

УДК 631.416.5:631.416.7:631.67.03:631.811.4

Динаміка галогенезу чорнозему звичайного, зрошуваного мінералізованими водами**О. А. Носоненко, М. А. Захарова***Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського»,
Харків, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 03.11.2023 Отримано після доопрацювання 08.12.2023 Затверджено до видання 19.12.2023 Доступно онлайн 28.12.2023	У статті представлено результати дослідження особливостей просторової та часової динаміки властивостей чорнозему звичайного (<i>Calcic Chernozem</i>) під впливом багаторічного зрошення слабомінералізованою водою (водосховище Сасик) та агроміліоративних заходів в умовах стаціонарного польового досліду на території Дунай-Дністровської зрошувальної системи в Одеській області. Досліджуваними факторами були режим зрошення, застосування хімічного меліоранта — фосфогіпсу та внесення органічних і мінеральних добрив під культури семипільної сівозміни. Визначено динаміку якості поливної води (вміст токсичних солей, pH, CO_3^{2-} , Cl^- , частка катіонів $\text{Na}^+ + \text{K}^+$) впродовж 12 років зрошення. У пробах ґрунту визначали: сольовий склад водної витяжки; вміст обмінних катіонів (кальцій, магній, натрій, калій); вміст органічної речовини; гранулометричний склад. Досліджено в польових умовах морфологічну будову ґрунтового профілю з використанням методики еколого-агроміліоративного обстеження зрошуваних земель. За результатами досліджень встановлено, що зрошення протягом 12 років чорнозему звичайного зумовило збільшення вмісту в ґрунтовому розчині водорозчинних токсичних солей, звуження відношення Ca/Na до 10 разів і розвиток процесу іригаційного осолонцювання ґрунту, який є стабільним — чергуються стадії осолонцювання й тимчасової динамічної рівноваги. Ступінь вторинної осолонцюватості при цьому послідовно наростає від слабого до сильного на дванадцятий рік зрошення. Застосування фосфогіпсу і органо-мінеральної системи удобрення обмежує процес іригаційного осолонцювання, стабілізувавши на рівні слабого ступеня, але не зупиняє накопичення у кореневмісному шарі токсичних продуктів катіонного обміну — солей сульфату натрію, що спричиняє слабкий ступінь засолення ґрунту. Очевидно, в умовах сезонно-оборотного режиму солей щорічне внесення фосфогіпсу дозою 3 т/га протягом 10 і більше років є надмірним.
Ключові слова: агроміліоративні заходи; водорозчинні солі у ґрунті; динаміка галогенезу; обмінні катіони; слабомінералізована поливна вода; чорнозем звичайний.	

* E-mail: *zakharova_maryna@ukr.net

Форма цитування: Носоненко О. А., Захарова М. А. Динаміка галогенезу чорнозему звичайного, зрошуваного мінералізованими водами. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. 2023. Вип. 95. Харків: ННЦ «ІГА ім. О.Н. Соколовського». С. 13-23. <https://doi.org/10.31073/acss95-02>

1. Вступ

Проблеми зрошення тісно пов'язані з кількістю, якісним складом і режимом водорозчинних солей у зрошуваних ґрунтах. Водорозчинні солі не тільки безпосередньо впливають на фізіологічний стан рослин і якість рослинної продукції [1, 2, 3], але й практично на всі властивості й режими ґрунтів.

Багатьма дослідниками встановлено, що зрошення прісними (до 1 г/дм³ сухого залишку) водами ґрунтів ділянок із заляганням підґрунтових вод глибше 10 м спричиняє розсолоння цих ґрунтів разом з материнськими породами [4, 5]. Існують також відомості про розсолоння ґрунту за глибини підґрунтових вод 1–3 м, але за умови їх низької мінералізації [6].

Стабільне засолення чорноземних ґрунтів, у разі їх зрошення як прісними, так і мінералізованими водами, відмічене за умови підйому мінералізованих підґрунтових вод, що спричиняє капілярне підтягування солей до ґрунтової товщі [7, 8]. Незначне соленакопичення може відбуватися внаслідок тривалого зрошення чорноземів водами з мінералізацією 1,5–3,0 г/дм³ на глибинах 60–150 см за сезонно-зворотного сольового режиму [8]. Ряд авторів констатують, що сезонно-зворотний тип сольового режиму розвивається одночасно зі зменшенням кількості солей у зрошуваних чорноземах. У березні–квітні найсильніше знесолена верхня частина профілю цих ґрунтів до глибини 40–50 см у межах терасової рівнини та 70–80 см на вододільному плато. У серпні–жовтні спостерігається збільшення вмісту водорозчинних солей [9, 10].

Явища солеобміну в зрошуваних чорноземах тісно пов'язані зі станом вбирного комплексу та можливістю іригаційного осолонцювання цих ґрунтів. Факти осолонцювання чорноземів зафіксовано як за їх зрошення мінералізованими [11, 12, 13], так і прісними водами [14]. При цьому головну роль відіграє не абсолютна кількість катіонів Na^+ у

зрошувальній воді, а співвідношення $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^{+}$ та почергова зміна засолення ґрунту його розсолонням [4, 11, 15, 16].

Щодо змін стану вбирного комплексу чорноземів півдня України під впливом зрошення мінералізованими водами відзначаються зниження ємності катіонного обміну [10], зростання вмісту обмінного магнію та натрію і, як наслідок, розвиток процесу осолонцювання [10, 17, 18]. Процес осолонцювання полягає в заміщенні обмінного кальцію у ґрунтовому вбирному комплексі (ГВК) на одновалентні катіони, передовсім натрій, що надає ґрунтовим колоїдам здатності до пептизації й зумовлює, таким чином, істотні зміни низки агрономічно значущих властивостей ґрунту (погіршення стану макро- та мікроструктури, збільшення брилистості, твердості, кіркоутворення, липкості, зменшення фільтраційної здатності, обмеження доступності макро- та мікроелементів живлення для рослин, фульватизації та підвищення рухомості органічної речовини, пригнічення корисної мікрофлори тощо) у несприятливому для культурних рослин та здійснення агротехнологічних процесів напрямі [18].

У теперішній час вітчизняні та закордонні вчені, що досліджують проблеми галогенезу зрошуваних ґрунтів, приділяють увагу, зокрема, таким питанням:

- використання технологій збережувального землеробства (SWC — soil and water conservation), зокрема, заощадження прісної води за рахунок використання мінералізованої для отримання високих врожаїв озимої пшениці [19, 20];
- вплив різноманітних добрив і меліорантів (зокрема, жому та фільтраційного осаду [21], біовугілля [22]) на хімічний склад ґрунту і рослин, урожайність сільськогосподарських культур (озимої пшениці) і родючість ґрунтів;
- вплив удосконалення обробітку ґрунту на його властивості [23] та врожайність зерна в сівозміні озима пшениця–кукурудза [24];
- вплив якості зрошувальної води на накопичення важких металів і мінеральних елементів у овочевій продукції [25].

Окремо стоїть проблема використання фосфогіпсу як меліоранту, що послаблює або запобігає осолонцюванню ґрунтів та особливості впливу цього заходу на їхній сольовий стан. Зокрема, вченими Казахстану [26] внесення фосфогіпсу розглядається як засіб, що зменшує негативний вплив магнію на солонцюватих ґрунтах південного Казахстану в умовах зрошуваної культури бавовнику. Обробки фосфогіпсом показали значно кращий результат, ніж контроль, з огляду на поліпшення якості ґрунту зі зниженням рівня відсотка обмінного магнію; посилення руху води в ґрунті й кризь нього у зв'язку зі збільшенням накопичення вологи в кореневій зоні для використання корінням рослин; підвищення ефективності зрошення; підвищення врожайності бавовни та досягнення економічного ефекту. Автори рекомендують вносити меліорант восени, перед утворенням снігового покриву дозами 3–8 т/га. Проте, вплив фосфогіпсу на кількість і якість водорозчинних солей у ґрунті у цій роботі не висвітлюється.

Українськими дослідниками [27] наводяться результати досліджень внесення фосфогіпсу на зрошуваних понад 50 років з річки Самара (Україна) середньозасолених ґрунтах у зоні Північного Степу. Проте, класифікаційна позиція ґрунтів досліду не наводиться. Автори вказують, що внесення фосфогіпсу спричинило зменшення вмісту гідрокарбонатів у ґрунті та зміни типу засолення із содово-сульфатного на сульфатний. При цьому автори характеризують якість зрошувальної води та ступінь засолення ґрунту за натрій-адсорбційним коефіцієнтом (SAR), який є недосконалим, оскільки не враховує загальний вміст солей, їх аніонний склад, вміст магнію та властивості зрошуваних ґрунтів.

Згідно з дослідженнями, які проводилися також у зоні Північного Степу України [28], встановлено надходження в ґрунт катіону натрію з поливною водою, а сульфатного аніону з фосфогіпсом. При цьому внесення фосфогіпсу на іригаційно солонцюватих ґрунтах за зрошення та без нього призвело до збільшення загальної суми солей в орному шарі ґрунту порівняно з початковими параметрами. Нагромаджувався переважно сульфат натрію, який у подальшому мігрував униз по ґрунтовому профілю до глибини 45–75 см. Разом з цим збільшувалася кількість іонів Ca^{2+} по всьому профілю ґрунту.

Доцільним застосування фосфогіпсу у сільському господарстві роблять сполуки кальцію, сірки, кремнію і фосфору, які входять до його хімічного складу. Разом з цим, до складу фосфогіпсу входять ще й сполуки натрію, хлору, фтору, важких металів тощо, які вказують на можливі проблеми під час їх застосування [29]. Тому, способи, норми й ефективність застосування фосфогіпсу в сільському господарстві є дуже складними питаннями і залежать від його хімічного складу, властивостей ґрунтів й агротехнологій застосування, що потребує детального дослідження.

Наведений огляд наукової літератури свідчить, що питанням просторової та часової динаміки галогенезу чорноземів півдня України за їх зрошення мінералізованими

водами в умовах стаціонарних польових дослідів приділено недостатньо уваги. Даному питанню присвячено цю статтю.

Мета роботи — установити особливості впливу зрошення слабомінералізованою водою та агроеліоративних заходів на просторову та часову динаміку сольових характеристик (рН водний, загальний вміст солей, вміст токсичних солей), складу обмінних катіонів і ступеня солонцюватості чорнозему звичайного в умовах багаторічного стаціонарного дослідів.

2. Об'єкти (матеріали) і методи досліджень

2.1. Об'єкти дослідження

Дослідження проводили в Одеській області на території Дунай-Дністровської зрошувальної системи (ДДЗС) в межах сучасного Білгород-Дністровського (колишнього Татарбунарського) адміністративного району на території Білоліської сільської ради в польовому стаціонарному багаторічному досліді («Білоліський стаціонар»).

Для опису морфологічної будови ґрунтового профілю використано польовий метод досліджень, який ґрунтується на методиці еколого-агроеліоративного обстеження зрошуваних земель¹.

Вихідним ґрунтом дослідних ділянок був чорнозем звичайний (*Calcic Chernozem*). Головні параметри властивостей чорнозему звичайного: вміст CaCO_3 від 2 % в орному шарі до 15 % в горизонті його максимальної акумуляції (50–100 см); Ca/Na у водній витяжці в шарі 0–50 см — 3–6, вміст обмінного Na^+ , в шарі 0–25 см — 0,2–0,4 ммоль/100 г ґрунту; загальний вміст гумусу в шарі 0–25 см — 2,8–3,2 %, у шарі 25–50 см 2,0–2,2 %, вміст мулу (< 0,001 мм) в шарі 0–50 см — 32–35 %, вміст фізичної глини (< 0,01 мм) у шарі 0–50 см — 47–52 %.

Зрошення проводили мінералізованою водою з водосховища Сасик.

2.2. Схема стаціонарного польового дослідів «Білоліський стаціонар»

Варіанти дослідів:

1. Незрошуваний контроль — без зрошення, хімічної меліорації та удобрення;
2. Зрошуваний контроль — нормальний режим поливів за розрахункового шару ґрунту 0,5–0,7 м та 80 % польової вологоємності, без хімічної меліорації та удобрення;
3. Зрошення — нормальний режим поливів протягом 12 років, внесення фосфогіпсу щорічно 3 т/га протягом перших 9 років, без удобрення;
4. Комплекс агроеліоративних заходів, що включає: зрошення — нормальний режим поливів протягом 12 років; хімічну меліорацію — внесення фосфогіпсу щорічно 3 т/га протягом перших 9 років; органо-мінеральну систему удобрення — внесення під усі культури доз мінеральних добрив з розрахунку на програмований урожай + гній по 42 т/га тричі за ротацію сівозміни (під кукурудзу силосну і зернову та кормові буряки, тобто по 18 тонн на 1 га сівозмінної площі).

Середньорічна сумарна доза внесення мінеральних добрив — 300 кг д. р. на 1 га сівозмінної площі, за макроелементами — $\text{N}_{140}\text{P}_{100}\text{K}_{60}$. Форми мінеральних добрив: нітрат амонію (NH_4NO_3 , близько 35 % N); суперфосфат простий ($(\text{CaH}_2\text{PO}_4)_2 \times \text{H}_2\text{O} + 2\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$, близько 20 % P_2O_5); хлорид калію (KCl, близько 55 % K_2O).

Дослід складався з семи полів, площею по 4 га, розгорнутої семипільної сівозміни з таким чергуванням культур: 1 і 2 поля — люцерна, 3 — пшениця озима, 4 — буряк кормовий, 5 — кукурудза на зерно, 6 — кукурудза на силос, 7 — ячмінь озимий + люцерна. Починаючи з дев'ятого року зрошення замість озимого ячменю висівали ярий, а замість кормових буряків — соняшник. На 13-й рік проведення дослідів зрошення було припинене, і розміщення культур по полях сівозміни було таким: 1 поле — ячмінь ярий, 2 — пшениця озима, 3 — люцерна, 4–5 — пшениця озима, 6 — кукурудза на силос, 7 — соняшник.

Валовий хімічний склад фосфогіпсу виробництва ПАТ «Суміхімпром», що вносили у досліді, наведено в таблиці 1. Вміст діючої речовини у фосфогіпсі становить 70 %.

¹ Методика еколого-агроеліоративного обстеження зрошуваних земель. Посібник 2 до ВНД 33-5.5-11-02 Інструкція з проведення ґрунтово-сольової зйомки на зрошуваних землях України. Харків, 2002. 22 с.

Таблиця 1

Валовий хімічний склад фосфогіпсу, який використовували для меліорації ґрунту в досліді «Білоліський стаціонар»

Елементи і сполуки	Вміст, %
SiO ₂	5,17
TiO ₂	0,33
Al ₂ O ₃	0,79
Fe ₂ O ₃	0,61
MnO	0,01
MgO	0,79
CaO	34,24
Na ₂ O	2,11
K ₂ O	0,19
P ₂ O ₅	5,82
S	19,76
Cl	0,03
F	0,30
Co	0,005
Ni	0,007

2.3. Відбирання проб ґрунту і води, підготовка їх до аналізування

Проби ґрунту відбирали перед закладенням досліду і щорічно у два строки — перед посівом і після збирання й обліку урожаю культур у 3 точках на кожному варіанті з шарів 0–25, 25–50, 50–75, 75–100 см відповідно до ДСТУ 4287².

Підготовку до аналізів та попереднє оброблення зразків ґрунту, що підлягали фізико-хімічному аналізу, проведено за ДСТУ ISO 11464:2001³.

Проби води відбирали з магістрального каналу в межах Білоліської сільської ради тричі протягом поливного сезону (червень, липень, серпень) з наступним усередненням результатів аналізів за рік).

2.4. Аналітичні методи

Аналітичне визначення параметрів властивостей ґрунту виконано згідно з чинними нормативними документами: сольовий склад водної витяжки — за ДСТУ 7908⁴, ДСТУ 7909⁵; ДСТУ 7943⁶, ДСТУ 7944⁷, ДСТУ 7945⁸; вміст обмінних кальцію та магнію за методом Тюріна за ДСТУ 7604:2014⁹; вміст обмінного натрію та калію за ДСТУ 7912:2015¹⁰; вміст органічної речовини за ДСТУ 4289:2004¹¹; гранулометричний склад за ДСТУ 4730:2007¹².

Концентрацію іонів та pH у поливній воді визначали за методикою їх визначення у водній витяжці з ґрунту. Клас якості води визначали згідно з ДСТУ 2730:2015¹³.

3. Результати досліджень

3.1. Морфологічна будова профілю чорнозему звичайного

Наводимо морфологічну характеристику профілю незрошуваного чорнозему звичайного слабогумусованого важкосуглинкового на лесоподібному суглинкові. Розріз закладено на території науково-виробничого польового досліді «Білоліський стаціонар». Стан поверхні ґрунту — культивация після збирання зернових.

Характеристика генетичних горизонтів:

H — 0–25 см. Гумусовий верхній (орний), темно-сірий, грудкувато-зернистий, сухий, густо пронизаний корінням рослин, крихкий, донизу ущільнений. Перехід поступовий.

² ДСТУ 4287:2004. Якість ґрунту. Відбирання проб. Чинний з 2005–07–01. Київ: Держспоживстандарт України. 2005. 10 с.

³ ДСТУ ISO 11464:2007. Якість ґрунту. Попереднє оброблення зразків для фізико-хімічного аналізу (ISO 11464:2006, IDT). Чинний з 2008–01–01. Київ: Держспоживстандарт України. 2012. 18 с.

⁴ ДСТУ 7908:2015. Якість ґрунту. Визначення хлорид-іона у водній витяжці. Чинний з 2016-07-01. Київ: ДП «УкрНДНЦ». 2016. 10 с.

⁵ ДСТУ 7909:2015. Якість ґрунту. Визначення сульфат-іона у водній витяжці. Чинний з 2016-07-01. Київ: ДП «УкрНДНЦ». 2016. 7 с.

⁶ ДСТУ 7943:2015. Якість ґрунту. Визначення іонів карбонатів і бікарбонатів у водній витяжці. Чинний з 2016-09-01. Київ: ДП «УкрНДНЦ». 2016. 9 с.

⁷ ДСТУ 7944:2015. Якість ґрунту. Визначення іонів натрію і калію у водній витяжці. Чинний з 2016-09-01. Київ: ДП «УкрНДНЦ». 2016. 6 с.

⁸ ДСТУ 7945:2015. Якість ґрунту. Визначення іонів кальцію і магнію у водній витяжці. Чинний з 2016-09-01. Київ: ДП «УкрНДНЦ». 2016. 7 с.

⁹ ДСТУ 7604:2014. Якість ґрунту. Визначення обмінного кальцію та обмінного магнію у карбонатних ґрунтах методом Тюріна. Чинний з 2015-07-01. Київ: Мінекономрозвитку України. 2015. 11 с.

¹⁰ ДСТУ 7912:2015. Якість ґрунту. Метод визначення обмінного натрію. Чинний з 2016-09-01. Київ: ДП «УкрНДНЦ». 2016. 9 с.

¹¹ ДСТУ 4289:2004. Якість ґрунту. Методи визначання органічної речовини. Чинний з 2005-07-01. Київ: Держспоживстандарт України. 2004. 14 с.

¹² ДСТУ 4730:2007. Якість ґрунту. Визначання гранулометричного складу методом піпетки в модифікації Н. А. Качинського. Чинний з 2008-01-01. Київ: Держспоживстандарт України. 2008. 18 с.

¹³ ДСТУ 2730 : 2015. «Захист довкілля. Якість природної води для зрошення. Агрономічні критерії». Чинний від 2016-07-01. К.: ДП «УкрНДНЦ», 2016. 10 с.

Н(р) — 25–55 см. Гумусовий перехідний, підорний. Дещо темніший за орний, щільніший, грудкувато-горіхувато-зернистий, пронизаний корінням. У нижній частині зустрічаються вкраплення менш гумусованого ґрунту коричнюватого відтінку. Перехід поступовий.

hp/k — 55–73 см. Перехідний, неоднорідний за забарвленням — коричнюватий, донизу з палевим відтінком, щільний, свіжий, пронизаний корінням, грудкуватий. Скипає від НСІ з 58 см. Перехід до наступного горизонту різкий за забарвленням.

Рк(h) — 73–150 см. Горизонт «білозірки», жовто-палевий лесоподібний суглинок, щільний, грудкуватий, строкатий від «білозірки» у вигляді крихких білих скупчень CaCO_3 розміром до 2 см неправильної овальної форми. Зустрічаються кротовини темного кольору та окремі копроліти. Перехід різкий за забарвленням і щільністю до наступного горизонту.

Рк — 150–200 см. Ґрунтотворна порода, жовто-палевий лесоподібний суглинок, свіжий, однорідний за забарвленням і щільністю, тонкопористий, грудкувато-пилюватий. Зрідка зустрічаються кротовини.

3.2. Якість поливної води

Для зрошування використовували слабомінералізовану воду з водосховища Сасик, щорічну характеристику якості якої (за середньорічними значеннями) представлено у табл. 2.

Таблиця 2

Багаторічна динаміка якості зрошувальної води

Рік зрошення	Показники якості води, середньорічні значення				
	вміст токсичних солей, eCl^- (еквівалентів хлору), ммоль/дм ³ — критерій небезпеки вторинного засолення ґрунту	рН — критерій небезпеки підлучення ґрунту	CO_3^{2-} , ммоль/дм ³ — критерій небезпеки підлучення ґрунту і токсичного впливу на рослини	Cl^- , ммоль/дм ³ — критерій токсичного впливу на рослини	відношення суми $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ до суми всіх катіонів, %, з урахуванням Mg^{2+} — критерій небезпеки осолонцювання ґрунту
Перед початком	22,0	8,7	0,8	12,6	67,0
1	14,3	8,3	0,2	10,7	61,1
2	19,3	8,6	0,5	12,6	65,8
3	20,1	8,3	0,3	14,4	72,2
4	18,1	8,2	0,2	14,2	66,2
5	21,1	8,5	0,5	14,9	65,1
6	15,9	7,9	0,3	12,5	50,3
7	14,6	7,8	0	13,7	60,7
8	15,8	8,4	0,3	11,5	67,1
9	14,9	7,9	0,1	11,6	68,8
10	16,8	7,6	0	14,9	66,7
11	17,9	8,1	0	16,9	70,3
12	17,4	7,8	0	15,4	75,8
13	20,2	7,8	0	16,7	79,9
Після завершення	19,9	7,9	0	17,4	75,3

За роки досліджень мінералізація зрошувальної води була в межах 1,2–1,7 г/дм³, рН становив 7,6–8,7, вміст аніону CO_3^{2-} коливався від 0 до 0,8 ммоль/дм³, проте в останні чотири роки поливів був відсутній, аніон хлору містився в концентраціях від 10 до 18 ммоль/дм³, сума солонцюючих катіонів натрію і калію – від 11 до 17 ммоль/дм³, у середньому 14 мекв/дм³, за складом солей вода сульфатно-хлоридна магнієво-натрієва.

Оцінку якості зрошувальної води за агрономічними критеріями наведено у таблиці 3.

3.3. Основні сольові характеристики чорнозему звичайного

Через інтенсивне зрошення на Білолеському стаціонарі відбулося істотне накопичення токсичних солей в орному й підорному шарах (0–50 см) зрошуваного ґрунту (Табл. 4). При цьому значним залишається варіювання цього показника по роках залежно від умов атмосферного зволоження зимово-весняного (дополивного) періоду.

Таблиця 3

Оцінка якості зрошувальної води за агрономічними критеріями

Рік зрошення	Клас якості води згідно з ДСТУ 2730:2015 за небезпекою:			
	вторинного засолення ґрунту	підлучення ґрунту	токсичного впливу на рослини	осолонцювання ґрунту
Перед початком	2	2	2	3
1	2	2	2	3
2	2	2	2	3
3	2	2	2	3
4	2	2	2	3
5	2	2	2	3
6	2	2	2	3
7	2	1	2	3
8	2	2	2	3
9	2	1	2	3
10	2	1	2	3
11	2	1	2	3
12	2	1	2	3
13	2	1	2	3
Після завершення	2	1	2	3

Таблиця 4

Багаторічна динаміка основних сольових характеристик чорнозему звичайного у шарі 0–50 см на варіантах Білопільського стаціонару. Термін спостережень — навесні до початку поливів

Рік зрошення	Параметри сольових характеристик ґрунту по варіантах дослідів							
	без зрошення		зрошення		зрошення + фосфогіпс 3 т/га щорічно протягом 10 років		зрошення + комплекс агрозаходів	
	токсичні солі, %	Ca Na	токсичні солі, %	Ca Na	токсичні солі, %	Ca Na	токсичні солі, %	Ca Na
4	0,04	2,8	0,06	0,7	0,08	1,2	0,10	2,3
5	0,05	2,5	0,11	0,1	0,11	1,0	0,19	1,9
6	0,03	1,2	0,04	0,7	0,08	1,3	0,11	1,7
7	0,04	0,7	0,06	0,4	0,12	2,0	0,17	1,5
8	0,06	0,8	0,07	0,4	0,13	0,6	0,18	0,9
9	0,04	0,6	0,07	0,4	0,13	1,0	0,18	1,5
10	0,03	1,2	0,08	0,3	0,16	0,9	0,22	1,0
11	0,01	3,1	0,04	0,4	0,07	0,8	0,08	0,8
12	0,01	2,8	0,05	0,3	0,05	0,5	0,07	0,6
13	0,06	1,0	0,08	0,5	0,07	0,9	0,12	1,1
14(післядія)	0,04	1,6	0,04	0,6	0,05	0,7	0,09	0,8

Інтенсивне зрошення слабомінералізованими водами з водосховища Сасик спричинило розвиток різного ступеня вторинного іригаційного осолонцювання чорнозему звичайного в шарі 0–25 см (Табл. 5).

4. Обговорення результатів

Згідно з ДСТУ 2730:2015. «Захист довкілля. Якість природної води для зрошення. Агрономічні критерії»¹³ (Табл. 3), у більшості років поливів вода з водосховища Сасик була обмежено придатною для зрошення (2 клас) за небезпекою підлучення зональних чорноземних зрошуваних ґрунтів, а в останні 5 років поливів — придатною (1 клас) за цим критерієм, в усі роки зрошення обмежено придатною (2 клас) за небезпекою їх засолення і токсичного впливу на рослини, непридатною (3 клас) за небезпекою осолонцювання ґрунтів.

Оскільки підсумкова оцінка дається за найгіршим показником, досліджувані води були непридатними для зрошення зональних чорноземів звичайних важкосуглинкових (3 клас) за небезпекою їх осолонцювання.

Таблиця 5

Багаторічна динаміка рівня солонцюватості чорнозему звичайного у шарі 0–25 см на варіантах Білопільського стаціонару. Термін спостережень — навесні до початку поливів

Рік зрошення	Ознаки і ступінь солонцюватості по варіантах досліджу							
	без зрошення		зрошення		зрошення + фосфогіпс 3 т/га щорічно протягом 10 років		зрошення + комплекс агрозаходів	
	Na ⁺ +K ⁺ , % від суми основ	ступінь солонцюватості	Na ⁺ +K ⁺ , % від суми основ	ступінь солонцюватості	Na ⁺ +K ⁺ , % від суми основ	ступінь солонцюватості	Na ⁺ +K ⁺ , % від суми основ	ступінь солонцюватості
до початку	3,0	н.с.						
2	не визн.	не визн.	4,8	сл.	3,5	сл.	3,5	сл.
3	не визн.	не визн.	4,8	сл.	3,8	сл.	4,1	сл.
4	2,9	н.с.	5,2	сл.	4,1	сл.	4,1	сл.
5	2,7	н.с.	5,5	сл.	4,6	сл.	5,2	сл.
6	2,7	н.с.	5,5	сл.	3,4	сл.	3,2	сл.
7	3,0	н.с.	6,1	сер.	3,8	сл.	5,2	сл.
8	3,3	н.с.	8,2	сер.	4,4	сл.	5,8	сл.
9	3,0	н.с.	9,7	сер.	6,7	сер.	7,3	сер.
10	2,1	н.с.	6,7	сер.	6,1	сер.	6,4	сер.
11	2,1	н.с.	8,8	сер.	6,8	сер.	7,6	сер.
12	2,6	н.с.	10,3	сил.	7,1	сер.	9,3	сер.
13	2,9	н.с.	5,8	сл.	5,0	сл.	5,8	сл.
14 (після завершення)	2,7	н.с.	5,8	сл.	4,8	сл.	5,5	сл.

Примітка. Ступінь солонцюватості: н.с. — не солонцюватий; сл. — слабкий; сер. — середній; сил. — сильний

Вміст водорозчинних, у тому числі токсичних, солей у ґрунті незрошуваного контролю має тенденцію до зниження протягом періоду спостережень і, згідно з ДСТУ 7827:2015¹⁴, цей ґрунт є незасоленим. Відношення вмісту водорозчинного кальцію до водорозчинного натрію (Ca/Na), що є показником небезпеки розвитку процесів осолонцювання ґрунту (за значень менше 1), на цьому варіанті коливається від 0,6 до 3,1, але у 8 роках спостережень із 11 має значення більше одиниці.

Зрошуваний ґрунт також був незасоленим в усі роки спостережень, проте відношення Ca/Na було стабільно нижчим одиниці (0,1–0,7), отже, протягом усього періоду зрошення існувала небезпека розвитку процесу осолонцювання (що й підтверджується даними складу обмінних катіонів).

Ґрунт варіанта з внесенням фосфогіпсу мав слабкий ступінь засолення на десятий рік зрошення (згідно з ДСТУ 7827¹⁴) і наближався до межі цього ступеня у 7–9 роки (0,12–0,13 % токсичних солей). Відношення Ca/Na коливалось в інтервалі 0,5–2,0, значення цього показника було більше одиниці у 5 роках із 11. За небезпекою осолонцювання ґрунт цього варіанта посідає проміжне положення між ґрунтами зрошуваного і незрошуваного контролів.

За вмістом токсичних солей, згідно з даними таблиці 4, ґрунт варіанта із внесенням фосфогіпсу, органічних і мінеральних добрив мав слабкий ступінь засолення у 5-му і від 7 до 10-го років зрошення, проте відношення Ca/Na знаходилося у межах 0,6–2,3, значення більше одиниці у 7 роках із 11. За небезпекою осолонцювання ґрунт цього варіанта майже не відрізнявся від ґрунту незрошуваного контролю.

Застосування агро меліоративних заходів істотно обмежувало процес осолонцювання зрошуваного чорнозему звичайного, проте спричиняло слабкий ступінь засолення в окремі роки досліджень. Причиною цього, на наш погляд, є нагромадження в орному й підорному шарах токсичної солі Na₂SO₄ (згідно з даними аналізу якісного складу солей). Очевидно, тут причиною став сульфат внесений з добривами та меліорантом. З фосфогіпсом виробництва ПАТ «Сумихімпром» (валовий хімічний склад наведено в табл. 1), якого за період зрошення було внесено 30 т/га, також було внесено 11,7 т/га сульфат-аніону, що становить близько 0,36 % від маси ґрунту.

Окрім того, згідно з даними табл. 1, за період проведення досліджень, з фосфогіпсом на 1 га було внесено діючої речовини поживних елементів: P₂O₅ — 1746 кг, K₂O — 57 кг, а також 470 кг натрію, 142 кг магнію, 128 кг заліза, 90 кг фтору, 9 кг хлору, по 2 кг марганцю і нікелю, 1,5 кг кобальту.

¹⁴ ДСТУ 7827:2015. Якість ґрунту. Класифікація ґрунтів за ступенем вторинної засоленості. Чинний з 2016-07-01. Київ: ДП «УкрНДНЦ». 2016. 7 с.

Натрій надійшов у ґрунт з поливною водою та був витіснений із ґрунтового вбирного комплексу (ГВК) орного й підорного шарів кальцієм фосфогіпсу. Згідно з даними аналізу сольового складу зрошувальної води, за середнього багаторічного вмісту натрію в ній 14 ммоль/дм^3 , що становить $0,322 \text{ г/дм}^3$, за весь період зрошення на 1 га поливної площі було внесено 3,22 тонни цього солонцюючого катіону. У перерахунку на масу орного шару ґрунту така кількість становить близько 0,1 %.

За витискання кальцієм із вбирного комплексу ґрунту натрію, у ґрунтовому розчині можливе накопичення 0,1–0,2 % токсичного сульфату натрію, що відповідає слабкому ступеню засолення ґрунту.

Слід також брати до уваги, що натрій і сульфат-іони надходять у ґрунт також з органічними і мінеральними добривами, і натрій також міститься у фосфогіпсі (Табл. 1).

Режим сульфату натрію Na_2SO_4 має сезонно-оборотний характер (вилуговування осінньо-зимово-весняними опадами й накопичення протягом вегетаційного періоду), але опадів, очевидно, недостатньо для стабільного вилуговування водорозчинних солей у більш глибокі шари ґрунто-підґрунтя. Проводити промивання ґрунту прісною водою можливості не було. Схарактеризоване явище підводить до висновку, що за щорічного внесення фосфогіпсу доза 3 т/га протягом 10 і більше років є надмірною.

На 11–14 роки досліджень, як видно з таблиці 4, завдяки скороченню та припиненню зрошення і внесення фосфогіпсу, відбулося деяке вирівнювання сольових характеристик на різних варіантах досліду.

Дані щодо сольового складу ґрунту і впливу на нього досліджуваних чинників цілком підтверджуються наявною в науковій літературі інформацією [27, 28].

Динаміка водорозчинних солей у зрошуваних ґрунтах нерозривно пов'язана зі станом ГВК, насамперед зі складом увібраних катіонів, який і мають, перш за все, на увазі, коли говорять про фізико-хімічні властивості ґрунту. Як відомо з класичних праць [15, 30], заміщення кальцію у ГВК на натрій надає ґрунтовим колоїдам здатності до пептизації й зумовлює, таким чином, суттєві зміни цілої низки агрономічно значущих властивостей ґрунту (стану макро- та мікроструктури, крихкості, твердості, липкості, фільтраційної здатності, доступності макро- та мікроелементів живлення для рослин, стану органічної речовини, мікрофлори тощо).

Згідно з даними таблиці 5, незрошуваний чорнозем звичайний за сумарним вмістом обмінних Na^+ і K^+ є несолонцюватим за ДСТУ 3866-99¹⁵.

Зрошення чорнозему звичайного мінералізованою водою з водосховища Сасик протягом першого ж року спричинило надходження до ГВК ґрунту в орному шарі близько 1 ммоль/100 г ґрунту натрію з поливної води (Табл. 5). Протягом наступних років склад обмінних катіонів в ґрунті орного шару був більш-менш стабільним, рівень вторинної солонцюватості коливався на межі слабого й середнього ступенів, іригаційний натрій наявний в обмінній та водорозчинній формах у підорному й нижчих шарах ґрунту.

На восьмий рік зрошення було відмічено нове підвищення вмісту обмінного натрію (до $2,1 \text{ ммоль/100 г}$ ґрунту); цей рівень, з тенденцією до подальшого зростання, зберігався до дванадцятого року зрошення включно. Ступінь солонцюватості — середній або сильний. Можна припустити, що це явище пов'язане з переходом вбирання натрію з екстраміцелярного на більш глибокий інтраміцелярний рівень колоїдних міцел [31].

В останні роки спостережень (13 і 14) ґрунт досліду дещо розсолонцювався, очевидно, через скорочення та припинення зрошення (Табл. 5).

З даних таблиці 5 випливає також, що застосування фосфогіпсу, як окремо, так і в складі комплексу агро меліоративних заходів, в умовах поливів чорнозему слабомінералізованою водою не спроможне усунути повністю іригаційне осолонцювання, а лише дещо зменшує ступінь солонцюватості. На те є, очевидно, кілька причин:

1) недостатня розчинність фосфогіпсу, а точніше — його діючої речовини, сульфату кальцію, у воді (не більше 2 г/дм^3 за найсприятливіших умов), що не дає можливості досягнути концентрації в ґрунтовому розчині катіонів Ca^{2+} , достатньої для недопущення натрію в ГВК;

2) швидка пасивація в ґрунті водорозчинного кальцію фосфогіпсу, перш за все, шляхом утворення слабкорозчинного CaCO_3 за схемою: $\text{Ca}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} + 2 \text{Na}^+ + 2\text{HCO}_3^- \rightarrow 2 \text{Na}^+ + \text{SO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \uparrow + \text{CaCO}_3 \downarrow$, оскільки, згідно з законами хімії водних розчинів, протікання реакції завжди зміщується в бік утворення води, осаду або газу, тобто зменшення кількості вільних іонів у розчині. Також ця реакція є механізмом накопичення в ґрунті токсичної солі Na_2SO_4 (див. характеристики сольового стану ґрунту);

¹⁵ ДСТУ 3866-99. ґрунти. Класифікація ґрунтів за ступенем вторинної солонцюватості. Чинний з 2000-01-01. Київ: Держстандарт України. 1999. 6 с.

3) неможливість повного видалення продукту обміну між ГВК ґрунту і кальцієм меліоранту — сульфату натрію, який гальмує й призупиняє процес розсолонцювання ґрунту, за межі кореневмісного шару. Для вилугування Na_2SO_4 необхідні промивні поливи прісними водами, а мінералізовані води збільшують надходження до ґрунтової товщі токсичних, насамперед натрієвих, солей (див. також [28]). Водорозчинні кальцієві солі при цьому вимиваються з орного шару, як правило, незворотно, оскільки випадають в осад у глибших шарах за наведеною в пункті 2 схемою. Отже, фосфогіпс, в даному випадку, не є засобом боротьби із засоленням, оскільки не видаляє наявні в ґрунті токсичні солі, а взаємодія кальцію із вбирним ґрунтовим комплексом без промивання прісною водою сприяє появі їх додаткових кількостей.

5. Висновки

1. Установлено, що під впливом тривалого (12 років) зрошення слабомінералізованою водою, обмежено придатною (2 клас) за небезпекою засолення та періодично непридатною (2 або 3 класи) за небезпекою осолонцювання важкосуглинкових чорноземних ґрунтів, вміст токсичних водорозчинних солей у чорноземі звичайному має тенденцію до підвищення, не досягаючи градації слабого ступеня засолення. Якісний склад солей при цьому погіршується, внаслідок чого істотно (у 4–10, а в окремі періоди й більше разів) зростає відношення вмісту водорозчинного кальцію до водорозчинного натрію (Ca/Na), що є показником небезпеки розвитку процесів осолонцювання ґрунту.

2. Внесення фосфогіпсу та органічних і мінеральних добрив призвело до розширення відношення Ca/Na у ґрунтовому розчині, проте за вмістом токсичних солей ґрунт цього варіанта мав слабкий ступінь засолення у 5 і 7–10 роках зрошення переважно через накопичення в орному й підорному шарах токсичної солі сульфату натрію. Джерелом сульфатів стали фосфогіпс і добрива, натрій надходив з поливною водою та із вбирного комплексу ґрунту шляхом витискання кальцієм фосфогіпсу. Очевидно, в умовах сезонно-оборотного режиму солей щорічне внесення фосфогіпсу дозою 3 т/га протягом 10 і більше років є надмірним.

3. Зрошення чорноземів звичайних мінералізованою водою з водосховища Сасик спричиняє розвиток процесу їх іригаційного осолонцювання. Цей процес є стадійним (чергуються стадії осолонцювання й тимчасової динамічної рівноваги). Ступінь вторинної солонцюватості при цьому послідовно наростає від слабого до сильного на дванадцятий рік поливів.

4. Застосування агроеліоративних заходів, перш за все, хімічної меліорації кальцієвими меліорантами (найпоширеніший з них – фосфогіпс) поливних вод і зрошуваних ґрунтів не спроможне цілком усунути процес іригаційного осолонцювання, а здатне лише обмежити його, стабілізувавши на рівні слабого ступеня, але з накопиченням у кореневмісному шарі токсичних продуктів катіонного обміну (насамперед Na_2SO_4).

Список використаних джерел

1. Строгонов Б. П. Физиологические основы солеустойчивости растений (при разнокачественном засолении почвы): монография. Москва: Издательство академии наук СССР. 1962. 368 с.
2. Deo Ram, Kanwar J. Effect of saline irrigation water on the growth and chemical composition of wheat. *J. Indian Soc. Soil Sc.* 1968. 16(4). P. 365–370.
3. Mizrahi I., Pasternak D. Effect of salinity on quality of various agricultural crops. *Plant Soil.* 1985. 89(3). P. 301–307.
4. Антипов-Каратаев И. Н., Филиппова В. Н. Влияние длительного орошения на процессы почвообразования и плодородие почв степной полосы европейской части СССР: монография. Москва: Издательство академии наук СССР. 1955. 205 с.
5. Гринь Г. С., Швеца А. С., Фидель К. Н. О поведении воднорастворимых солей в почво-грунтах юга Украинской ССР при орошении. *Труды УНИИП*. 1958. Том III. С. 3–94.
6. Русько М. П. Вплив зрошення на рівень підґрунтових вод і хімічний склад ґрунту. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. 1971. Вип. 17. С. 55–71.
7. Ладних В. Я. Особливості водно-солевого режиму ґрунтів західної приморської частини Краснознам'янського зрошуваного масиву. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. 1969. Вип. 7. С. 92–100.
8. Новикова А. В. Прогнозирование вторичного засоления почв при орошении: монография. Киев: Урожай. 1975. 184 с.
9. Полупан Н. И., Нестеренко А. Ф. Особенности почвообразования при орошении на юге Украины. *Почвоведение*. 1982. №8. С. 5–14.
10. Позняк С. П. Орошаемые черноземы юго-запада Украины: монография. Львов: ВНТЛ. 1997. 240 с.
11. Можейко А. М., Воротник Т. К. Гипсование солонцеватых каштановых почв УССР, орошаемых минерализованными водами, как метод борьбы с осолонцеванием этих почв. *Труды УНИИП*. 1958. Том. III. С. 111–208.

12. Вороник Т. К., Ладних В. Я., Соловйова В. М. Зміни фізико-хімічних властивостей темно-каштанових ґрунтів і чорнозему південного при зрошенні лужними водами. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. 1973. Вип. 23. С. 85–93.
13. Горбач Н. М., Водяницький В. И. Солевой режим почв в садах, орошаемых минерализованными водами, в связи со способом полива. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. 1988. Вип. 51. С. 83–87.
14. Фармаковская Ю. Н., Самойлова В. М. Слитизация черноземов при орошении. *Вестник МГУ. Серия 17. Почвоведение*. 1993. №1. С. 47–61.
15. Гедройц К. К. Учение о поглотительной способности почв: монография. Москва–Ленинград: Сельхозгиз. 1932. 203 с.
16. Гаврилович Н. Ю. Кальцієво-натрієва іонообмінна рівновага в солонцевих ґрунтах Української РСР. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. 1981. Вип. 42. С. 70–74.
17. Крейда Н. А., Михайлюк В. И., Кичук И. Д. О деградации черноземов на Дунай-Днестровской оросительной системе. *Почвоведение*. 1989. №5. С. 74–79.
18. Зрошувані землі Дунай-Дністровської зрошувальної системи: еволюція, екологія, моніторинг, охорона, родючість: колективна монографія; за ред. С. А. Балука. Харків: Антіква. 2001. 260 с.
19. Abakumov E., Yuldashev G., Darmonov D., Turdaliev A., Askarov K., Khaydarov M., Mirzayev U., Nizamutdinov T., Davronov K. Influence of mineralized water sources on the properties of calcisol and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plants (Basel)*. 2022. 11(23). 3291. <https://doi.org/10.3390/plants11233291>.
20. Tanto T., Laekemariam F. Impacts of soil and water conservation practices on soil property and wheat productivity in Southern Ethiopia. *Environ. Syst. Res.* 2019. 8. 13. <https://doi.org/10.1186/s40068-019-0142-4>.
21. Gonfa A., Bedadi B., Argaw A. Effect of bagasse ash and filter cake amendments on wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum) yield and yield components in nitisol. *Int. J. Recycl. Org. Waste Agric.* 2018. 7. P. 231–240. <https://doi.org/10.1007/s40093-018-0209-7>.
22. El-sayed M. E. A., Hazman M., Abd El-Rady A. G., Almas L., McFarland M., Shams El Din A., Burian S. Biochar reduces the adverse effect of saline water on soil properties and wheat production profitability. *Agriculture*. 2021. 11. 1112. <https://doi.org/10.3390/agriculture11111112>.
23. Li X., Wei B., Xu X., Zhou J. Effect of deep vertical rotary tillage on soil properties and sugarcane biomass in rainfed dry-land regions of Southern China. *Sustainability*, 2020. 12(23), 10199. <https://doi.org/10.3390/su122310199>.
24. Zhang Y., Wang S., Wang H., Ning F., Zhang Y., Dong Z., Wen P., Wang R., Wang X., Li J. The effects of rotating conservation tillage with conventional tillage on soil properties and grain yields in winter wheat-spring maize rotations. *Agric. For. Meteorol.* 2018. 263. P. 107–117. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.08.012>.
25. Osma E., Mutlu S., Aksoy A., İlhan V. Effect of irrigation water on accumulation of heavy metal and mineral element in some vegetables. *J Inst Sci & Tech*, 2016; 6(2): 49–58. <https://doi.org/10.21597/jist.2016218847>.
26. Vyshpolsky F., Mukhamedjanov K., Bekbaev U., Ibatullin S., Yuldashev T., Noble A., Mirzabaev A., Aw-Hassan A., Qadir M. Optimizing the rate and timing of phosphogypsum application to magnesium-affected soils for crop yield and water productivity enhancement. *Agricultural Water Management*. Volume 97, Issue 9, September 2010; P. 1277–1286. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.02.020>.
27. Onoprienko D. M., Makarova T. K., Tkachuk A. V., Hapich H. V., Roubik H. The influence of phosphogypsum on the salt composition of salinated soil. *Меліорація і водне господарство*. №1, 2023. С. 102–112. <https://doi.org/mivq202301-350>.
28. Onoprienko, D. M., Shepel', A. V., & Makarova, T. K. Influence of phosphogypsum on the chemical composition of aqueous extract from soil. *Agrology*. 2019. 2(3). P. 151–155. <https://doi.org/10.32819/019022>.
29. Mesić M., Brezinščak L., Zgorelec Ž., Perčin A., Šestak I., Bilandžija D., Trdenić M., Lisac H. The Application of Phosphogypsum in Agriculture. *Agriculturae Conspectus Scientificus*. 2016. 81(1). Retrieved November 2, 2023, from <https://acs.agr.hr/acs/index.php/acs/article/view/1152>
30. Соколовский А. Н. Избранные труды. *Почвоведение и агрохимия*: монография. Киев: Урожай. 1971. 368 с
31. Горбунов Н. И. Минералогия и физическая химия почв: монография. Москва: Наука. 1978. 292 с

UDC 631.416.5:631.416.7:631.67.03:631.811.4

Dynamics of halogenesis in ordinary chernozem irrigated with mineralized waters

O. A. Nosonenko, M. A. Zakharova*

National Scientific Center "Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky",
Kharkiv, Ukraine

*E-mail: zakharova_maryna@ukr.net

The purpose of the study is to establish the regularities of the spatial and temporal dynamics of the content of water-soluble salts and the composition of exchangeable cations in ordinary chernozem (Calcic Chernozem) under the influence of irrigation with weakly mineralized water and agromelioration measures in the conditions of a long-term stationary experiment. Methods were used: field - to explore the morphological structure of soil profile, studying the influence of irrigation and agro-melioration measures on the saline and physico-chemical properties of chernozems, laboratory-analytical – to determine saline and physico-chemical parameters, mathematical and statistical – to assess the reliability of research results. Results. Irrigation of ordinary chernozem with weakly mineralized water from the Sasyk reservoir for 12 years led to an increase in the content of water-soluble toxic salts in the soil and a deterioration of their qualitative composition due to the narrowing of the Ca/Na ratio in the soil solution to 10 times and the development of the process of their irrigation sodification. This process is staged: there are stages of sodification and temporary dynamic equilibrium. At the same time, the degree of secondary sodicity gradually increases from weak to strong by the twelfth year of irrigation. The use of chemical melioration (application of phosphogypsum) and the organo-mineral fertilization system limits the process of irrigation sodification (stabilizing it at a weak level). However, it causes accumulation in the root layer of toxic products of cation exchange - toxic salt of sodium sulfate, which causes a weak degree of soil salinization. Conclusions. It was found that under the influence of long-term (12 years) irrigation with

weakly mineralized water, the process of irrigation sodification develops in ordinary chernozem, which has a staged character. The use of agro-reclamation measures, first of all, chemical reclamation by applying phosphogypsum and organo-mineral fertilizer system can only limit the process of irrigation sodification, stabilizing it at a low level, but it can cause the development of low-level salinization. Obviously, under the conditions of a seasonally rotating salt regime, the annual application of phosphogypsum at a dose of 3 t/ha for 10 or more years is excessive.

Keywords: *agricultural improvement measures; water-soluble salts in the soil; dynamics of halogenation; exchangeable cations; weakly mineralized irrigation water; ordinary chernozem;*

Citing: Nosonenko O. A., Zakharova M. A. (2023). Dynamics of halogenesis in ordinary chernozem irrigated with mineralized waters. *AgroChemistry and Soil Science*, 95, 13-23. [in Ukrainian]. [doi: 10.31073/acss95-02](https://doi.org/10.31073/acss95-02)