

ВЛАСТИВОСТІ Й РЕЖИМИ ЗРОШУВАНИХ ҐРУНТІВ

SOIL PROPERTIES and MODES of IRRIGATED SOILS

УДК 631.4

Вплив зрошення мінералізованими водами на процеси засолення ґрунтів Південно-Бузької та Кам'янської зрошувальних систем

С. Г. Чорний^{1*}, В. В. Ісаєва²¹Чорноморський національний університет ім. Петра Могили, Миколаїв, Україна²Миколаївський національний аграрний університет, Миколаїв, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 11.09.2023 Отримано після доопрацювання 03.11.2023 Затверджено до видання 19.12.2023 Доступно онлайн 28.12.2023	В Україні розвиток зрошення стримується дефіцитом якісних поливних вод. Полив мінералізованими поливними водами викликає засолення ґрунтів, що негативно впливає на продуктивність рослинництва, якість ґрунтового покриву, стан поверхневих вод. Метою статті є аналіз впливу зрошувальної води різної мінералізації на засолення ґрунтів Південно-Бузької та Кам'янської зрошувальних систем. В польових та лабораторних дослідженнях використовувалися методики та критерії лабораторії засолення Міністерства сільськогосподарства США та Food and Agriculture Organization. Дослідження показали, що поливи здійснюються водою, яка має середній ризик щодо засолення ґрунтів ($EC_w = 0,7 - 3,0$ дСм/м). Водночас існує певна просторова диференціація щодо якості поливної води. Поливи земель Південнобузької зрошувальної системи здійснюються водою з електропровідністю $0,90 - 1,07$ дСм/м, а поливи земель Кам'янської зрошувальної системи здійснюються водою з електропровідністю $1,86 - 2,65$ дСм/м. Мінералізація зрошувальної води визначає ступінь засолення ґрунтів. Якщо ґрунти Південно-Бузької зрошувальної системи не засолені (EC_e становить менше ніж $2,0$ дСм/м), то в ґрунтах Кам'янської зрошувальної системи можна вирощувати будь-які щодо солестійкості сільськогосподарські культури. А на землях Кам'янської зрошувальної системи без втрати врожайності можна вирощувати лише помірно чутливі та найменш чутливі до засолення ґрунтів сільськогосподарські культури. Проведені дослідження дозволяють скоректувати структуру посівних площ та структуру сівозмін з огляду на солестійкість певних сільськогосподарських культур.
Ключові слова: дощування; електропровідність ґрунту; засолення ґрунту; краплинне зрошення; якість поливної води	

* E-mail: s.g.chornyy@gmail.com

Форма цитування: Чорний С. Г., Ісаєва В. В. Вплив зрошення мінералізованими водами на процеси засолення ґрунтів Південно-Бузької та Кам'янської зрошувальних систем. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. 2023. Вип. 95. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". С. 4-12. <https://doi.org/10.31073/acss95-01>

1. Вступ

Засолення є однією з головних проблем сучасного сільськогосподарства. Очікується, що зі зміною клімату з більш тривалими посухами та підвищенням рівня моря ця проблема ще більше загостриться. Згідно з ФАО (Food and Agriculture Organization) глобальна площа засолених ґрунтів охоплює 424 мільйони гектарів [1]. Зростання засолення викликає особливе занепокоєння для глобальної системи постачання продовольства [2].

Засолення ґрунтів в результаті зрошення низькоякісними поливними водами є пересічним явищем в Україні. В країні засолені ґрунти займають відносно невелику площу – 1,92 млн га; з яких, за даними ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії» [3] 1,71 млн га у сільськогосподарському використанні. Серед зрошуваних земель налічується близько 350 тис. га засолених, з них 70–100 тис. га так званих «вторинно-засолених» ґрунтів, тобто ґрунтів у яких джерелом надлишкових солей є, у більшості випадків, поливні води [3]. Засолення ґрунтів погіршує розвиток сільськогосподарських рослин, оскільки знижує осмотичний потенціал ґрунтового розчину, що обмежує поглинання води та поживних елементів рослиною, підвищує токсичність деяких іонів, таких як натрій, хлор і бор, до рівнів, що значно перевищують межі толерантності рослин, пригнічує діяльність корисних ґрунтових мікроорганізмів. Тому засолення ґрунтів загалом негативно впливає на продуктивність рослинництва, якість ґрунтового покриву, стан поверхневих вод [4, 5].

У країнах з посушливим кліматом розвиток зрошення стримується дефіцитом якісних поливних вод. Використання поливних вод з високим умістом водорозчинних солей, наприклад, у Північному Китаї для вирощування озимої пшениці та кукурудзи,

викликає засолення ґрунту. Комбінація різних за мінералізацією поливних вод зумовлює зменшення небезпеки засолення ґрунтів та ризику зниження врожайності [6]. Вторинне засолення вже давно спостерігається на іригаційних землях в районі півдня Португалії, що пов'язано з якістю зрошувальної води. Визначено, що найбільший ризик накопичування солей в ґрунтах, які використовуються під цитрусовими культурами та гранатами, спостерігається в посушливі роки. Іншими факторами, які впливають на засолення ґрунтів є тривалість періоду вегетації культури, розподіл опадів по періодах вегетації, умови дренажу ґрунту тощо. Існує потреба в індивідуальних іригаційних рішеннях, спрямованих на збереження ґрунтових і водних ресурсів [7].

Дослідженнями у Чаплинському районі Херсонської області було встановлено, що довготермінове зрошення приводить до появи нових елементарних ґрунтотворних процесів, які викликають трансформацію вихідного ґрунту в антропогенно-перетворені ґрунти. Впровадження зрошення привело до підвищення загального вмісту водорозчинних солей до 0,14–0,21 % (а токсичних солей до 0,06–0,15 %), зміни їх якісного складу (співвідношення Ca/Na зменшилося у шарі 0–50 см від 9–10 у незрошуваному до 3–4 у зрошуваному ґрунті. Спостерігається також вилугування солей у нижні горизонти, унаслідок чого ступінь засолення кардинально підвищився [8].

Розвиток зрошення на півдні Одеської області також призвів до підвищення мобільності солей. Це сприяло активізації процесів солепереносу, змінило склад іонно-сольового комплексу ґрунтово-підґрунтової товщі. За використання вод підвищеної мінералізації (1–3 г/дм³) спостерігається періодичне соленакопичення в кореневмісному шарі з формуванням нових сольових акумуляцій у другому метровому шарі та глибше. Водночас відбувається трансформація складу солей і збільшення вмісту токсичних іонів, насамперед натрію, та звуження співвідношення вмісту кальцію і натрію. За використання для зрошення іригаційно неякісних вод, з мінералізацією більше ніж 3 г/дм³, і тривалого зрошення можливе засолення ґрунту у верхніх горизонтах профілю до слабого і навіть середнього ступеня [9, 10].

У роботі [11] визначається, що за час тривалого (впродовж 20 і 50 років) зрошення мінералізованою водою чорноземів звичайних в Донецькій області відбулося збільшення вмісту солей, переважно хлоридів і сульфатів натрію, а також перерозподіл їх за профілем ґрунту. Уміст загальних солей у шарі 0–25 см підвищився з 0,07 до 0,14 %, у т.ч. токсичних солей з 0,03 до 0,11 %. Відбулося засолення орного і підорного шарів ґрунту до слабого ступеня.

Рекультивація вже засолених ґрунтів є кошовною і складною справою. Метою статті було віднайти способи зменшення негативного впливу на ґрунт і рослини, мінералізованої зрошувальної води. Для того необхідно створити ефективну систему моніторингу еколого-меліоративного стану зрошуваних земель, що дозволить підібрати для засолених ґрунтів сільськогосподарські культури з різним ступенем солестійкості, і таким чином зменшити втрати врожаїв та збільшити економічну ефективність зрошення.

2. Матеріали та методи

Південно-Бузька зрошувальна система (ПБЗС) та Кам'янська зрошувальна система (КЗС), які розташовані в південному регіоні України на території Миколаївського району Миколаївської області та поєднані в один водогосподарський комплекс [12]. Джерелом зрошення для обох іригаційних систем є річка Південний Буг. По трасі транспортування поливної води були створені стаціонарні дослідні майданчики для спостереження за якістю поливної води. На цих майданчиках визначали агрономічну якість поливних вод за методикою лабораторії засолення Міністерства сільськогосподарства США та ФАО [13, 14, 15]. Катіонно-аніонний склад поливних вод визначали за існуючими державними стандартами України [16]. Визначали також ступінь впливу катіонів натрію на рослину та ґрунт за показником SAR (Sodium Adsorption Ratio) та індексом залишкового карбонату натрію (RSCI – Residual sodium carbonate index), який є показником впливу карбонатів і бікарбонатів на якість зрошувальної води.

Показник SAR розраховується наступним чином:

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca+Mg}{2}}}, \quad [1]$$

де Na, Ca, Mg — значення вмісту катіонів натрію, кальцію та магнію в поливній воді, ммоль/дм³ [15].

Індекс RSCI розраховується як

$$RSCI = (HCO_3 + CO_3) - (Ca + Mg), \quad [2]$$

де HCO_3 та CO_3 — вміст аніонів гідроген-карбонату та карбонату, ммоль/дм³, Са та Mg — вміст катіонів кальцію та магнію, ммоль/дм³.

Дослідні ділянки для відбирання проб ґрунту були закладені на територіях, зрошуваних водою ПБЗС та КЗС. Перша локація (ПБЗС) — ділянка біля селища Зелений Гай (47°11'27.9"N 31°36'03.1"E). Друга локація (КЗС) — поле Навчально-наукового виробничого центру Миколаївського Національного аграрного університету (МНАУ) (46°55'03.3"N 31°40'58.7"E), зрошення дощуванням п'ять років. Третя локація (КЗС) — дослідна ділянка на полі ННПЦ МНАУ з краплинним зрошенням більше ніж п'ять років (46°56'11.6"N 31°39'08.0"E).

Ґрунт на всіх дослідних ділянках — чорнозем південний важкосуглинковий.

Проби ґрунту відбирали з таких шарів: 0–10, 10–20, 20–30, 30–50 і 50–70 см. Вміст солей у ґрунті визначали шляхом вимірювання електропровідності у ґрунтово-водній суспензії у співвідношенні 1:5 ($\text{EC}_{1:5}$) з подальшим перерахунком в електропровідність «насичених субстратів» (EC_e), на основі якої визначають ступінь засолення ґрунту та рівень солевитривалості окремих сільськогосподарських культур. Безпосереднє виготовлення насичених субстратів є надзвичайно трудомістким процесом і не має широкого застосування в дослідженнях засолення ґрунтів [17, 18]. Тому, як правило, попередньо визначену електропровідність ґрунтово-водної суспензії у співвідношенні 1:5 переводять у значення EC_e :

$$\text{EC}_e = \text{EC}_{1:5} \cdot k \quad [3]$$

де k — коефіцієнт перерахунку.

Коефіцієнт перерахунку k залежить від водоутримувальної здатності ґрунту, яка, своєю чергою, зумовлюється гранулометричним складом ґрунту [17, 18], який визначається за класифікацією Міністерства сільського господарства США [19].

Ще одним показником, який характеризує ступінь засоленості ґрунту є загальна кількість розчинних солей (Total soluble salts (TSS)). Його вимірюють в мг на кілограм ґрунту (ppm) або грамах на 100 г ґрунту. Електропровідність ґрунтово-водної суспензії тісно пов'язана з кількістю солей [20]. Величина TSS розраховується через величину $\text{EC}_{1:5}$ за формулою:

$$\text{TSS} = 640 \cdot \text{EC}_{1:5} \quad [4]$$

де TSS — загальна кількість розчинних солей, ppm; $\text{EC}_{1:5}$ — електропровідність у ґрунтово-водній суспензії у співвідношенні 1:5, дСм/м.

Електропровідність ґрунтово-водної суспензії та поливної води визначали кондуктометром EZODO CTS-406. Було використано загальноприйняті у ґрунтознавстві одиниці вимірювання електропровідності — децименс на метр (дСм/м). Гранулометричний склад ґрунту було визначено лазерним дифрактометром Mastersizer 3000E.

3. Результати

3.1. Оцінка якості поливної води

Кількісним показником небезпеки засолення ґрунту є електропровідність зрошувальної води. Попри те, що електропровідність змінюється в процесі транспортування в каналах та водосховищах у досить широких межах, за оцінками ФАО [13], вода належить до середнього ризику засолення ґрунтів ($\text{EC}_w = 0,7\text{--}3,0$ дС/м) (Табл. 1). Тобто вода має певні обмеження щодо її використання, що може призвести до зниження врожайності окремих не солестійких культур [14, 15, 21].

Окремою проблемою якості цієї зрошувальної води є концентрація в ній певних токсичних іонів, до яких зазвичай відносять катіони натрію та аніони хлору, а також іони деяких металів і напівметалів (В, Fe, Cu, Zn, Mn, Cr) [13, 14]. Напівметали знаходяться в мізерних кількостях і жодним чином не впливають на агрономічну якість води. Абсолютно аналогічна ситуація з хлором. Невеликий початковий вміст аніонів хлору в річці Південний Буг і навіть дещо збільшений вміст цього іону після транспортування води не перевищують порогового значення (3,0 ммоль/л). Це свідчить про відсутність негативного впливу цього аніону на рослини та ґрунт за критеріями ФАО [13, 22].

Але у зрошувальній воді ПБЗС та КЗС досить багато катіонів натрію. Якщо вміст катіонів натрію у воді Південного Бугу не перевищує 2,0 ммоль/л, то в процесі транспортування, після проходження води через низку водосховищ, вміст натрію збільшується в декілька разів, досягаючи значення 6,6 ммоль/л, що і призводить до зростання значень показника SAR.

Таблиця 1*Якість поливної води у зрошувальних системах*

Показник, одиниця вимірювання	Параметр показника якості води	
	Південно-Бузька ЗС	Кам'янська ЗС
Електропровідність (EC_w), дСм/м	0,90–1,07	1,86–2,65
pH	7,7–8,6	8,2–8,5
Мінералізація, мг/см ³	595–707	1223–1750
CO_3^{2-} , ммоль/л	0–2,0	0–3,5
HCO_3^- , ммоль/л	3,8–5,3	3,6–8,0
Cl^- , ммоль/л	0,1–0,5	0,3–1,7
SO_4^{2-} , ммоль/л	0,0–2,7	0,0–3,3
Mg^{2+} , ммоль/л	0,0–0,4	0,0–0,9
Ca^{2+} , ммоль/л	0,2–0,6	0,2–0,5
Na^+ , ммоль/л	1,3–2,2	4,4–6,6
K^+ , ммоль/л	0,2–0,3	0,4–0,6
Ступінь насиченості натрієм (SAR)	1,9–4,2	4,7–15,8
Індекс залишкового карбонату натрію (RSCI), ммоль/л	3,2–7,9	5,5–15,8

Існує середній ризик токсичної дії катіонів натрію, який виникає під час зрошення на землях ПБЗС ($SAR = 3–9$) та високий ризик токсичної дії катіонів натрію під час зрошення на землях КЗС ($SAR > 9$) (Табл. 1). Цей показник, згідно з [13], є основним критерієм визначення ступеня токсичності натрію для рослин. Основною причиною цього явища є нагрівання води під час її транспортування. За наявності надлишку карбонатів випаровування призводить до утворення нерозчинних карбонатів кальцію ($CaCO_3$) і карбонатів магнію ($MgCO_3$), які випадають з розчину в осад. В результаті збільшується відносний вміст катіонів натрію, а разом з цим збільшується значення SAR.

Важливим показником якості поливної води є вміст бікарбонатів. Індекс залишкового карбонату натрію (RSCI) є найбільш комплексною мірою впливу карбонатів і бікарбонатів на якість зрошувальної води, що, своєю чергою, визначає хімічний склад ґрунту. Цим показником оцінюють комбінований вплив аніонів і катіонів магнію та кальцію на ризики вірогідного збільшення катіонів натрію. Цей показник широко використовують для оцінки якості зрошувальної води в країнах з посушливим і напівпосушливим кліматом [22, 23]. Більшість авторів вважають, що значення RSCI у 2,5–5,0 ммоль/л є прийнятним для безпечного зрошення. У більшості випадків вода, яка використовується для зрошення земель ПБЗС та, особливо, КЗС, має значення RSCI значно вище порогового значення, що пов'язано з домінуванням бікарбонатів і невеликим вмістом двовалентних катіонів (Табл. 1). Тому, згідно зі значеннями RSCI, ця вода не дуже придатна для зрошення.

3.2. Загальний вміст солей

Очевидно, що тривале зрошення мінералізованою водою швидко призводить до засолення ґрунту з накопиченням у кореневій зоні водорозчинних солей, хімічний склад яких близький до хімічного складу поливної води. Зростання вмісту солей, своєю чергою, негативно впливає на стан сільськогосподарських культур, їх врожайність і вимагає спеціальних управлінських втручань. Одночасно, випадання природних опадів може приводити до розсолення ґрунтів, особливо за осінньо-зимовий період. А отже очевидно, що існує певна внутрішньорічна динаміка вмісту солей в ґрунті, але загальний тренд направлений на поступове накопичення водорозчинних солей у зрошуваних ґрунтах.

Рівень засолення зазвичай оцінюють за електропровідністю насиченої ґрунтово-водної суміші (EC_e), але, оскільки приготування насичених екстрактів займає багато часу, то можна використовувати ґрунтово-водні суспензії у співвідношенні 1:5 ($EC_{1:5}$) з подальшим перерахуванням отриманих величин в EC_e (за формулою 1, див. вище). Коефіцієнт перерахунку (k) залежить від водоутримувальної здатності ґрунту, яка, своєю чергою, визначається гранулометричним складом ґрунту [4, 17, 18]. За класифікацією Міністерства сільського господарства США [19] гранулометричний склад ґрунтів у межах ПБЗС та КЗС визначається як мулистий суглинок («silty clay loam»). А отже, згідно з [17], коефіцієнт перерахунку для таких ґрунтів (k у формулі (1)) буде дорівнювати 8,6.

У таблиці 2 наведено результати вимірювання електропровідності ґрунту ($EC_{1:5}$ і EC_e) та відповідні дані щодо загального вмісту розчинних солей (TSS). Ці дані свідчать про те, що мінералізація зрошувальної води визначає ступінь засолення ґрунтів. Зрошення земель ПБЗС здійснюється водою з електропровідністю лише 0,90–1,07 дСм/м,

яка містить 595–707 мг/см³ солей, а тому рівень засолення ґрунтів (EC_e) становить менше ніж 2,0 дСм/м, що за чинними оцінками [17] дозволяє назвати цей ґрунт незасоленим, попри помітне (на 25–30 %) збільшення EC_e та TSS у зрошуваних ґрунтах порівняно з незрошуваними. В орному шарі (0–30 см) таке збільшення досягає 28 %, а в шарах ґрунту 30–70 см — 50 %. В шарі ґрунту 0–70 см на незрошуваній ділянці міститься приблизно 2,61 т/га водорозчинних солей, а на зрошуваній — 3,35 т/га.

Водночас зрошення земель КЗС мінералізованими водами (EC_w в 2,02–2,65 дСм/м, які містять 1330–1750 мг/см³ солей) призвело до значного (у 3–4 рази) збільшення вмісту солей у ґрунтах. У кореневмісному шарі цих ґрунтів значення EC_e досягають 5,5 дСм/м, а значення TSS — 400 ppm, коли на суходолі ці параметри не перебільшують 1,3 дСм/м, а TSS 130 ppm (Табл. 2).

Таблиця 2

Вміст солей та електропровідність ґрунту на території КЗС та ПБЗС

Шар ґрунту, см	Електропровідність		Загальний вміст розчинних солей (TTS), ppm
	EC _{1:5} , дСм/м	EC _e , дСм/м	
КЗС (без зрошення)			
0-10	0,12	1,03	76,80
10-20	0,20	1,72	128,00
20-30	0,12	1,03	76,80
30-50	0,10	0,86	64,00
50-70	0,10	0,86	64,00
0-70 (середнє значення)	—	0,64	76,80
0-70 (запас солей, т/га)	—	—	4,14
КЗС (зрошення дощуванням)			
0-10	0,33	2,84	211,20
10-20	0,52	4,47	332,80
20-30	0,47	4,04	300,80
30-50	0,33	2,84	211,20
50-70	0,31	2,67	198,40
0-70 (середнє значення)	—	3,19	237,71
0-70 (запас солей, т/га)	—	—	12,80
КЗС (крапельне зрошення, під стрічкою)			
0-10	0,18	1,55	115,20
10-20	0,40	3,44	256,00
20-30	0,43	3,70	275,20
30-50	0,36	3,10	230,40
50-70	0,32	2,75	204,80
0-70 (середнє значення)	—	2,91	216,69
0-70 (запас солей, т/га)	—	—	11,67
КЗС (крапельне зрошення, між стрічками)			
0-10	0,27	2,32	172,80
10-20	0,50	4,30	320,00
20-30	0,64	5,50	409,60
30-50	0,55	4,73	352,00
50-70	0,39	3,35	249,60
0-70 (середнє значення)	—	4,04	300,80
0-70 (запас солей, т/га)	—	—	16,20
ПБЗС (без зрошення)			
0-10	0,14	1,20	89,60
10-20	0,08	0,69	51,20
20-30	0,07	0,60	44,80
30-50	0,07	0,60	44,80
50-70	0,05	0,43	32,00
0-70 (середнє значення)	—	0,65	48,46
0-70 (запас солей, т/га)	—	—	2,61
ПБЗС (зрошення дощуванням)			
0-10	0,18	1,55	115,20
10-20	0,1	0,86	64,00
20-30	0,1	0,86	64,00
30-50	0,08	0,69	51,20
50-70	0,07	0,60	44,80
0-70 (середнє значення)	—	0,68	62,17
0-70 (запас солей, т/га)	—	—	3,35

Значення EC_e більше ніж 2,0 дСм/м дозволяють класифікувати ці ґрунти як засолені, що призводить до помітного зниження врожайності більшості сільськогосподарських культур.

На засолення ґрунтів КЗС, як в кореневмісному шарі, так у всьому ґрунтовому профілі впливає спосіб зрошення. Найбільше зростання EC_e спостерігається за крапельного зрошення, особливо на глибині 20–50 см між поливними стрічками, де електропровідність досягає 5–6 дСм/м, TSS — 300–400 ppm (Табл. 2). У добре зволоженому ґрунті під стрічкою крапельного зрошення солі вимиваються вертикальним потоком води, тоді як між стрічками, де вологість ґрунту мінімальна, в результаті випаровування волога підіймається до поверхні ґрунту, що призводить до концентрації солей у поверхневих шарах ґрунту [24]. В цілому, що стосується ґрунтів КЗС, то в шарі ґрунту 0–70 см на незрошуваній ділянці міститься приблизно 4,14 т/га водорозчинних солей, у ґрунтах, які зрошуються дощуванням — 12,8 т/га, а де застосовується краплинне зрошення — 11,67 та 16,20 т/га.

Що стосується розподілу солей по ґрунтовому профілю (Табл. 2), то в ґрунтах КЗС, які зрошуються високо мінералізованими водами, головне місце, де накопичуються солі — це шар ґрунту 20–40 см. В суходільних ґрунтах та в ґрунтах ПБЗС, які зрошуються низько мінералізованими водами, високих концентрацій солей в окремих горизонтах не спостерігається, вони рівномірно розподілені по профілю ґрунту.

3.3. Вплив засолення ґрунту на сільськогосподарські рослини

Основною причиною пригнічення, та інколи загибелі рослин у засолених ґрунтах є високий осмотичний тиск ґрунтового розчину, який перевищує тиск клітинного соку рослин, внаслідок чого зменшується надходження води в окремі тканини, збільшується транспірація, погіршується асиміляція, дихання та утворення цукрів, що зрештою призводить до висихання й загибелі рослин. Цей процес має назву фізіологічна посуха. Різні сільськогосподарські культури, залежно від їхньої солестійкості, по-різному реагують на високі концентрації солей в ґрунтовому розчині (Табл. 3).

Таблиця 3

Солестійкість сільськогосподарських культур, найбільш поширених на землях ПБЗС та КЗС.

Група культур	Чутливість культур до засолення ґрунту – діапазон значень EC_e			Максимальне значення EC_e , за якого не знижується врожайність (дСм/м)
	чутливі (0–1,9 дСм/м)	помірно чутливі (2,0–3,9 дСм/м)	не чутливі (> 3,9 дСм/м)	
Польові	Горох			1,3
	Кукурудза			1,7
			Ячмінь	8,0
			Сорго	4,0
			Соя	5,0
			Буряк цукровий	7,0
			Пшениця озима і яра	6,0
Овочеві	Квасоля			1,0
	Капуста білоголова			1,8
	Капуста цвітна			1,0
	Цибуля			1,3
	Картопля			1,7
		Огірок		2,5
		Шпинат		2,0
		Томати		2,5
Кормові		Кавун		2,0
			Буряк столовий	4,0
	Трава садова			1,7
	Конюшина червона			1,5
	Конюшина біла			1,5
		Люцерна		2,8
		Трава суданська		2,3
		Вика		3,0
			Ячмінь	6,0
			Райграс	4,6
			Пирій	7,5

Найпростіший спосіб запобігти зниженню врожайності через засолення ґрунтів — це вирощування більш солестійких культур. Більшість культур витримують засолення ґрунту до певного порогового рівня, після якого врожайність знижується більш-менш лінійно зі збільшенням засоленості ґрунту [17, 25].

У таблиці 3 показано ступінь толерантності до засолення деяких, найбільш поширених на землях ПБЗС та КЗС, сільськогосподарських культур. Також до переліку включені культури, які потенційно можуть вирощуватися на цих землях. Ці дані дають можливість зробити певні рекомендації щодо оптимізації структури посівних площ на зрошуваних землях ПБЗС та КЗС. Зокрема, очевидно, що на зрошуваних землях ПБЗС, які не засолені, можна вирощувати будь-які щодо солестійкості сільськогосподарські культури. Найбільші значення EC_e в окремих шарах ґрунту ($EC_e = 1,5\text{--}1,6$ дСм/м) не є критичними і не призводять до зниження врожайності.

Що стосується зрошуваних земель КЗС, то тут ситуація складніша. У зв'язку з відносно високою небезпекою засолення ґрунтів на цих землях без втрати врожайності можна вирощувати культури лише помірно та найменш чутливі до засолення ґрунтів ($EC_e > 2$ дСм/м). Теперішня практика вирощування на цих землях в овочевих сівозмінах капусти білоголової та цибулі призводить до зменшення урожайності приблизно на 30 %. До того ж значні площі на землях КЗС зайняті посівами кукурудзи на зерно, яка поливається дощувальними агрегатами і, судячи з даних таблиць 2 та 3, при засоленні ґрунтів у 3,2 дСм/м, знижує врожайність практично вдвічі.

А отже врахування засолення ґрунту на зрошуваних землях у плануванні структури посівних площ та сівозмін дозволить збільшити продуктивність фермерських господарств та рентабельність виробництва.

4. Висновки

Отже, електропровідність поливної води змінюється в процесі транспортування в каналах та водосховищах у досить широких межах, але така вода належить до середнього ризику засолення ґрунтів ($EC_w = 0,7\text{--}3,0$ дСм/м). Водночас існує певна диференціація щодо якості поливної води. Так поливи земель ПБЗС здійснюються водою з електропровідністю 0,90–1,07 дСм/м, яка містить 595–707 мг/см³ солей, а поливи земель КЗС здійснюються водою з електропровідністю 1,86–2,65 дСм/м з умістом 1330–1750 мг/см³ солей.

Мінералізація зрошувальної води визначає ступінь засолення ґрунтів. Якщо ґрунти ПБЗС не засолені (EC_e становить менше ніж 2,0 дСм/м, а запас солей в шарі 0–70 см дорівнює лише 3,4 т/га), то в ґрунтах КЗС на зрошенні спостерігається значне (у 3–4 рази) збільшення вмісту солей порівняно з суходолом (значення EC_e досягає 5,5 дСм/м, а запас солей в шарі 0–70 см досягає 16,2 т/га). Згідно з чинною класифікацією такі ґрунти відносяться до засолених.

Аналіз розподілу солей по ґрунтовому профілю показав, що в ґрунтах КЗС, які зрошуються високомінералізованими водами, головним місцем, де накопичуються солі, є шар ґрунту 20–40 см. В ґрунтах ПБЗС, які зрошуються низькомінералізованими водами, високих концентрацій солей в окремих горизонтах не спостерігається, вони рівномірно розподілені по профілю ґрунту.

Аналіз показників толерантності окремих сільськогосподарських культур до засолення ґрунту показав, що на зрошуваних землях ПБЗС, які практично не засолені, можна вирощувати будь-які щодо солестійкості сільськогосподарські культури. А на землях КЗС, у зв'язку з високою небезпекою засолення ґрунтів без втрати врожайності можна вирощувати лише помірно та найменш чутливі до засолення ґрунтів сільськогосподарські культури. Наявна практика вирощування в овочевих сівозмінах білоголової капусти та цибулі призводить до 30 % зменшення урожайності, а вирощування кукурудзи на зерно на цих землях призводить до зниження врожайності практично удвічі.

Подальші дослідження процесів засолення ґрунтів на землях ПБЗС та КЗС повинні бути пов'язані з якісним складом солей, зокрема з більш детальним вивченням впливу певних катіонів та аніонів на ріст та розвиток саме тих сільськогосподарських культур, які вирощуються на цих землях.

Список використаних джерел

1. FAO. Global Map of Salt Affected Soils Version 1.0. 2021. Retrieved from <https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-maps-and-databases/global-map-of-salt-affected-soils/en/>.
2. Negacz K., Malek Z., De Vos A., Vellinga P. Saline soils worldwide: Identifying the most promising areas for saline agriculture. *Journal of Arid Environments*. 2022. № 203. P. 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2022.104775>

3. Екологічний стан ґрунтів України. / С.А. Балюк, В.В. Медведєв, М.М. Мірошниченко [та ін.]. *Український географічний журнал*. 2012. № 2. С. 38–42. https://ukrgeojournal.org.ua/sites/default/files/UGJ-2012-2-38_0.pdf
4. Vargas R., Pankova E. I., Balyuk S. A., Krasilnikov P. V., Khasankhanova G. M. (Eds.). Handbook for saline soil management. Rome: FAO. 2018. 132 p. https://www.researchgate.net/publication/325050118_Handbook_for_Saline_soil_management_Eurasian_Soil_Partnership_implementation_plan
5. Ehtaiwesh A. F. The effect of salinity on nutrient availability and uptake in crop plants. *Journal of Applied Science*. 2022. №9. P. 55–73. <https://doi.org/10.47891/sabujas.v0i0.55-73>.
6. Xiu-wei L., Feike T., Su-ying C., Li-wei S., Hong-yong S., Xi-ying Z. Effects of saline irrigation on soil salt accumulation and grain yield in the winter wheat-summer maize double cropping system in the low plain of North China. *Journal of Integrative Agriculture*. 2016. № 15(12). P. 2886–2898. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(15\)61328-4](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(15)61328-4).
7. Water use, soil water balance and soil salinization risks of Mediterranean tree orchards in southern Portugal under current climate variability: Issues for salinity control and irrigation management. / T. B. Ramos, H. Darouich, A. R. Oliveira [et al.]. *Agricultural Water Management*. 2023. № 283. 108319. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108209>.
8. Воротинцева Л. І., Ніколюк В. І. Агрогенні зміни властивостей темно-каштанового цілинного та орного ґрунту за різного використання та зрошення. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2021. Вип. 91. С. 12–21. <https://doi.org/10.31073/acss91-02>.
9. Чорноземи зрошуваних земель Одеської області: монографія / Красєха Є.М. Біланчин Ю. М. (Ред.). Одеса: ОНУ. 2016. 194 с. http://dspace.onu.edu.ua:8080/bitstream/123456789/20770/3/Chornozem_mas.pdf
10. Цуркан О. І. Ретроспективний та сучасний стан чорноземів Нижньодністровської зрошувальної системи. *Вісник Одеського національного університету. Серія Географія та геологія*. 2019. Т. 24. Вип. 1(34). С. 119–129. [http://liber.onu.edu.ua/pdf/visn_geo_1\(34\)_2019.pdf](http://liber.onu.edu.ua/pdf/visn_geo_1(34)_2019.pdf)
11. Найдьоньова О. Є., Воротинцева Л. І. Агрогенна трансформація чорнозему звичайного за тривалого зрошення мінералізованою водою. *Агроекологічний журнал*. 2015. № 2. 47–52.
12. Чорний С. Г., Ісаєва В. В. Просторово-часова трансформація якості поливних вод на Південно-Бузькій та Кам'янській зрошувальних системах. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2022. № 93. С. 33–42. <https://doi.org/10.31073/acss93-04>
13. Ayers R. S., Westcot D. W. Water Quality for Agriculture. FAO irrigation and drainage paper. 29. Rome: FAO. 1994. 97 p. <https://www.fao.org/3/t0234e/t0234e00.htm>
14. Zaman M., Shahid S. A., Heng L. Irrigation water quality. In: *Guideline for Salinity Assessment, Mitigation and Adaptation Using Nuclear and Related Techniques*, 2018. P. 113–131. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-96190-3_5
15. Chorny S. G. Isaeva V. V. Agronomic evaluation of irrigation water on the Southern Buh and Kamianska irrigation systems. *Journal of water and land development*. 2022. № 54. P. 77–83. <https://journals.pan.pl/dlibra/publication/141557/edition/124436/content>
16. Чорний С. Г. Оцінка якості ґрунтів. Навчальний посібник. Миколаїв. МНАУ. 2018. 233 с. https://www.researchgate.net/publication/370498297_OCINKA_AKOSTI_GRUNTIV.
17. Hazelton P., Murphy B. Interpreting Soil Test Results. What Do All the Numbers Mean? Collingwood: CSIRO Publishing. 2016. 152 p. <https://doi.org/10.1071/9780643094680>
18. Kargas G., Chatzigiakoumis I., Kollias A., Spiliotis D., Massas I., Kerkides P. Soil Salinity Assessment Using Saturated Paste and Mass Soil: Water 1:1 and 1:5 Ratios Extracts. *Water*. 2018. № 10. 1589. <https://doi.org/10.3390/proceedings2110661>.
19. Soil survey manual. Soil Science Division Staff. Agriculture Handbook № 18. USDA. Washington, D.C. 2017. 605 p. <https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-09/The-Soil-Survey-Manual.pdf>
20. Richards L. A. (Ed.). Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils. USDA Agriculture Handbook № 60. Washington DC: USDA. 1954. 160 p. https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/20360500/hb60_pdf/hb60complete.pdf
21. Grieve C. M., Grattan S. R., Maas E. V. Plant salt tolerance. In: *Agricultural salinity assessment and management*. Wallender WW, Tanji KK, (Eds.). ASCE Manual and Reports on Engineering Practice No. 71, 2nd ed. Reston, VA, US: ASCE. 2013. P. 405-459. <https://doi.org/10.1061/9780784411698.ch13>
22. Nikolaou G., Neocleous D., Christophi C., Heracleous T., Markou M. Irrigation ground water quality characteristics: a case study of Cyprus. *Atmosphere*. 2020. № 11, 302. <https://doi.org/10.3390/atmos11030302>
23. Hussain G., Alquwaizany A., Al-Zarah A. Guidelines for irrigation water quality and water management in the Kingdom of Saudi Arabia: an overview. *Journal of Applied Sciences*. 2010. № 10(2). P. 79–96. <https://scialert.net/abstract/?doi=jas.2010.79.96>
24. Hanson B. R., Bendixen W. E. Drip irrigation salinity under controls soil row crops. *California Agriculture*. 1995. № 49(4). P. 19–23. <https://ucanr.edu/repository/fileAccessPublic.cfm?fn=ca4904p19-169913.pdf>
25. Ayers R. S. Quality of water for irrigation // *Journal of the irrigation and Drainage Division*. 1977. Т. 103. №. 2. С. 135-154.

UDC 631.4

Impact saline water irrigation on soil salinization processes in the Southern Bug and Kamianska irrigation systems

S. G. Chorny^{1*}, V. V. Isaieva²¹ Black Sea National University named after Petro Mohyla, Mykolaiv, Ukraine² Mykolaiv National Agrarian University, Mykolaiv, Ukraine

*E-mail: s.g.chorny@gmail.com

In Ukraine, irrigation development is hampered by a shortage of high-quality irrigation water. Irrigation with mineralized irrigation water causes soil salinization, which negatively affects crop productivity, soil quality, and surface water conditions. The purpose of this article is to analyze the impact of irrigation water of different mineralization on soil salinity in the Southern Bug and Kamianske irrigation systems. The field and laboratory studies used the methods and criteria of the salinity laboratory of the US Department of Agriculture and the Food and Agriculture Organization. The studies showed that irrigation is carried out with water that has an average risk of soil salinity ($EC_w = 0.7-3.0$ dS/m). At the same time, there is some spatial differentiation in the quality of irrigation water. The lands of the Southern Bug irrigation system are irrigated with water with an electrical conductivity of 0.90-1.07 dS/m, and the lands of the Kamianska irrigation system are irrigated with water with an electrical conductivity of 1.86-2.65 dS/m. The mineralization of irrigation water determines the degree of soil salinity. While the soils of the Southern Bug irrigation system are not saline (EC_e is less than 2.0 dS/m), the soils of the Kamianske irrigation system have a significant accumulation of salts (EC_e reaches 5.5 dS/m). According to the Food and Agriculture Organization classification, such soils are classified as saline. Analysis of the salinity tolerance of individual crops showed that any crops of any salt tolerance can be grown on the irrigated lands of the Southern Bug irrigation system. And on the lands of the Kamianske irrigation system, only moderately sensitive and least sensitive crops to soil salinity can be grown without loss of yield. The conducted research allows us to adjust the structure of sown areas and the structure of crop rotations in terms of salt tolerance of certain crops.

Keywords: drip irrigation; irrigation water quality; soil electrical conductivity; soil salinity; sprinkling

Citing: Chornyy, S. G., Isaieva, V. V. (2023). Impact saline water irrigation on soil salinization processes in the Southern Bug and Kamianska irrigation systems. *AgroChemistry and Soil Science*, 95, 4-12. [doi:10.31073/acss95-01...](https://doi.org/10.31073/acss95-01...) [in Ukrainian].