



Original researches

Modelling of Salt Composition of Soils of Rice Crop Rotations

S. G. Vojegov, K. V. Dudchenko

Rice research institute NAAS of Ukraine, Antonivka, Ukraine

Received: 17 January 2020

Revised: 27 January 2020

Accepted: 28 January 2020

Institute of rice NAAS of Ukraine,
Studentska Str., 11, Antonivka,
Skadovsk district, Kherson region,
75705, Ukraine

Tel.: +38-095-464-12-26

E-mail: catherin.dudchenko@gmail.com

Cite this article: Vojegov, S. G., & Dudchenko, K. V. (2020). Modelling of salt composition of soils of rice crop rotations. *Agrology*, 3(1), 33–38. doi: 10.32819/020005

Abstract. Rice growing, in contrast to other agricultural crops, significantly changes the main soil processes, including water-air, nutrient, oxidation-reduction and salt regimes. Changes in the structure of crop rotation, growing technologies of agricultural crops and deterioration of the technical state of the rice irrigation system can lead to the development of processes of secondary salinization and solonetzification of soils, decrease of their fertility. To determine the influence of long-term rice growing on the salt composition of the main soil types of irrigated rice crop rotations, the models of qualitative composition of hypothetical salts for the soil layer up to 2 m with the comparison of salt composition before sowing (spring) and after harvesting of agricultural crops (autumn) are constructed. The model of qualitative composition of hypothetical salts of dark chestnut soil shows insignificant differences between the salt composition in spring and autumn, a decrease in the number of non-toxic salts and an increase of the part of toxic salts in the soil layer deeper than 80 cm in autumn. The salinization type of the all investigated layers of dark chestnut solonetzic soil is sulfate, calcium-sodium. The modelling of the salt composition of meadow-chestnut solonetzic soil indicates positive changes after growing of agricultural crops in connection with the appearance of non-toxic salt of calcium sulfate in the soil layer below 1 m. The type of salinization of meadow-chestnut solonetz soil is sulphate, calcium-sodium, and magnesium-sodium from a depth of 60 cm. The qualitative composition of hypothetical salts of meadow solonetz differs to the worst from other types of soils on connection with the presence of hydrocarbonates and sodium carbonates at a depth of 1 m. Comparison of the salt composition of the profile of meadow solonetz in spring and autumn indicates the meliorative function of rice growing. The salinization type of soil layers 0–100 cm is sulfate, 100–200 cm – sodic-sulfate, calcium-sodium, but in the autumn is magnesium-sodium. By the study it is shown that during the operation of rice irrigation system in the designed mode, using crop rotation and rice content not more than 50%, the salt regime of soils, namely, the qualitative composition of hypothetical salts up to a depth of 2 m is constant, without toxic salinization and secondary solonetzification processes. Rice irrigation systems, which are operated for a long time in the designed mode, under condition of observance of crop rotation and technologies for growing of rice and accompanying agricultural crops, are characterized by consistently good agroameliorative status. This is confirmed by yield data of rice (6.34–6.67 t/ha) and accompanying agricultural crops (soybeans 2.15–2.97 t/ha, spring barley 3.05–3.49 t/ha, winter wheat 4.85–4.90 t/ha).

Keywords: long-term rice growing; salt regime of soils; model; qualitative salt composition; yield.

Моделювання сольового складу ґрунтів рисових сівозмін

С. Г. Вожегов, К. В. Дудченко

Інститут рису НААН України, Антонівка, Україна

Анотація. Вирощування рису, на відміну від інших сільськогосподарських культур, значно змінює основні ґрунтові процеси, зокрема водно-повітряний, поживний, окисно-відновний та соловий режими. Зміни у структурі сівозміни, технологіях вирощування сільськогосподарських культур та погіршення технічного стану рисової зрошувальної системи можуть призвести до розвитку процесів вторинного засолення та осолонцювання ґрунтів, зниження їх родючості. Для визначення впливу довготривалого вирощування рису на соловий склад основних типів ґрунтів рисових сівозмін побудовано моделі якісного складу гіпотетичних солей для шару ґрунту до 2 м з порівнянням солової композиції до сіви (навесні) та після збирання сільськогосподарських культур (восени). Модель якісного складу гіпотетичних солей темно-каштанового солонцюватого ґрунту демонструє незначні відмінності між соловим складом навесні та восени, зафіксовано зменшення кількості нетоксичних та збільшення частки токсичних солей восени глибше 80 см. За типом засолення всі шари темно-каштанового солонцюватого ґрунту відповідають сульфатному, кальцієво-натрієвому. Моделювання солової композиції лучно-каштанового солонцюватого ґрунту свідчить про позитивні зміни, коли після вирощування сільськогосподарських культур з'являлася нетоксична сіль сульфату кальцію нижче 1 м. Тип засолення лучно-каштанового солонцюватого ґрунту – сульфатний, кальцієво-натрієвий, а з глибини 60 см – магнієво-натрієвий. Якісний склад гіпотетичних солей солонця лучного відрізняється в грішу сторону від інших типів ґрунтів наявністю гідрокарбонатів та карбонатів натрію на глибині 1 м. Порівняння солової композиції профілю солонця лучного навесні і восени свідчить про меліоруючу роль культури рису. За типом засолення шари 0–100 см відповідають сульфатному, 100–200 см – содово-сульфатному, кальцієво-натрієвому, а восени – магнієво-натрієвому. Дослідження довело, що за експлуатації рисової зрошувальної системи в проектному режимі, з використан-

ням сівозміни і наповненістю рисом не більше 50%, сольовий режим ґрунтів, а саме, якісний склад гіпотетичних солей до глибини 2 м є сталим, не зафіксовано токсичного засолення та вторинного осолонцювання. Рисові зрошувальні системи, які експлуатуються тривалий час у проектному режимі, за умови дотримання сівозміни й технологій вирощування рису та супутніх сільськогосподарських культур, характеризуються стабільно добрим агроеліоративним станом, що підтверджують дані врожайності рису (6,34–6,67 т/га) та супутніх сільськогосподарських культур (сої 2,15–2,97 т/га, ячменю ярого 3,05–3,49 т/га, пшениці озимої 4,85–4,90 т/га).

Ключові слова: довготривале вирощування рису; сольовий режим ґрунтів; модель; якісний склад солей; врожайність.

Вступ

Постійне збільшення населення нашої планети потребує підвищення кількості продовольства на 87% до 2050 року (Maraseni, Deo, Qu, Gentle, & Neupane, 2018). Такого рівня продовольства можливо досягти, якщо збільшити обсяги виробництва найбільш поширених сільськогосподарських культур: рису, пшениці, сої, кукурудзи, соняшнику та інших (Kromjik & Long, 2016).

Рис – це унікальна сільськогосподарська культура, яка дає найвищий урожай за підтримання шару води на полі протягом усього вегетаційного періоду, порівняно з іншими режимами зрошення даної культури. Забезпечення такої умови потребує будівництва рисових зрошувальних систем, коли штучно створюється певний рельєф поля, шляхом переміщення значних об'ємів ґрунту, що призводить до порушення природного ґрунтового профілю.

Підтримання шару води на полі протягом 3–4 місяців змінює фізичні та фізико-хімічні властивості ґрунтів, загальну направленість та інтенсивність ґрунтоутворювального процесу (Edwards et al., 2019). Із ґрунтового профілю виносяться легкокорозійні речовини та рухомі форми елементів живлення, в ґрунті переважають відновлювальні процеси, що призводить до зміни складу його органічних та мінеральних компонентів (Guturova & Sheudzhen, 2016). У результаті довготривалого затоплення та постійного чергування відновлювальних й окисних умов руйнуються ґрунтові агрегати, відбувається глибоке розкладання мінеральної основи ґрунтоутворних порід, що сприяє розвитку процесів оглеєння та злитизації (Tronza & Bashurov, 2015; Dou, Soriano, Tabien, & Chen, 2016).

Специфічний водно-повітряний режим ґрунту впливає на склад та кількість мікроорганізмів, які відіграють ключову роль у накопиченні гумусу, переході поживних речовин в доступні для рослин форми, процесах кругообігу вуглецю, азоту та фосфору (Bender, Wagg, & Van Der Heijden, 2016; Guo, Yan, Korpelainen, Niinemets, & Li, 2019). Постійна зміна окисних й відновних процесів впливає на азотний режим ґрунту – процес перетворення NH_4^+ до нітриту NO_2 та нітратів NO_3 (Jiang et al., 2015). Такі зміни провокують втрату доступного для рослин азоту шляхом вилугування, у тому числі й азоту, що надходить з добривами (Lan, Han, & Cai, 2015; Islam, Khan, & Rouf, 2017).

Вирощування рису в Україні було розпочато на малопродуктивних засоленних ґрунтах з високим рівнем підґрунтових вод у прибережній зоні. Учені припустили, що меліоруюча дія рисівництва та природна солестійкість рису дозволять ефективно використовувати запропоновану територію (Zhovtonog, 1971; Morozov, Granovs'ka, & Poljakov, 2003). Солестійкість рослин рису обумовлена фізіологічними особливостями, передусім можливістю виведення токсичних іонів (Roy, Negro, & Tester, 2014). Наприклад, виведення токсичних іонів Na^+ , Cl^- відбувається через корені, запобігаючи накопиченню їх у листках рослин. Осмотична толерантність рослин рису дозволяє знизити стрес від токсичних іонів та засоленості ґрунту шляхом виведення надлишків через листові пори (Rajendran, Tester, & Roy, 2009). Тканинна толерантність полягає у вилученні Na^+ з вакуолей, синтезу розчинних речовин та ферментів, що чинять дезінфікуючу дію за допомогою кисню (Reddy, Kim, Yoon, Kim, & Kwon, 2017; Amin et al., 2016). Високий вміст легкокорозійних солей в ґрунті спричиняє абіотичний стрес у рослин рису, що впливає на процеси метаболізму та інші фізіо-

логічні процеси і знижує врожайність (Pradheenban, Nissnaka, & Surriyagoda, 2017).

Різноманіття ґрунтової мікробіоти на рисових зрошувальних системах залежить від мінералізації та сольового складу води в чеках. При підвищенні даного параметра протягом одного місяця відмічається негативний вплив на якісні та кількісні характеристики угруповань мікроорганізмів орного шару ґрунту (Morrissey & Franklin, 2015; Nelson, Streten, Gibb, & Chariton, 2015).

Для підвищення ефективності та збереження родючості ґрунтів рисових сівозмін необхідно контролювати сольовий склад їх водної витяжки, щоб запобігти розвитку процесів вторинного засолення та осолонцювання. Тому моделювання якісного складу гіпотетичних солей основних типів ґрунтів рисових сівозмін, щоб встановити рівень впливу довготривалої експлуатації при вирощуванні рису на даний параметр, і стало метою нашого дослідження.

Матеріал та методи

Об'єкт дослідження – темно-каштановий солонцюватий, лучно-каштановий солонцюватий, солонець лучний, що понад 50 років експлуатуються в рисовій сівозміні.

Роботи проводили на рисовій зрошувальній системі Інституту рису НААН України, що експлуатується близько 60 років. Площа дослідної рисової зрошувальної системи 190 га, де використовували сівозміну з наповненістю основною культурою – рис, не вище 50%. Супровідними культурами були пшениця озима, соя, ячмінь ярий, люцерна. Рис вирощували за технологією з урахуванням вимог охорони навколишнього середовища. Для супровідних сільськогосподарських культур використовували загальноприйняті технології вирощування.

Ґрунтовий покрив представлено темно-каштановим солонцюватим (72,9 га), солонцем лучним (18,9 га) та лучно-каштановим солонцюватим (75,8 га) типами ґрунтів.

Морфологічна будова профілю темно-каштанового солонцюватого ґрунту включає гумусовий (Hea), верхній перехідний (Hpi), нижній перехідний (Phi) горизонти, загальною потужністю 66 см. Hea (20 см) темно-сірого кольору з каштановим відтінком, порохувато-грудкуватої структури. Hpi (30 см) темно-каштанового кольору з бурим відтінком, ущільнений, структура горіхувата. Phi (16 см) бурувато-брудно-палевого кольору з темними плямами та затіканнями, помітно ущільнений, структура горіхувато-призмоподібно-грудкувата. Скипає на глибині 52 см. Материнська порода з ясною “білозіркою” та гумусними плямами. Рівень підґрунтових вод нижче 2,0 м.

Морфологічна будова лучно-каштанового солонцюватого ґрунту складається з декількох горизонтів: гумусо-елювіального (HE), гумусо-ілювіального (HI), верхнього перехідного (Hpi), нижнього перехідного (Phi) горизонтів. HE потужністю до 33 см темно-сірого кольору, добре елювіований, порохувато-грудкуватої структури, злитий; HI каштанового кольору, помітно пухкіший, ніж гумусо-елювіальний горизонт, структура грудкувато-горіхувата. Перехід між горизонтами нечіткий. Потужність гумусових горизонтів 67 см. Ґрунт скипає на глибині 30 см. Hpi (43 см) світло-каштанового кольору, ущільнений, структура грудкувато-горіхувата. “Білозірка”, у вигляді плям знаходиться в шарі 67–110 см. Phi (28 см) бурого кольору з коричневим відтінком та грудкувато-призматичною структурою. Материнська порода важкосуглинковий лес солом'яно-жовтого кольору. Рівень підґрунтових вод 1,5 м.

Профіль солонцю лучного потужністю 78 см складається з гумусо-елювіального (HE), ілювіального (Ih) та перехідного (Phi) горизонтів. HE (34 см) каштаново-сірого кольору з бурими плямами, структура пілувато-грудкувата, грудки легко розділяються та листувато-шаруваті окремість, пухкий, ніздрювато-пористий. Перехід між горизонтами нечіткий. Ih (26 см) – темно-коричневого кольору з бурим відтінком, структура ущільнена горіхувато-грудкувата. Скипає на глибині 37 см. Phi (18 см) – коричнево-палевого кольору, присутня білозірка. Структура горіхувато-грудкувата-призмоподібна. Межа нечітка, присутні затікання та плями. Материнська порода. Солом'яно-жовтого кольору, важкий суглинок. Рівень підґрунтових вод 1,0 м.

Ґрунти рисових сівозмін характеризуються середнім умістом гумусу, підвищеним (солонець лучний) та високим умістом легкогідролізованих сполук азоту, середнім (лучно-каштановий солонцюватий) та підвищеним умістом рухомого фосфору, дуже високим умістом обмінного калію в орному шарі (табл. 1). Щільність складення всіх типів ґрунтів рисових зрошувальних систем незначно змінюється по профілю і становить 1,30–1,60 г/см³, що свідчить про ущільнений стан і є типовим для даних умов.

Моделювання виконано на основі даних моніторингових спостережень за сольовим складом ґрунтів до глибини 2 м за період 15 років. Відбір зразків ґрунту для дослідження їх сольового режиму проводили методом суцільної колонки кожні 20 см до 1 м, кожні 50 см на глибині 1–2 м до сівби та після врожаю.

Моделювання якісного складу гіпотетичних солей основних типів ґрунтів рисових сівозмін проведено з використанням теорії ймовірностей. Моделі побудовані на основі визначення ймовірності появи кожної солі (більше 0,5) для кожної дослідної ділянки за формулою

$$P(A) = m / n,$$

де $P(A)$ – ймовірність появи події A ;

m – кількість елементарних подій, сприятливих A ;

n – кількість всіх можливих елементарних подій (Kushlyk-Dyvul's'ka, Polishhuk, Orel, & Shtabaljuk, 2014).

Результати

У моделях використані дані у вигляді відсотка від загального вмісту солей, тобто є справедливими для ґрунтів рисових сівозмін будь-якого ступеня засоленості.

Темно-каштановий солонцюватий ґрунт рисової сівозміни. Модель якісного складу гіпотетичних солей темно-каштанового солонцюватого ґрунту демонструє незначні відмінності між сольовим складом навесні (до сівби сільськогосподарських культур) та восени (після збирання сільськогосподарських культур). Нетоксичні солі представлені гідрокарбонатом кальцію, кількість якого варіюється навесні в межах 20,21–21,37%, а восени – 15,47–26,51%. Відмічено зменшення кількості нетоксичних солей восени на глибині 80–200 см порівняно з даними навесні (табл. 2).

Токсичні солі представлено в основному сульфатом натрію (54,70–63,15%), гідрокарбонатом магнію (6,66–10,29%), нижчі

Таблиця 1. Показники родючості орного шару (0–20 см) основних типів ґрунтів рисових сівозмін

Тип ґрунту	Уміст			
	легкогідролізованих сполук азоту (за Тюриним, Коновою), мг/кг	рухомого фосфору (за Мачигінім), мг/кг	обмінного калію (за Мачигінім), мг/кг	гумусу (за Тюриним), %
Темно-каштановий солонцюватий	91,98	31,63	665,0	2,22
Лучно-каштановий солонцюватий	98,23	28,53	728,1	2,06
Солонець лучний	65,90	32,95	531,6	2,64

Таблиця 2. Модель якісного складу гіпотетичних солей темно-каштанового солонцюватого ґрунту рисової сівозміни, %

Горизонт, см	Нетоксичні солі				Токсичні солі				
	Ca(HCO ₃) ₂	CaSO ₄	NaCO ₃	NaHCO ₃	Mg(HCO ₃) ₂	Na ₂ SO ₄	MgSO ₄	NaCl	MgCl ₂
Весна									
0–20	22,38	-	-	-	8,07	58,47	-	5,38	4,90
20–40	23,61	-	-	-	6,66	57,05	-	5,49	4,09
40–60	24,37	-	-	-	7,57	59,02	-	5,00	3,10
60–80	22,14	-	-	-	9,49	57,57	-	5,46	3,29
80–100	23,99	-	-	-	9,83	54,28	-	6,02	3,99
100–150	20,92	-	-	-	9,07	57,73	-	5,72	3,54
150–200	20,21	-	-	-	8,65	59,79	-	4,54	3,12
Осінь									
0–20	21,98	-	-	-	7,92	56,24	-	7,33	5,22
20–40	24,24	-	-	-	9,62	54,70	-	5,56	4,64
40–60	26,51	-	-	-	8,79	50,96	-	4,82	4,45
60–80	24,69	-	-	-	8,42	56,37	-	6,35	3,88
80–100	21,89	-	-	-	7,11	58,22	7,52	-	4,77
100–150	16,08	-	-	-	10,29	58,88	9,52	-	3,81
150–200	15,47	-	-	-	9,38	63,15	-	4,83	3,80

показники у хлориду натрію, хлориду магнію. У шарі ґрунту 80–150 см восени відбулася заміна хлориду натрію сульфатом магнію. Зафіксовано збільшення вмісту токсичних солей та зменшення нетоксичних у шарі ґрунту 80–200 см. За типом засолення всі шари темно-каштанового солонцюватого ґрунту відповідають сульфатному, кальцієво-натрієвому.

Лучно-каштановий солонцюватий ґрунт рисової сівозміни. Модель якісного складу гіпотетичних солей лучно-каштанового солонцюватого ґрунту свідчить про позитивні зміни в сольовому складі після вирощування сільськогосподарських культур – поява нетоксичної солі сульфату кальцію в шарі ґрунту 100–200 см. Нетоксичні солі представлено гідрокарбонатом кальцію, що міститься по всьому досліджуваному профілю, та сульфатом кальцію, який з'являється нижче 100–150 см (табл. 3).

Токсичні солі представлено найвищим показником сульфату натрію (47,34–61,45 %), а також гідрокарбонатом магнію, сульфатом магнію, хлоридом натрію та хлоридом магнію. Вирощування сільськогосподарських культур привело до заміни хлориду натрію сульфатом магнію у шарах 0–20 см та 60–80 см. Тип засолення лучно-каштанового солонцюватого ґрунту – сульфатний, кальцієво-натрієвий, а з глибини 60 см – магнієво-натрієвий.

Солонець лучний рисової сівозміни. Якісний склад гіпотетичних солей солонця лучного відрізняється в гиршу сторону від інших типів ґрунтів наявністю гідрокарбонатів та карбонатів натрію на глибині 1 м.

Нетоксичні солі представлено гідрокарбонатом кальцію, уміст якого зменшується з глибиною. Токсичні солі представлено сульфатом натрію, гідрокарбонатом магнію, що розміщені по всьому профілю ґрунту, сульфатом магнію, хлоридом натрію, хлоридом магнію, карбонатом натрію та гідрокарбонатом натрію.

Карбонати та гідрокарбонати натрію присутні нижче 1 м. Порівняння розміщення гіпотетичних солей по профілю солонця лучного навесні і восени характеризує меліоруючу роль культури рису: зникла сіль карбонату натрію, в поверхневих шарах ґрунту (0–80 см) відбулося заміщення хлориду натрію менш токсичним сульфатом магнію (табл. 4). За типом засолення шари 0–100 см відповідають сульфатному, 100–200 см – содово-сульфатному, кальцієво-натрієвому, а восени магнієво-натрієвому.

Урожайність сільськогосподарських культур є одним з найбільш інформативних показників стану ґрунтового покриття. За

період дослідження врожайність рису на дослідній сівозміні становила 6,34–6,67 т/га, сої – 2,15–2,97 т/га, ячменю ярого 3,05–3,49 т/га, пшениці озимої – 4,85–4,90 т/га (табл. 5). Найвищі середні значення врожайності сільськогосподарських культур зафіксовано на території з типом ґрунту солонець лучний. Це підтверджує добрий агроеліоративний стан цього ґрунту, незважаючи на найвищий вміст токсичних солей та рівень підґрунтових вод, порівняно з іншими типами ґрунту.

Обговорення

Довготривале вирощування рису впливає на екологічний стан та морфологічну будову ґрунтів. Складний водно-повітряний режим ґрунтів рисових сівозмін активує нетипові для даних типів ґрунтів процеси – глибоке розсолоння, розсолонцювання, оглеєння верхньої частини профілю з одночасною злитизацією глибоких горизонтів (Tortyk, 2014; Tronza & Bashurov, 2015). Власними дослідженнями підтверджено розсолнюючу дію вирощування рису (зменшення солей в шарі ґрунту 2,0 м на 16,7–71,7%) та можливість реставрації засолення під час вирощування супровідних культур сівозміни (підвищення вмісту солей в шарі ґрунту 2,0 м на 1,0–50,0%), без значної зміни якісного складу гіпотетичних солей.

Сольовий режим ґрунтів рисових сівозмін має сезонний характер: на початку вегетації рису при затопленні рисових чеків відбувається зниження засоленості верхніх горизонтів та вимивання солей у підорні горизонти, протягом усього вегетаційного періоду рівні води в рисових чеках та скидних каналах практично однакові. У підпертому стані системи відтік підґрунтових та промиваючих (вода з чеків) вод практично відсутній. Легкорозчинні солі з ґрунту переходять у поверхневі води. В умовах слабкої дренажності та неглибокого залягання підґрунтових вод можлива реставрація засоленості верхніх горизонтів наприкінці вегетаційного періоду рису, а в зимово-ранньовесняний період, під впливом опадів, відбувається їх опріснення. Навесні, у першій половині травня, легкорозчинні солі рухаються з верхніх горизонтів ґрунту в нижні, без суттєвого зниження їх запасів у ґрунтовому профілю; відбувається процес підтягування солей до поверхні через підвищення випаровування. З початком вегетаційного періоду даний цикл повторюється (Osipov, Sljuvarev, Podkolzin, & Shvec, 2017). Дослідження сольового балансу показало, що

Таблиця 3. Модель якісного складу гіпотетичних солей лучно-каштанового солонцюватого ґрунту рисової сівозміни, %

Горизонт, см	Нетоксичні солі				Токсичні солі				
	Ca(HCO ₃) ₂	CaSO ₄	NaCO ₃	NaHCO ₃	Mg(HCO ₃) ₂	Na ₂ SO ₄	MgSO ₄	NaCl	MgCl ₂
Весна									
0–20	23,34	-	-	-	7,54	56,57	-	5,86	4,24
20–40	21,25	-	-	-	6,78	61,06	-	5,40	5,24
40–60	21,25	-	-	-	8,36	60,47	-	4,87	3,97
60–80	21,41	-	-	-	6,78	59,34	-	4,68	3,93
80–100	18,44	-	-	-	7,33	61,45	7,10	-	4,17
100–150	14,37	-	-	-	10,08	60,69	9,16	-	3,43
150–200	15,28	13,57	-	-	-	56,69	9,04	-	3,91
Осінь									
0–20	24,47	-	-	-	6,89	47,34	14,76	-	4,85
20–40	23,80	-	-	-	7,64	55,13	-	6,24	4,17
40–60	23,66	-	-	-	6,93	57,02	-	7,16	3,49
60–80	24,06	-	-	-	7,97	55,28	8,00	-	4,05
80–100	21,32	-	-	-	8,12	56,75	5,67	-	3,90
100–150	16,50	12,33	-	-	-	56,93	7,53	-	3,01
150–200	13,77	20,76	-	-	-	52,82	8,46	-	3,10

Таблиця 4. Модель якісного складу гіпотетичних солей солонця лучного рисової сівозміни, %

Горизонт, см	Нетоксичні солі				Токсичні солі			
	Ca(HCO ₃) ₂	CaSO ₄	NaCO ₃	NaHCO ₃	Mg(HCO ₃) ₂	Na ₂ SO ₄	MgSO ₄	NaCl
								MgCl ₂
Весна								
0–20	27,55	-	-	-	5,17	54,38	-	4,76
20–40	22,47	-	-	-	5,76	61,22	-	5,01
40–60	19,40	-	-	-	7,11	66,85	-	2,28
60–80	18,61	-	-	-	10,17	63,13	-	3,55
80–100	14,86	-	-	-	14,06	60,99	-	5,63
100–150	10,68	-	1,71	6,69	10,98	63,43	-	6,16
150–200	10,67	-	1,67	6,77	13,71	60,38	-	6,52
Осінь								
0–20	25,96	-	-	-	6,61	50,50	8,58	-
20–40	24,44	-	-	-	8,48	59,02	1,71	-
40–60	24,26	-	-	-	7,38	57,65	-	3,19
60–80	17,24	-	-	-	12,60	60,17	5,12	-
80–100	17,15	-	-	-	12,23	64,21	-	2,75
100–150	14,02	-	-	2,20	12,57	64,62	-	5,50
150–200	11,73	-	-	8,98	11,17	59,00	-	5,36

Таблиця 5. Середні значення врожайності рису та супровідних сільськогосподарських культур рисової зрошувальної системи Інституту рису НААН за 2004–2019 рр. (т/га)

№	Назва сільськогосподарської культури	Тип ґрунту		
		темно-каштановий солонцюватий	лучно-каштановий солонцюватий	солонець лучний
1	Рис	6,34	6,36	6,67
2	Соя	2,15	2,48	2,97
3	Ячмінь ярий	3,49	3,05	3,47
4	Пшениця озима	4,90	4,85	-

найбільший вплив на вміст солей в ґрунтах рисових зрошувальних систем має рівень підґрунтових вод – за відсутності перепаду між значеннями даного показника навесні та восени понад 0,4 м, навіть вирощування рису не забезпечує розсолонення ґрунту більш ніж на 20%, порівняно з умістом солей навесні.

Ключове значення в процесі розсолонення ґрунтів надається рівню залягання підґрунтових вод та ступеню дренажності території (Chebanova & Orlov, 2016; Kropyvko & Turchenjuk, 2018). Дослідження показали, що в темно-каштанових ґрунтах рисових сівозмін, розміщених на більш високих відмітках, унаслідок тривалого використання зменшився вміст солей на 96,3% у шарі до 150 см (Titkov, 2016). У лучно-каштанових ґрунтах, розміщених на середніх відмітках, збільшився вміст солей на 7,9% у нижніх горизонтах. У солонцях лучних, шарі 0–150 см, кількість солей збільшилася на 16,9%. Відбулися зміни в якісному складі солей – у лучно-каштанових ґрунтах зменшився вміст Na₂SO₄, MgCl₂, збільшився вміст MgSO₄ та CaSO₄, з'явилися NaCl, MgSO₄. Дослідження солонців лучних рисових сівозмін також показали зміни в хімічному складі, що пояснюється випаровуванням підґрунтових вод (Zapotochnaja & Sokolov, 2019). Побудовані моделі якісного складу гіпотетичних солей для лучно-каштанового солонцюватого ґрунту та солонця лучного рисової сівозміни демонструють відмінності між якісним складом солей навесні та восени. Аналогічно з іншими дослідниками нами було виявлено збільшення вмісту MgSO₄ по всьому профілю лучно-каштанового солонцюватого ґрунту та зменшення частки токсичних солей у нижніх горизонтах солонця лучного.

Довготривале використання ґрунтів для вирощування рису призводить до накопичення хлоридів, сульфатів, солей натрію та магнію в поверхневих шарах, спричиняє вимивання рухомих форм гумусу, заліза та фосфору, розвиток процесу осолонцювання (Zhilkin & Batovskaja, 2003). Тому ґрунти рисових сівозмін відрізняються низкою фізичних і фізико-хімічних показників від аналогічних типів ґрунтів, що зрошуються дощуванням, краплинно або використовуються без зрошення, і можуть реагувати погіршенням агро-меліоративного стану на зміни у структурі господарювання (Kust, 2013).

Висновки

Рисові зрошувальні системи, що експлуатуються тривалий час в проектному режимі, за умов дотримання сівозміни та технологій вирощування рису й супровідних сільськогосподарських культур характеризуються стабільно добрим агро-меліоративним станом, що підтверджують дані про врожайність рису (6,34–6,67 т/га) та сої (2,15–2,97 т/га), ячменю ярого (3,05–3,49 т/га), пшениці озимої (4,85–4,90 т/га).

Аналіз даних моніторингових досліджень сольового режиму ґрунтів рисових сівозмін за 15 років свідчить, що якісний склад гіпотетичних солей не зазнає значних змін, незважаючи на динаміку вмісту солей по профілю ґрунту. Моделі якісного складу гіпотетичних солей основних типів ґрунтів рисових сівозмін (темно-каштановий солонцюватий, лучно-каштановий солонцюватий та солонець лучний) демонструють стабільний склад солей, що підтверджує переважно однорічний тип

засолення ґрунтів до глибини 2,0 м сульфатний, кальцієво-натрієвий.

Розроблені моделі справедливі за умови експлуатації рисової зрошувальної системи в проектному режимі, підтримання її в належному технічному стані, використання сівозміни з наповненням рисом не більше 50% та режиму зрошення рису, що передбачає підтримання на полі шару води.

References

- Amin, U. S. M., Biswas, S., Elias, S. M., Razzaque, S., Haque, T., Malo, R., & Seraj, Z. I. (2016). Enhanced salt tolerance conferred by the complete 2.3 kb cDNA of the rice vacuolar Na⁺/H⁺ antiporter gene compared to 1.9 kb coding region with 5'-UTR in transgenic lines of rice. *Frontiers in Plant Science*, 7, 14. doi: [10.3389/fpls.2016.00014](https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00014)
- Bender, S. F., Wagg, C., & Van Der Heijden, M. G. A. (2016). An underground revolution: biodiversity and soil ecological engineering for agricultural sustainability. *Trends in Ecology & Evolution*, 31(6), 440–452. doi: [10.1016/j.tree.2016.02.016](https://doi.org/10.1016/j.tree.2016.02.016)
- Chebanova, E. F., & Orlov, K. N. (2016). Dynamics of the reclamation state of the Kuban delta during transformation into rice agrolandscapes. *Symbol of Science*, 5, 89–91 (in Russian).
- Dou, F., Soriano, J., Tabien, R. E., & Chen, K. (2016). Soil texture and cultivar effects on rice (*Oryza sativa*, L.) Grain yield, yield components and water productivity in three water regimes. *PLoS One*, 11(3), e0150549. doi: [10.1371/journal.pone.0150549](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0150549)
- Edwards, J., Santos-Medellín, C., Nguyen, B., Kilmer, J., Liechty, Z., Veliz, E., ... Sundaresan, V. (2019). Soil domestication by rice cultivation results in plant-soil feedback through shifts in soil microbiota. *Genome Biology*, 20(1), 221. doi: [10.1186/s13059-019-1825-x](https://doi.org/10.1186/s13059-019-1825-x)
- Guo, Q., Yan, L., Korpelainen, H., Niinemets, Ü., & Li, C. (2019). Plant-plant interactions and N fertilization shape soil bacterial and fungal communities. *Soil Biology and Biochemistry*, 128, 127–138. doi: [10.1016/j.soilbio.2018.10.018](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.10.018)
- Guturova, O. A., & Sheudzen, A. H. (2016). Morphogenesis of rice meadow-bog soils of the Kuban. *Russian Agricultural Science*, 6, 25–27 (in Russian).
- Islam, M., Khan, M., & Rouf, M. (2017). Nutrient dynamics in paddy soil under rice culture mesocosm studies. *Journal of the Bangladesh Agricultural University*, 15(2), 199–205. doi: [10.3329/jbau.v15i2.35063](https://doi.org/10.3329/jbau.v15i2.35063)
- Jiang, X., Hou, X., Zhou, X., Xin, X., Wright, A., & Jia, Z. (2015). pH regulates key players of nitrification in paddy soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 81(9), 9–16. doi: [10.1016/j.soilbio.2014.10.025](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.10.025)
- Kromjik, J., & Long, S. P. (2016). One crop breeding cycle from starvation? How engineering crop photosynthesis for rising CO₂ and temperature could be one important route to alleviation. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 283(1826), 20152578. doi: [10.1098/rspb.2015.2578](https://doi.org/10.1098/rspb.2015.2578)
- Kropyvko, S. M., & Turchenjuk, V. O. (2018). Formation of water regime and salt balance of rice card-check under the influence of irrigation-discharge canal. *Scientific Bulletin of UNFU*, 1, 95–98 (in Ukrainian). doi: [10.15421/40280119](https://doi.org/10.15421/40280119)
- Kushlyk-Dyvul's'ka, O. I., Polishchuk, N. V., Orel, B. P., & Shtabaljuk, P. I. (2014). Probability theory and mathematical statistics. NTUU "KPI", Kyiv (in Ukrainian).
- Kust, G. S. (2013). Some features of changes in the salt state of soils when transforming the structure of agricultural use of irrigated lands of the delta territories. *Arid Ecosystems*, 3(56), 83–90 (in Russian).
- Lan, T., Han, Y., & Cai, Z. (2015). Denitrification and its product composition in typical Chinese paddy soils. *Biology and Fertility of Soils*, 51(1), 89–98. doi: [10.1007/s00374-014-0953-4](https://doi.org/10.1007/s00374-014-0953-4)
- Maraseni, T. N., Deo, R. C., Qu, J., Gentle, P., & Neupane, P. R. (2018). An international comparison of rice consumption behaviours and greenhouse gas emissions from rice production. *Journal of Cleaner Production*, 172, 2288–2300. doi: [10.1016/j.jclepro.2017.11.182](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.182)
- Morozov, V. V., Granov's'ka, L. M., & Poljakov, M. G. (2003). Ecological and reclamation conditions of nature management on irrigated landscapes of Ukraine. *Ajlant, Kyiv–Kherson* (in Ukrainian).
- Morrissey, E. M., & Franklin, R. B. (2015). Evolutionary history influences the salinity preference of bacterial taxa in wetlands soils. *Frontiers in Microbiology*, 6, 1013. doi: [10.3389/fmicb.2015.01013](https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.01013)
- Nelson, T. M., Streten, C., Gibb, K. S., & Chariton, A. A. (2015). Saltwater intrusion history shapes the response of bacterial communities upon rehydration. *Science of The Total Environment*, 502, 143–148. doi: [10.1016/j.scitotenv.2014.08.109](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.08.109)
- Osipov, A. V., Sljuvarev, V. N., Podkolzin, O. A., & Shvec, T. V. (2017). The dynamics of the salt regime of soils in rice fields of the modern Kuban delta. *Agrochemical Bulletin*, 4, 30–34 (in Russian).
- Pradheenban, I., Nissnaka, S. P., & Surriyagoda, L. D. B. (2017). Influence of whole and soil salinity on growth, development, physiology and yield of selected rice varieties cultivated in Jaffna district, Sri Lanka. *Tropical Agricultural research*, 28(4), 389–401. doi: [10.4038/tar.v28i4.8240](https://doi.org/10.4038/tar.v28i4.8240)
- Rajendran, K., Tester, M., & Roy, S. J. (2009). Quantifying the three main components of salinity tolerance in cereals. *Plant, Cell & Environment*, 32(3), 237–249. doi: [10.1111/j.1365-3040.2008.01916.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2008.01916.x)
- Reddy, I. N. B. L., Kim, B. I., Yoon, I. S., Kim, K. H., & Kwon, T. R. (2017). Salt tolerance in Rice Focus on Mechanisms and Approaches. *Rice Science*, 24(3), 123–144. doi: [10.1016/j.rsci.2016.09.004](https://doi.org/10.1016/j.rsci.2016.09.004)
- Roy, S. J., Negrao, S., & Tester, M. (2014). Salt resistant crop plant. *Current Opinion in Biotechnology*, 26, 115–124. doi: [10.1016/j.copbio.2013.12.004](https://doi.org/10.1016/j.copbio.2013.12.004)
- Titkov, A. A. (2016). About the possible development of the adverse consequences of the termination of the North Crimean Canal for the Crimean rice planting. *News of Tauris*, 7(170), 23–27 (in Russian).
- Tortyk, M. J. (2014). Features of soil salinity of the rice system of Odessa region. *Geopolitics and eco-geodynamics of regions*, 10, 909–913 (in Ukrainian).
- Tronza, G. V. & Bashurov, M. A. (2015). Evolution of the dry-steppe zone of Crimea rice agrocenoses soils. *Agronomy and Forestry*, 5, 33–35 (in Russian).
- Zapotochnaja, O. S., & Sokolov, J. V. (2019). Salt regime of paddy soils of the salt complex of Prisivashia. *News of the Orenburg State Agrarian University*, 5(79), 18–20 (in Russian).
- Zhilkin, A. A., & Batovskaja, E. K. (2003). Genetic and agrochemical characteristics of soils of the Caspian lowland. *Bulletin RUDN*, 8, 106–112 (in Russian).
- Zhovtonog, I. S. (1971). *Rice in Ukraine*. Urozhaj, Kyiv (in Russian).