



Original researches

Influence of Phosphogypsum on the Chemical Composition of Aqueous Extract from Soil

D. M. Onopriienko¹, A. V. Shepel'², T. K. Makarova¹

¹Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine

²Kherson State Agrarian University, Kherson, Ukraine

Received: 09 July 2019

Revised: 22 July 2019

Accepted: 25 July 2019

Dnipro State Agrarian and Economic University, Serhii Efremov Str., 25, 49000, Dnipro, Ukraine

Kherson State Agrarian University, Stretenskaya Str., 23, 73006, Kherson, Ukraine

Tel.: +38-066-327-63-67

E-mail: shvydenkoTK@i.ua

Cite this article: Onopriienko, D. M., Shepel', A. V., & Makarova, T. K. (2019). Influence of phosphogypsum on the chemical composition of aqueous extract from soil. *Agrology*, 2(3), 151–155. doi: 10.32819/019022

Abstract. Crop irrigation on chernozems inappropriate to ecological requirements is often accompanied by degradation changes of soils: flooding, secondary salinization and soil alkalinity, destructurization, violation of gas regime, dehumidification, etc. Thus the necessity occurred to study comprehensively the changes in agroecological state of soils, having been irrigated with mineral water under conditions of the Northern Steppe of Ukraine. It has been proved that the irrigated soil solonization is a widespread negative process on irrigated lands, which is determined by the qualitative composition of irrigation water, the initial soil properties, which determines their anti solonization buffering, depth of occurrence, and mineralization of groundwater. According to the latest publications, the area of irrigated solonized soils of Ukraine is almost 800 thousand hectares, of which more than 700 thousand hectares are poorly solonized, about 90 thousand hectare are medium and high solonized. Field experiments, based on the state enterprise “Experimental farm of Dnipro experimental station of the Institute of vegetable and melon growing of the National Academy of Sciences of Ukraine” (Oleksandrivka village of Dniprovsky district, Dnipropetrovsk region, 2010–2015), included 4 variants and two factors: phosphogypsum application as a chemical ameliorant by various dosages under irrigation and without it. Analysis of the water extraction of soil in all variants of experiments showed an increase in water-soluble salts (sulfates by anions, calcium by cations) when calcium-containing meliorants are introduced. However, phosphogypsum application with different dosages did not significantly affect the type of soil salinity. In all experiments with phosphogypsum application the largest number of anions was in sulfate type of salinity, and cations in sodium one, which is explained by the inflow of these ions with irrigation water and phosphogypsum. Exceptions are checklists. According to the content of toxic salts, all variants ranged from 0.3% to 0.6%, that is, according to the sulfate type, they were characterized by an average degree of soil salinity. The introduction of phosphogypsum on irrigated alkalized soils under irrigation and without it, leads to an increase in the total amount of salts in the soil layer of 0 to 15 cm in comparison with the initial parameters (up to 4.22 meq/100 g of soil). When phosphogypsum was applied at a rate of 6 t/ha without irrigation, salt accumulation in the layer 45–60 cm was observed, and when irrigated and introduced phosphogypsum at a rate of 3 t/ha salt was concentrated in a layer of 75–60 cm. In the soil layer 90–105 cm, the amount of salts was leveled to the initial conditions. Chemical melioration results to increase Ca²⁺ ions throughout the soil profile. Concentration of sodium ions in the application of phosphogypsum in the arable soil layer decreased by 30–37% due to the increase of calcium ion and displacement of sodium sulfate in the lower horizons.

Keywords: irrigation solonization; phosphogypsum; change of soil ions; soil profile.

Вплив фосфогіпсу на хімічний склад водної витяжки ґрунту

Д. М. Онопрієнко¹, А. В. Шепель², Т. К. Макарова¹

¹Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро, Україна

²Херсонський державний аграрний університет, м. Херсон, Україна

Анотація. Невідповідні еколого-меліоративним режимам поливи сільськогосподарських культур на чорноземах часто супроводжуються деградаційними змінами ґрунтів: підтопленням, вторинним засоленням та їх осолонцюванням, знеструктуренням, порушенням газового режиму, дегуміфікацією тощо. Тому виникла необхідність комплексного вивчення змін агроекологічного стану ґрунтів, які тривалий час поливали в умовах Північного Степу України мінералізованою водою. Осолонцювання зрошуваних ґрунтів, як доведено, є поширеним негативним процесом на зрошуваних землях, який визначається якісним складом поливної води, вихідними властивостями ґрунтів, що обумовлює їх протисолонцюючу буферність, глибину залягання, і мінералізацією підґрунтових вод. Згідно з останніми публікаціями, площа зрошуваних солонцюватих ґрунтів України становить майже 800 тис. га, з них слабосолонцюватих – понад 700 тис. га, середньо- і сильносолонцюватих – близько 90 тис. га. Польові досліді, закладені на базі державного підприємства “Дослідне господарство Дніпровської дослідної станції Інституту овочівництва і баштаниництва НААН України” (с. Олександрівка Дніпровського району Дніпропетровської області, 2010–2015 рр.), включали 4 варіанти та два

фактори: внесення фосфогіпсу як хімічного меліоранту різними нормами в умовах зрошення та без нього. Аналіз водної витяжки ґрунту в усіх варіантах дослідів показав збільшення водорозчинних солей (за аніонами – сульфатів, за катіонами – кальцію) при внесенні кальцієвмісних меліорантів. Але внесення фосфогіпсу різними розрахунковими нормами суттєво не впливало на тип засолення ґрунту. В усіх варіантах дослідів з внесенням фосфогіпсу найбільшою кількістю аніонів характеризувався сульфатний тип засолення, а катіонів – натрієвий, що пояснюється надходженням цих іонів з поливною водою та фосфогіпсом. Виняток становлять контрольні варіанти. За вмістом токсичних солей усі варіанти мали значення від 0,3% до 0,6%, тобто відповідно до сульфатного типу характеризуються середнім ступенем засолення ґрунтів. Внесення фосфогіпсу на іригаційно солонцюватих ґрунтах при зрошенні та без нього приводить до збільшення загальної суми солей у шарі ґрунту 0–15 см порівняно з початковими параметрами (до 4,22 мекв/100 г ґрунту). При внесенні фосфогіпсу нормою 6 т/га без зрошення спостерігали накопичення солей у шарі 45–60 см, а при зрошенні та внесенні фосфогіпсу нормою 3 т/га солі концентруються у шарі 75–60 см. У шарі ґрунту 90–105 см кількість солей вирівнюється до початкових умов. Хімічна меліорація збільшує кількість іонів Ca^{+2} по всьому профілю ґрунту. Концентрація іонів натрію при внесенні фосфогіпсу в орному шарі ґрунту зменшилася на 30–37% за рахунок збільшення кальцій-іона та витіснення сульфату натрію в нижні горизонти.

Ключові слова: іригаційне осолонцювання; фосфогіпс; зміна іонів ґрунту; профіль ґрунту.

Вступ

Сільське господарство в зоні Північного Степу України за зрошення завжди характеризувалося високими показниками ефективності. Поливи неякісною водою та недотримання культури ведення зрошувального землеробства спричинили зниження родючості ґрунтів та забруднення довкілля (Antipov-Karataev & Pak, 1966). Поливи водою низької якості, недотримання режимів зрошення на чорноземах звичайних у більшості випадків супроводжуються деградаційними змінами ґрунтів: підтопленням, вторинним засоленням та осолонцюванням, знеструктуренням, порушенням повітряного режиму, дегуміфікацією тощо. Тому виникла необхідність комплексного вивчення змін агроекологічного стану ґрунтів, які тривалий час поливали в умовах Північного Степу мінералізованою водою.

Сьогодні осолонцювання зрошуваних ґрунтів є поширеним негативним процесом на зрошуваних землях, рівень якого залежить від якості поливної води, вихідних властивостей ґрунтів, що обумовлює їх протисолонцюючу буферність та глибину залягання, і мінералізації підґрунтових вод. В останніх публікаціях повідомляється, що площа зрошуваних солонцюватих ґрунтів України становить близько 800 тис. га, з них слабосолонцюватих – понад 700 тис. га, середньо- і сильносолонцюватих – близько 90 тис. га (Bentserovskiy & Lisovyi, 2002; Baliuk, 2009, 2012; Lozovitskiy, 2010; Mesic et al., 2016).

Одним із способів запобігання іригаційному осолонцюванню зрошуваних ґрунтів є хімічна меліорація, зокрема внесення в ґрунт кальцієвмісних меліорантів (гіпс, фосфогіпс, крейда, вапно, хлористий кальцій), кислот чи кислих форм меліорантів. (Zubets, 2004; Zborishhuk & Buhanova, 1987; Ayres et al., 2001).

Незважаючи на значний практичний досвід використання хімічних меліорантів актуальним залишається розрахунок норм внесення діючих речовин, використання як меліорантів побічного продукту промислового виробництва, насамперед фосфогіпсу. Наразі норми внесення хімічних меліорантів досліджені недостатньо і носять виключно рекомендаційний характер, залежно від типу ґрунту. І хоча стан ґрунтів реєструється як незадовільний, зрошення так само проводять водою неналежної якості. Ось чому комплексне вивчення впливу різних норм меліорантів і процесів гіпсування осолонцюваних ґрунтів та перспектив ведення екологічно безпечного зрошувального землеробства в Північному Степу України й на тепер зостається актуальним і має здійснюватися за сучасними арготехнологіями.

Мета наших досліджень полягала у визначенні ефективності хімічної меліорації фосфогіпсом солонцюватих чорноземів для відтворення їх родючості.

Матеріал і методи досліджень

Для вирішення завдань використовували теоретичні методи досліджень, що базувалися на системному підході до обговорюваної проблеми, методи аналізу та синтезу – для вивчення способів боротьби зі засоленням; експериментальні дослідження, що передбачають проведення польових і лабораторних досліджень. Польові дослідження проводили з відбиранням зразків ґрунту для лабораторних дослідів, щоб визначити хімічні властивості ґрунту; математично-статистичний метод – для оцінки вірогідності отриманих результатів досліджень; розрахунково-порівняльний – для встановлення ефективності впливу різних норм фосфогіпсу та умов зрошення; програмування – для побудови математичних моделей залежності хімічних властивостей ґрунту від норм внесення меліорантів та зрошення.

Досліди проводили на базі державного підприємства “Дослідне господарство Дніпровської дослідної станції Інституту овочівництва і баштанництва НААН України” (с. Олександрівка Дніпровського району Дніпропетровської області). Закладені польові досліди включали 4 варіанти та два фактори: В1 – без внесення фосфогіпсу без зрошення (контроль); В2 – без внесення фосфогіпсу зі зрошенням (контроль); В3 – внесення фосфогіпсу під культивування навесні нормою 1,4 т/га без зрошення; В4 – внесення фосфогіпсу під культивування навесні нормою 3 т/га без зрошення; В5 – внесення фосфогіпсу восени під основний обробіток ґрунту нормою 6 т/га без зрошення; В6 – внесення фосфогіпсу під культивування навесні нормою 1,4 т/га зі зрошенням; В7 – внесення фосфогіпсу під культивування навесні нормою 3 т/га зі зрошенням; В8 – внесення фосфогіпсу восени під основний обробіток ґрунту нормою 6 т/га зі зрошенням. Площа облікової ділянки 50 м². Повторюваність досліду чотириразова з розщепленим розміщенням ділянок. Фосфогіпс вносили розрахунковими дозами в запас на три роки. Меліоративну дозу внесення фосфогіпсу визначали за витісненням обмінного натрію з ґрунтового вбирного комплексу, щоб запобігти осолонцюванню ґрунту мінералізованими водами (за вмістом натрію в поливній воді), коагуляційно-пептизаційним методом та допоглинанням ґрунтом кальцію.

Результати

Вплив хімічної меліорації фосфогіпсом на зрошуваних солонцюватих чорноземах спостерігали при зміні хімічного складу водної витяжки ґрунту. До показників аналізу хімічного складу водної витяжки ґрунту належать хімізм (тип) та ступінь засолення.

Хімізм засолення визначали за складом аніонів і катіонів в орному шарі ґрунту, беручи до уваги передусім ті аніони, вміст

яких перевищує 20% від їх загальної суми. При цьому аніон, що переважає, у назві займає останнє місце. Вміст аніонів CO_3 не враховують, оскільки вони, згідно з Інструкцією щодо проведення ґрунтово-сольової зйомки на зрошуваних землях України, входять до величини загальної лужності. За катіонним складом у назві відображають назву іонів, які мають найбільшу кількість.

Аналіз водної витяжки ґрунту в усіх варіантах дослідів показав збільшення водорозчинних солей за аніонами – сульфатів, за катіонами – кальцію при внесенні кальцієвмісних меліорантів, але внесення фосфогіпсу різними розрахунковими нормами суттєво не впливало на тип засолення в орному шарі. В усіх варіантах дослідів з внесенням фосфогіпсу найбільшою кількістю аніонів характеризується сульфатним (С) типом засолення, а за кількістю катіонів – натрієвим (Н). Тенденція до збереження цих показників пояснюється надходженням іонів сульфату та натрію з меліорантом на незрошуваних ділянках. Збільшення цих показників на 10–15% у варіантах зі зрошенням відбувається за рахунок надходження цих іонів з водою. За хімізмом різняться лише варіанти на контрольних ділянках.

Варіанти зі зрошенням та без внесення фосфогіпсу (В2) за всі роки досліджень характеризувалися сульфатно-натрієвим (СН) типом і лише у 2015 році – хлоридно-сульфатно-натрієвим (ХСН), що пояснюється надходженням 14,65 мекв/л хлору з поливною водою в цей період (таблиця).

Контрольна ділянка без внесення меліоранту та без зрошення (В1) поступово відновлює природний хімізм зі содово-сульфатно-натрієвого (СдСН) у 2011 році до сульфатно-кальцієво-натрієвого (СКН) – таблиця.

Ступінь засолення ґрунту визначають як за окремими іонами у відсотковому вигляді, так і з урахуванням “сумарного ефекту” токсичних солей. Суміші солей менш токсичні, ніж їх чисті накопичення, тому і враховують “сумарний ефект” від сумішей, який менш токсичний за окремі іони. Можливі варіанти солей та їх кількість встановлюють гіпотетично, виходячи зі загальної суми, за аніонами та катіонами. “Сумарний ефект” токсичних іонів виражають в еквівалентах хлору, з огляду на співвідношення: $1\text{Cl}^{-1} = 0,1\text{CO}_3^{-2} = (2,5-3,0)\text{HCO}_3^{-1} = (5,6-6,0)\text{SO}_4^{-2}$. Далі визначають ступінь засолення ґрунту. Найявність превалюючих нейтральних сульфат-іонів та іонів кальцію не враховують, оскільки їх вважають нетоксичними.

За встановленим хімізмом (типом) засолення визначають ступінь засолення за вмістом токсичних солей у відсотках. За вмістом токсичних солей усі варіанти, крім В1, мають значення 0,3–0,6%, що відповідно до сульфатного типу засолення характеризуються середнім ступенем. У варіанті В1 для сульфатного типу значення потрапляють до діапазону 0,15–0,3%, що характерно для слабозасоленого типу (2011, 2013–2015 роки).

“Сумарний ефект” токсичних іонів в еквівалентах хлору (мекв) майже завжди збігається зі ступенем засолення, визначеним за вмістом токсичних солей (%). У нашому випадку виняток становив варіант В1, де у 2014 та 2015 роках значення потрапили до діапазону 0,3–1,0 мекв – ґрунт середньозасолений.

Найкращі показники зміни ступеня засолення та хімізму відзначали у варіантах В5 та В7.

Дослідження зміни сольового складу ґрунтового профілю на третій рік післядії показали найбільше накопичення солей у шарі 0–15 см: 4,22 мекв/100 г ґрунту у варіанті з внесенням

Таблиця. Хімізм та ступінь засолення ґрунтів дослідної ділянки

Варіант досліджу	Ступінь засолення, хімізм (тип) засолення	Рік досліджень				
		2011	2012	2013	2014	2015
В1	eCl, мекв	0,61	1,39	0,76	1,01	1,07
	$S_{\text{токс.солей}}, \%$	0,21	0,32	0,29	0,22	0,26
В2	хімізм (тип)	СдСН	СН	СН	СКН	СКН
	eCl, мекв	1,39	1,69	1,99	1,69	2,08
В3	$S_{\text{токс.солей}}, \%$	0,3	0,35	0,36	0,34	0,34
	хімізм (тип)	СН	СН	СН	СН	ХСН
В4	eCl, мекв	1,39	1,49	1,63	1,80	2,06
	$S_{\text{токс.солей}}, \%$	0,37	0,38	0,35	0,45	0,44
В5	хімізм (тип)	СН	СН	СН	СН	СН
	eCl, мекв	1,39	1,52	1,96	1,76	1,99
В6	$S_{\text{токс.солей}}, \%$	0,39	0,39	0,37	0,46	0,47
	хімізм (тип)	СН	СН	СН	СН	СН
В7	eCl, мекв	1,7	1,62	1,88	1,70	1,77
	$S_{\text{токс.солей}}, \%$	0,4	0,38	0,38	0,46	0,45
В8	хімізм (тип)	СН	СН	СН	СН	СН
	eCl, мекв	1,6	1,51	1,75	1,79	1,85
В9	$S_{\text{токс.солей}}, \%$	0,58	0,41	0,4	0,48	0,47
	хімізм (тип)	СН	СН	СН	СН	СН
В10	eCl, мекв	1,5	1,41	1,56	1,62	1,67
	$S_{\text{токс.солей}}, \%$	0,42	0,41	0,40	0,48	0,46
В11	хімізм (тип)	СН	СН	СН	СН	СН
	eCl, мекв	1,5	1,48	1,48	1,58	1,67
В12	$S_{\text{токс.солей}}, \%$	0,41	0,41	0,41	0,47	0,47
	хімізм (тип)	СН	СН	СН	СН	СН

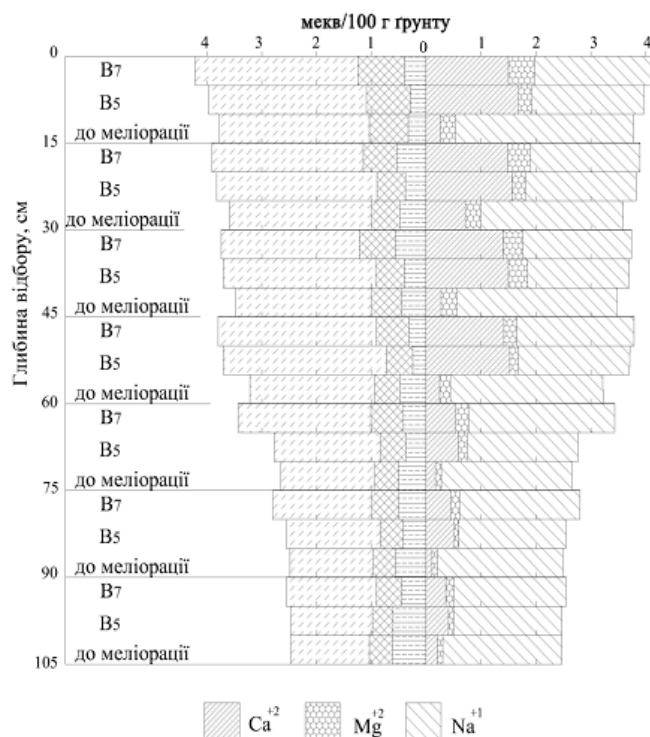


Рис. Вплив фосфогіпсу при зрошенні та без нього на сольовий профіль ґрунту (третій рік післядії)

фосфогіпсу під культивування навесні нормою 3 т/га зі зрошенням (B7) – рисунок. Варіант B5 підвищив кількість солей на 0,19 мекв/100 г ґрунту відносно початку меліорації. Кількість солей у варіанті B7 на 0,022 та 0,0189 мекв/100 г ґрунту реєстрували більшою порівняно з даними варіанта B5 до шару 0–30 см. У шарі 45–60 см цього ж варіанта спостерігали накопичення водорозчинних солей сульфату натрію після меліорації фосфогіпсом (3,7 мекв/100 г ґрунту), тоді як для B7 – шар 75–60 см (3,43 мекв/100 г ґрунту). Для шару 90–105 см кількість солей відновлюється до початкового рівня.

У всіх варіантах дослідів концентрація іонів Cl^{-1} та SO_4^{-2} знижується за профілем, але все ж перевищує межу токсичності 0,3 та 2 мекв/100 г ґрунту. При зрошенні найвищу концентрацію іонів HCO_3^{-1} відзначили у шарі 15–30 см.

Концентрація натрію до проведення досліджень у шарі 0–15 см становила 3,25 мекв/100 г ґрунту. Внесення меліоранту знизило її до 2,04 мекв/100 г ґрунту, при зрошенні – до 2,25 мекв/100 г ґрунту, що пояснюється надходженням іонів з поливною водою. За профілем відбувається підтягування іонів Na^{+1} при B7 до шару 60–75 см (2,66 мекв/100 г ґрунту), для B5 до шару 45–60 см (2,03 мекв/100 г ґрунту). У нижніх горизонтах концентрація поступово вирівнюється до початкових умов.

При внесенні фосфогіпсу відбувається основний позитивний меліоративний ефект: збільшення іонів Ca^{+2} по всьому профілю. Найбільша кількість іонів кальцію у варіанті B5 (шар 0–15 см) – 1,69 мекв/100 г ґрунту. За профілем при проведенні меліорації на третій рік післядії іони Ca^{+2} концентруються у шарі 45–60 см – 1,41–1,51 мекв/100 г ґрунту, що долає дефіцит цього елемента в ґрунтового профілі.

Обговорення

Аналіз водної витяжки ґрунту в дослідях показав збільшення водорозчинних солей за аніонами – сульфатів, а за катіонами – кальцію при внесенні кальцієвмісних меліорантів, що

збігається з даними досліджень проведених іншими вченими (Antipov-Karataev & Pak, 1966; Gase, 1985; Romashchenko et al., 2005).

При внесенні норми фосфогіпсу, яка розрахована на витіснення обмінного натрію з ґрунтового поглинального комплексу без зрошення, зміна властивостей малонатрієвих ґрунтів не показала позитивного результату. Основною причиною такої негативної дії фосфогіпсу було недостатнє атмосферне зволоження на території. Подібні результати вже були отримані і в дослідях (Morozov et al., 2003; Baliuk, 2012).

Висновки

У всіх варіантах дослідів зареєстроване збільшення водорозчинних солей за аніонами – сульфатів, а за катіонами – кальцію при внесенні кальцієвмісних меліорантів. Однак внесення фосфогіпсу різними розрахунковими нормами суттєво не впливає на тип засолення в орному шарі ґрунту. Внесення фосфогіпсу за кількістю аніонів характеризується сульфатним типом засолення, а катіонів – натрієвим, що пояснюється надходженням цих іонів з поливною водою та меліорантом. За вмістом токсичних солей усі варіанти відносно сульфатного типу засолення відзначаються середнім ступенем засолення.

Проведення хімічної меліорації фосфогіпсом на іригаційно солонцюватих ґрунтах при зрошенні та без нього приводить до збільшення загальної суми солей у шарі ґрунту 0–15 см порівняно з початковими параметрами підвищується кількість іонів Ca^{+2} по всьому профілю ґрунту. Концентрація іонів натрію при внесенні фосфогіпсу в орному шарі ґрунту знижується на 30–37% за рахунок збільшення кальцій-іона та витіснення сульфату натрію в нижні горизонти.

Подальші дослідження будуть спрямовані на вивчення комплексної дії меліоративних та агротехнічних заходів при поливах мінералізованими водами з метою поліпшення фізичних, фізико-хімічних, хімічних та біологічних властивостей солонцюватих ґрунтів.

References

- Antipov-Karataev, I. N., & Pak, K. I. (1966). Opyty po melioracii soloncov v uslovijah bogary na Ergenjaj [Experiments on amelioration of solontsy in conditions of rainfields on the Ergens]. *Zemledel'cheskoe osvoenie polupustynnyh zemel'*, 3, 7–30 (in Russian).
- Ayres, R. U., Holbery, J., & Audersson, B. (2001). Materials and the Global Environment: Waste Mining in the 21st century. *MRS Bulletin*, 26(6), 477–480. doi: [10.1557/mrs2001.119](https://doi.org/10.1557/mrs2001.119)
- Baliuk, S. A. (Ed.). (2009). *Naukovi osnovy okhorony ta ratsionalnoho vykorystannia zroshuvanykh zemel' Ukrainy* [Scientific bases of protection and rational use of irrigated lands of Ukraine]. Kyiv (in Ukrainian).
- Baliuk, S. A. (Ed.). (2012). *Suchasna koncepcija himichnoi' melioracii' kyslyh i soloncevyh gruntiv* [Contemporary concept of chemical melioration of acid and saline soils]. Harkiv (in Ukrainian).
- Bentserovskiy, D. M., & Lisovy, M. V. (2002). Suchasnyi stan ta perspektyvy rozvytku khimizatsii zemlerobstva [Current state and prospects for the development of agricultural chemistry]. *Agrochemistry and Soil Science*, 75–81 (in Ukrainian).
- Gase, N. I. (1985). *Izmenenie fiziko-himicheskikh svoystv solonca v zavisimosti ot norm gipsa* [Changes in the physicochemical properties of solonets depending on the norms of gypsum]. In: S. B. Stepanov (Ed.), *The role of soil in managing the productivity of agrocenoses* (pp. 27–32). SZNIISH, Leningrad (in Russian).
- Lozovitskiy, P. S. (2010). *Vodni ta khimichni melioratsii gruntiv* [Water and chemical soil reclamation]. Publishing and Printing Center "Kyiv University", Kyiv (in Ukrainian).
- Mesic, M., Brezinscak, L., Zgozelec, Z., Perčin, A., Šestak, I., Bilandzija, D., Trdenić, M., & Lisac, H. (2016). The Application of Phosphogypsum in Agriculture / *Agriculture Conspectus Scientificus*, 81(1), 7–13.
- Morozov, V. V., Hranovska, L. M., & Poliakov, M. H. (2003). *Ekoloho-melioratyvni umovy pryrodokorystuvannia na zroshuvanykh landshaftakh Ukrainy: navchalnyi posibnyk* [Ecological and land reclamation conditions of natural resources in irrigated landscapes of Ukraine: tutorial]. Ailant, Kyiv–Kherson (in Ukrainian).
- Romashchenko, M. I., Drochynsk, E. S., & Shevchenko, A. M. (2005). *Informatsiine zabezpechennia zroshuvanoho zemlerobstva. Kontseptsii, struktura, orhanizatsiia* [Information support for irrigated agriculture. Concept, structure, organization]. Ah-rarna nauka, Kyiv (in Ukrainian).
- Zborishhuk, N. G., & Buhanova, O. B. (1987). *K voprosu o gipsovanii juzhnyh chernozemov v celjah predotvrashhenija ih osoloncevanija pri oroshenii* [On the issue of plastering southern chernozem in order to prevent their alkalization during irrigation]. *Agrochemistry*, 10, 70–75 (in Russian).
- Zubets, M. V. (Ed.). (2004). *Naukovi osnovy ahropromyslovoho vyrobnytstva v zoni Lisostepu Ukrainy* [Scientific fundamentals of agricultural production in the forest-steppe zone of Ukraine]. Kyiv (in Russian).