*. 2025. 50(1). doi: 10.1080/02508060.2025.2472718

6. Ромащенко М., Бугаєнко В., Шатковський А. та ін. Концептуальні засади управління поливами при зрошенні. *Меліорація і водне господарство*. 2022. 1. С. 5–17. doi: 10.31073/mivg202201-328

7. Стратегія зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 року: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 14.08.2019 р. № 688-р. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/card/688-2019-p>

8. Стратегія продовольчої безпеки України на період до 2027 року: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 23.07.2024 р. № 684-р. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/684-2024-%D1%80#Text>

9. Jamila A. Changes in soil properties influenced by irrigation in an Alfisol of Northern Guinea Savanna of Nigeria. *EQA — International Journal of Environmental Quality*. 2022. 49(1). P. 12–18. doi: 10.6092/issn.2281-4485/14533

10. Drewry J., Carrick S., Penny V. et al. Effects of irrigation on soil physical properties in predominantly pastoral farming systems: a review. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 2021. 64(4). P. 483–507. doi: 10.1080/00288233.2020.1742745

11. Chorny S., Isaieva V. Salinisation of chernozem soils by brackish irrigation water in Southern Ukraine. *International Journal of Environmental Studies*. 2023. 80(2):1–12. doi: 10.1080/00207233.2023.2192116

12. Fadl M.E., Sayed Y.A., El-Desoky A.I. et al. Irrigation practices and their effects on soil quality and soil characteristics in arid lands: A comprehensive geomatic analysis. *Soil System*. 2024. 8(2):52. doi: 10.3390/soilsystems8020052

13. Sun H., Zhang X., Liu X. et al. The long-term impact of irrigation on selected soil properties and grain production. *Journal of Soil and Water Conservation*. 2018. 73(3). P. 310–320. doi: 10.2489/jswc.73.3.310

14. Воротинцева Л.І., Панарін Р.В. Агрогенні зміни фізико-хімічних властивостей та здоров'я чорноземних ґрунтів за тривалого впливу іригації. *Вісник аграрної науки*. 2023. 101(12). С. 17–25. doi: 10.31073/agrovisnyk202312-02

15. Gama J., López-Piñeiro A., Loures L. et al. Impact of different irrigation methods on the main chemical characteristics of typical mediterranean fluvisols in Portugal. *Agronomy*. 2023. 13(8):2097. doi: 10.3390/agronomy13082097

16. Zaiz I., Boutoutaou D. Irrigation water impact on soil properties in arid oued-souf region, Southeast Algeria. *GeoScience Engineering*. 2022. 68(1). P. 70–81. doi: 10.35180/gse-2022-0070

17. Sousa M.G., Araujo J.S., Ferreira T.O. et al. Long-term effects of irrigated agriculture on Luvisol pedogenesis in semi-arid region, northeastern Brazil. *Catena*. 2021. 206:105529. doi: 10.1016/j.catena.2021.105529.

18. Baliuk S., Vorotyntseva L., Zakharova M. et al. Changes in the properties of Chernozem soils under management and strategic approaches to restore their fertility. *International Journal of Environmental Studies*. 2023. 81(1). P. 374–381. doi: 10.1080/00207233.2023.2271339

19. Matiash T., Butenko Y., Kruchenik A. et al. Identification of destruction areas of reclamation systems and evaluation of irrigated agriculture by the remote sensing data. *Меліорація і водне господарство*. 2023. 2. С. 27–37. doi: 10.31073/mivg202302-369

20. Балюк С.А., Воротинцева Л.І., Панарін Р.В. Вплив воєнних дій на властивості та якісний стан зрошуваного чорнозему типового. *Вісник аграрної науки*. 2024. 102(10). С. 65–75. doi: 10.31073/agrovisnyk202410-09

21. Воротинцева Л.І. Наукові підходи до сталого управління родючістю гідродefіцитних ґрунтів в умовах змін клімату: моногр. Київ: Аграрна наука, 2023. 352 с. doi: 10.31073/978-966-540-591-7. ISBN 978-966-540-591-7

22. Воротинцева Л.І., Панарін Р.В. Ефективні агрономічні практики оптимізації вмісту та якості гумусу в ґрунті. *Агрехімія і ґрунтознавство*. 2024. 97. С. 43–52. doi: 10.31073/acss97-05