

УДК 631.674:633.18.03

<https://doi.org/10.31713/vt1202630>**Турченко В. О.** ^[1; ORCID ID: 0000-0002-1938-0344],

д.т.н., професор,

Кропивко С. М. ^[1; ORCID ID: 0000-0003-4538-7328],

к.т.н., доцент,

Картавов Ю. О. ^[1],

аспірант,

¹Національний університет водного господарства та
природокористування, м. Рівне

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ВОДНОГО БАЛАНСУ НА КАРТАХ-ЧЕКАХ З ДРЕНАЖЕМ НА РИСОВИХ СИСТЕМАХ ДЕЛЬТИ ДУНАЮ

Стаття присвячена комплексному дослідженню процесів формування водного балансу на поливних картах-чеках рисових зрошувальних систем дельти Дунаю, які оснащені дренажною мережею різних параметрів. Актуальність роботи визначається потребою підвищення водозберігаючої ефективності українських рисових систем в умовах обмеженості водних ресурсів, тенденцій до ускладнення гідрологічного режиму та необхідності раціоналізації витрат зрошувальної води при вирощуванні водоемної культури – рису.

Метою дослідження є встановлення закономірностей формування основних складових водного балансу рисових полів залежно від конструктивних характеристик дренажно-скидної мережі та параметрів карт-чеків, а також визначення впливу ширини міждрення на інтенсивність фільтраційних втрат. У роботі розглядаються як природні чинники водного балансу (опаді, сумарне водоспоживання, гідрогеологічні умови), так і техногенні (конструкції поливних карт, дренажні відстані, режим затоплення).

Об'єктом дослідження обрані типові ділянки Кілійської рисової зрошувальної системи площею 4832 га, ґрунтовий покрив яких представлений алювіальними суглинками та супісками, що є характерними для дельтових утворень. У дослідженні застосовано методи польових вимірювань з використанням вегетаційних посудин-випаровувачів для визначення складових водного балансу та фільтромірів – для встановлення просторового

розподілу швидкостей фільтрації на картах з різними міждреннями. Усі складові водного балансу визначалися незалежно одна від одної, що забезпечило високу достовірність отриманих результатів.

Складено водні баланси для карт-чеків з міждреннями 200, 250 та 500 м. Встановлено, що витрати води на насичення ґрунтів становили в середньому 1560–1803 м³/га (до 8,6 % витратної частини балансу) та тісно корелювали з глибиною зони аерації ($r = 0,77$). На основі статистичної обробки отримано рівняння, що дозволяє прогнозувати витрати води на насичення ґрунтового профілю залежно від залягання рівня ґрунтових вод, що може бути використано під час проєктування нових рисових систем. Сумарне водоспоживання (евапотранспірація) у період досліджень становило 7240...7840 м³/га, що складає до 37 % балансових витрат. Проаналізовано сезонну динаміку випаровування з водної поверхні та транспірації рослин, встановлено періоди максимальних втрат – кінець червня та початок липня, коли температура повітря найбільша та відбувається активний ріст рослини.

Особливу увагу приділено фільтраційним втратам, які в умовах дослідження формувалися переважно як фільтраційний відтік у дренажно-скидну мережу (за близького рівня ґрунтових вод та відсутності вертикальної фільтрації у глибші горизонти). Встановлено, що фільтрація змінюється просторово: у придренних зонах швидкість сягає 4–20 мм/добу, а у центральній частині карт – лише 1–2 мм/добу. Середньосезонні витрати води на фільтрацію при міждреннях 250 і 500 м були меншими, ніж при 200 м, відповідно на 24,8 % і 42,5 %, що свідчить про ефективність збільшення міждрення у водозбереженні. Побудовані рівняння регресії дозволили описати розподіл швидкостей фільтрації залежно від відстані до дренажного каналу.

Практично важливим висновком є встановлена можливість зменшення фільтраційних втрат на 10–15 % шляхом створення підпорів у дренажно-скидній мережі в період вегетації. Це дозволяє зберігати 1000–1500 м³/га води без зміни конструктивних параметрів карт-чеків. Отримані результати є цінними для удосконалення технології управління водним режимом рисових систем, оптимізації їх гідромеліоративного функціонування та планування реконструкції зрошувальних мереж у дельтових умовах.

Ключові слова: рисова зрошувальна система, водний баланс рисової поливної карти, сумарне водоспоживання рису, фільтраційні втрати.

Вступ. Раціональне використання водних ресурсів у зрошуваному землеробстві є одним із ключових чинників забезпечення продовольчої безпеки, особливо в регіонах зі складними гідрологічними умовами. Рисівництво належить до найбільш водоемних напрямів агровиробництва, а тому ефективність функціонування рисових меліоративних систем істотно залежить від точного обліку та регулювання водного балансу поливних карт [1–3]. Дельта Дунаю, що є одним із головних центрів вирощування рису в Україні, характеризується складною гідрогеологічною структурою, високою мінливістю рівнів ґрунтових вод та значною просторою неоднорідністю ґрунтового покриття. Це зумовлює необхідність детального дослідження процесів формування водного балансу на картах-чеках різних конструкцій.

У практиці експлуатації рисових зрошувальних систем найбільші труднощі пов'язані з визначенням і регулюванням основних складових водного балансу: сумарного водоспоживання, витрат на насичення ґрунтів та фільтраційних втрат [1,4,5,6]. Саме фільтрація часто становить найбільшу частку непродуктивних втрат води, які можуть досягати 40–50 % загального водоспоживання, що робить її ключовим фактором оптимізації меліоративних режимів. Водночас на характер фільтраційних процесів значною мірою впливають конструктивні параметри дренажно-скидної мережі – зокрема, відстань між дренами, тип карти-чека та глибина залягання рівня ґрунтових вод [2,3,6].

Попередні дослідження в Україні та за кордоном [1,3,7,8] свідчать про високу чутливість фільтраційного відтоку до гідрогеологічних умов і параметрів дренажу, однак кількісні закономірності цього впливу для умов дельти Дунаю вивчені недостатньо. Більшість наявних робіт носить загальний або експериментально обмежений характер і не враховує специфіки широкофронтальних карт-чеків із дренажем, що є типовими для дунайських рисових систем.

У зв'язку з цим постає потреба у системному дослідженні водного балансу рисових полів із різними параметрами дренажної мережі, зокрема щодо визначення частки основних складових,

характеру їх сезонної динаміки та можливостей управління ними. Особливої уваги потребує оцінка просторового розподілу швидкості фільтрації та розроблення підходів до зменшення непродуктивних витрат зрошувальної води шляхом оптимізації параметрів дренажу та режимів затоплення.

Метою дослідження є встановлення закономірностей формування водного балансу на картах-чеках рисових зрошувальних систем дельти Дунаю з урахуванням конструктивних характеристик дренажно-скидної мережі та гідрогеологічних умов, а також визначення можливих шляхів зменшення фільтраційних втрат.

Наукова новизна дослідження полягає у визначенні кількісних залежностей між параметрами дренажу та інтенсивністю фільтрації, встановленні просторових закономірностей формування фільтраційних потоків та отриманні практичних співвідношень для прогнозування окремих складових водного балансу, що може бути використано при проектуванні та експлуатації рисових систем.

Об'єкти та методика досліджень. Дослідження і спостереження проводились на типових ділянках, які за геологічними гідрологічними умовами є найбільш характерними для території дельти Дунаю і розміщені на Кілійській рисовій системі площею 4832 га, де ґрунти в основному представлені як суглинками алювіального походження так і частково супісками.

Конструктивним елементом рисових зрошувальних систем на всіх наведених вище ділянках є карта карти-чеки широкого фронту подачі і скиду води з дренажем.

Для визначення величини окремих складових втрат зрошувальної води з рисових полів використовувався метод вегетаційних посудин-випаровувачів, в яких вимірювались витрати на випаровування, транспірацію і вертикальну фільтрацію. Динаміка розподілу величини фільтрації по площі рисових карт (полів) з різними параметрами дренажної мережі вивчалась на картах-чеках дослідних ділянок (рис 1) з використанням фільтромірів.

У комплексі питань, пов'язаних з вивченням ефективності експлуатації рисових поливних карт різних конструкцій, одним з найважливіших є зіставлення водних балансів цих карт у конкретних природних умовах [2,3]. На підставі такого зіставлення можна отримати найбільш повне і достовірне уявлення про процеси розподілу поливної води в межах основної одиниці водокористування рисової зрошувальної системи-поливної карти.

Повнота та достовірність отриманих результатів забезпечувалась тим, що при складанні водного балансу карт кожна його складова визначалася експериментальним шляхом та незалежно від інших.

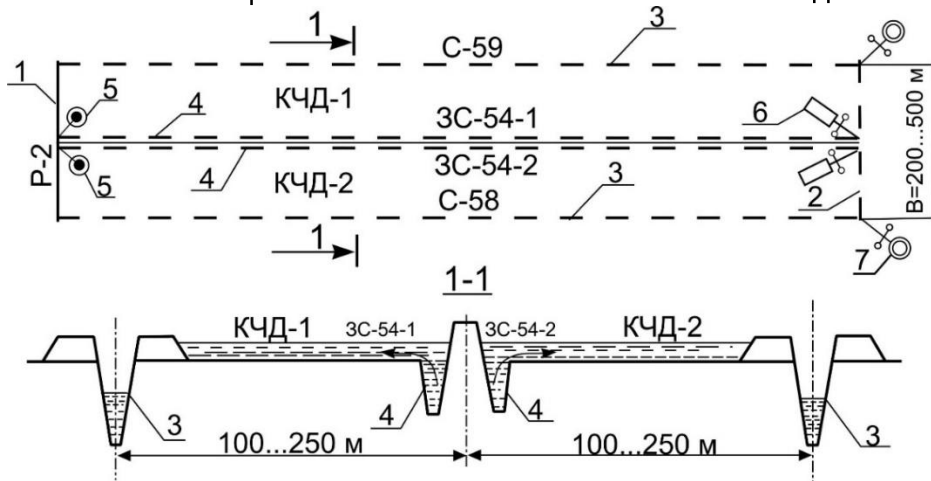


Рис. 1. Схема типових КЧД експериментальних ділянок:

- 1 – розподільний канал; 2 – господарський скидний канал;
- 3 – картова дрена (КЧД); 4 – зрошувально-скидний канал;
- 5 – водовипуск з розподільного каналу у зрошувальний канал;
- 6 – водовипуск зі зрошувача-скиду в скидний канал; 7 – водовипуск із картової дрени в скидний канал

За розрахункове прийнято рівняння водного балансу для рисової карти, [1,3,4].

$$M + K_p \cdot P = W + E + T + F_b + F_o + S, \text{ м}^3 / \text{га}$$

де, M – зрошувальна норма в голові карткового зрошувача (зрошувача-скиду); K_p – коефіцієнт корисного використання опадів; P – опади; W – водонасичення зони аерації; E – випаровування з водної поверхні; T – транспірація рослин рису; F_b – вертикальна фільтрація; F_o – фільтраційний відтік у водовідвідну мережу; S – величина поверхневих скидів.

Результати досліджень. Водні баланси поливних карт-чеків з дренажем складались в умовах підтримання на них у всі роки спостережень вкороченого режиму затоплення (рис. 2).

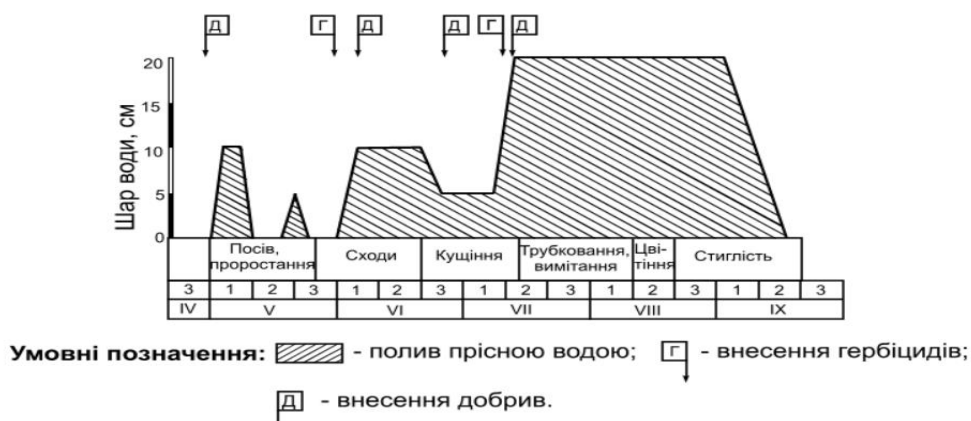


Рис.2 . Вкорочений режим затоплення рису, що підтримувався на поливних картах-чеках з дренажем в період досліджень

Після обробки та узагальнення даних досліджень нами складено водні баланси для кожної з карт експериментальних ділянок за роками спостережень і на основі них отримані середні дані за п'ятирічний період спостережень (табл.1). Зупинимось детальніше на аналізі кожної зі складових водного балансу.

Насичення ґрунтів. Витрати води на насичення ґрунтів для дослідних карт в середньому за роки досліджень змінювалися від 1560 до 1803 м³/га, що становило до 8,6 % витратної частини водного балансу (табл. 1).

Таблица 1

Водний баланс КЧД з різними параметрами (в середньому за роки спостережень)

№ ділянки	Між-дренна від-стань, м	Одиниці вимі-ру	Надходження			Витрата					Нев'я-зка, %
			зрошу-вальна норма	опа-ди	всього	наси-чення ґрунту	сум. водо-спож.	загальна фільтра-ція	повер-хневі скиди	всього	
1	200	м ³ /га	23382	1250	24632	1610	7535	11974	3540	24662	-0,12
		%	94,9	5,1	100,0	6,5	30,6	48,5	14,4	100,0	
2	250	м ³ /га	21000	1383	22383	1593	7553	10159	3319	22263	-1,1
		%	93,8	6,2	100,0	7,0	33,4	44,9	14,7	100,0	
3	250	м ³ /га	22787	1093	23880	1563	7823	10940	3550	23876	0,0
		%	95,4	4,6	100,0	6,6	32,8	45,8	14,8	100,0	
4	500	м ³ /га	19983	1093	21078	1803	7823	8226	3173	21026	+0,3
		%	94,8	5,2	100,0	8,6	37,2	39,1	15,1	100,0	

Об'єм води, що витрачається на повне водонасичення певного шару ґрунту визначається за формулою

$$W_n = k_n \cdot A \cdot H_{гв}, м^3 / га$$

де, k_n – коефіцієнт, що враховує ступінь заповнення шпарин ґрунту водою; A – шпаруватість ґрунту, %; $H_{гв}$ – глибина залягання РГВ перед затопленням, м.

Як видно з формули, витрата поливної води на насичення ґрунту залежить від глибини зони аерації та від запасів вологи в ній перед початковим затопленням, а також від середньої шпаруватості ґрунтів у межах карти. Оскільки середня шпаруватість є величиною відносно постійною для умов досліджуваних карт, кількість води, необхідна для вологонасичення зони аерації, залежить переважно від вихідної вологості ґрунтів у цій зоні і положення рівня ґрунтових вод. В результаті досліджень встановлено, що визначальним є другий із зазначених факторів. Це положення підтверджується результатами, отриманими після обробки експериментальних даних методами математичної статистики, які свідчать про тісний кореляційний зв'язок ($r=0,77$), між об'ємом води що витрачається на вологонасичення зони аерації, і глибиною цієї зони, який описується рівнянням:

$$W = 1,38 \cdot H - 0,29, \text{ тис.м}^3 / га$$

де, W – обсяг води на вологонасичення, тис. м³/га; H – глибина зони аерації, м.

Графічна інтерпретація даного рівняння представлена на рис. 3.

Отримане рівняння дозволяє з відносно високим ступенем точності визначати витрати води на початкове насичення ґрунтів при відомій глибині рівня ґрунтових вод і може використовуватися для розрахунків при проектуванні рисових систем у дельті Дунаю, а також істотно скорочує обсяг робіт, що проводяться з метою визначення цієї складової водного балансу при експлуатації рисових систем в цьому регіоні.

Сумарне випаровування. Сумарне водоспоживання рису з рисових полів (евапотранспірація) складається з двох складових-випаровування з водної поверхні поля та транспірації рослинами рису. Саме показник сумарного водоспоживання є важливим для практичних цілей. Евапотранспірація залежить від цілого комплексу

факторів, основними з яких є: температурні умови, вологість повітря, опади, врожайність рису [2, 3,4].

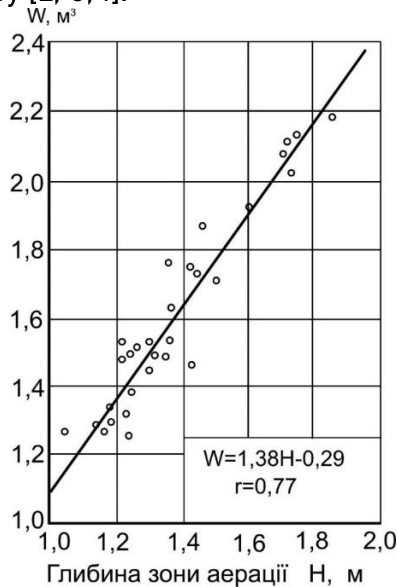


Рис. 3. Залежність об'єму води, що витрачається на насичення ґрунтів зони аерації (W) від глибини залягання ґрунтових вод перед початковим затопленням (H)

В період досліджень сумарне водоспоживання рису змінювалось на дослідних ділянках не суттєво- від 7240 до 7840 м³/га , що складало в середньому до 37,2 % від витратної частини водного балансу (табл.1). Вивчення динаміки сумарного водоспоживання впродовж вегетаційного періоду та співвідношення між випаровуванням з водної поверхні та транспірацією, то можна відмітити наступне. Найбільша величина випаровування (4,8...5,3 мм/добу) була характерна для двох останніх декад червня та першої декади липня, коли температура повітря найвища і поверхня рисового поля ще не суттєво затінена рослинами рису, а найменша – в кінці вересня, коли понижується температура повітря та спостерігається найбільше затінення (рис. 4).

Максимальні витрати води на транспірацію (до 6 мм/добу) спостерігалось в фазу трубкування рису, коли відбувався найбільш інтенсивний ріст рослин рису.

Максимум сумарного водоспоживання практично співпадав з максимумом транспірації, спостерігався в останній декаді червня і складав 9,3 мм/добу.

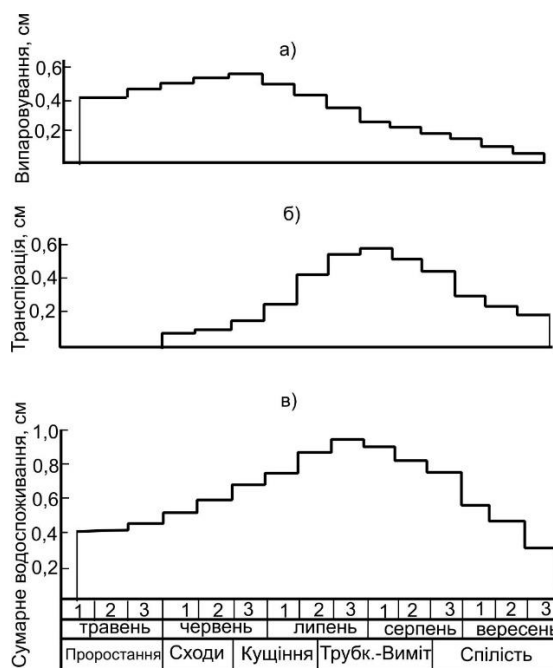


Рис. 4. Динаміка випаровування, транспірації та сумарного водоспоживання залежно від фази розвитку рису

Витрати зрошувальної води на фільтрацію. Витрати води на фільтрацію визначаються, на думку більшості авторів, переважно трьома головними факторами – гідрогеологічною ситуацією на рисовому масиві, конструкцією поливної карти та основними її параметрами.

В зв'язку з тим, що перед початковим затопленням рисових полів рівень ґрунтових вод на дослідних картах знаходився відносно близько до денної поверхні (до 1,9 м), загальна фільтрація фактично складалась тільки з одної складової – фільтраційного відтоку в колекторно-дренажну мережу, так як після повного вологонасичення зони аерації при початковому затопленні рисових полів рух води в нижчі горизонти неможливий. Тому в подальшому під поняттями «фільтрація» і «загальна фільтрація» будемо розуміти фільтраційний відтік в дренажно-скидну мережу.

Дослідження динаміки фільтрації по площі карт-чеків з дренажем (КЧД) рисових систем дельти Дунаю показали, що найбільші значення швидкості фільтрації (від 4 до 20 мм/добу) спостерігаються на частині рисового поля, у так званих придренних

зонах, на відстані до 50 м від картових дрен при відсутності підпорів в дренажно-скидних каналах і відповідно максимальній величині напірного градієнту. Далі, до середини міждрення, швидкості фільтрації, незалежно від конструкції поливних карт та відстані між дренажними каналами, знаходились в межах 1...2 мм/добу. Створення підпорів води в дренажно-скидній мережі також призводить, практично, до нульової фільтрації із чеків. Регулюючи рівні води в дренажно-скидній мережі та на поверхні рисового поля, можна змінювати в відповідних межах швидкість фільтрації під затопленим рисовим полем і тим самим суттєво впливати на фільтраційні втрати води.

Для практичних цілей особливо важливим є порівняння даних про фільтраційні втрати на картах-чеках з різними міждреннями, оскільки вони в найбільшій мірі залежать від міждренних відстаней. Для отримання результатів для кожної з карти-чека була визначена середня за сезон швидкість фільтрації, що визначалась як відношення сумарного спрацювання шару води за сезон на фільтрацію до тривалості періоду затоплення поля (табл. 2).

Для контролю прийнята середньосезонна швидкість фільтрації на КЧД з міждренням 200 м. Як видно з табл. 2 середньосезонна швидкість фільтрації при міждреннях 250 і 500 м нижче, ніж при міждреннях 200 м відповідно на 24,8 і 42,5 %. У ході проведених досліджень вивчалася також динаміка швидкості фільтрації на КЧД з віддаленням від дренажного каналу, а також її зміна по площі карт-чеків.

Таблиця 2

Середньосезонна швидкість фільтрації залежно від міждренної відстані на картах-чеках на третій рік вирощування рису

№ ділянки	Тип карти-чека	Міждрен на відстань, м	Загальна фільтрація, м ³ /га	Тривалість підтримання шару воли на карті, діб	Середньо сезонна швидкість фільтрації, мм/добу	Відхилення від середньо сезонної швидкості фільтрації при В=200 м	
						мм/добу	%
1	КЧД-1	200	9850	90	10,9	-	-
	КЧД-2	200	10370	88	11,7	-	-
Середнє					11,3	Контроль	
2	КЧД-1	250	8140	103	7,9	-3,4	-30,0
	КЧД-2	250	8950	105	8,5	-2,8	-24,8
3	КЧД-1	250	9280	102	9,1	-2,2	-19,5
Середнє					8,5	-2,8	-24,5
3	КЧД-2	500	6460	99	6,5	-4,8	-42,5



Необхідні відомості з цих питань були отримані за допомогою фільтромірів. На основі обробки експериментальних даних методами математичної статистики виведені рівняння, які встановлюють залежність між швидкістю фільтрації у певній точці та віддаленням цієї точки від дренажно-скидного каналу для дослідних карт-чеків різних параметрів, а також визначена тіснота зв'язку між корельованими величинами. Для дослідних карт рівняння зв'язку мають наступний вид (рис. 5).

З рис. 5 видно, що швидкість фільтрації збільшується з наближенням до картової дрени або колектору. У смузі вздовж колектора (канал ГС) швидкість фільтрації більш висока, ніж уздовж картової дрени. Це також добре видно з рисунка 6.

Така особливість розподілу швидкостей фільтрації в придренних зонах пояснюється тим, що в період замірів перепад по висоті між відмітками рівня води в картовій дрени і рівні води на карті складав 0,4...0,6 м, а між відмітками рівнів води в колекторі ГС і на карті - 0,9...1,3 м. Виходячи з таких особливостей формування фільтраційного потоку на картах-чеках можна зробити висновок, що за рахунок створення підпорів в картових дренах в період вегетації рису в точці водовиділу в господарський скидний канал (рис.1 поз.7) можна суттєво (на 10...15%) зменшити втрати води на фільтрацію, а це від 1000 до 1500 м³/га.

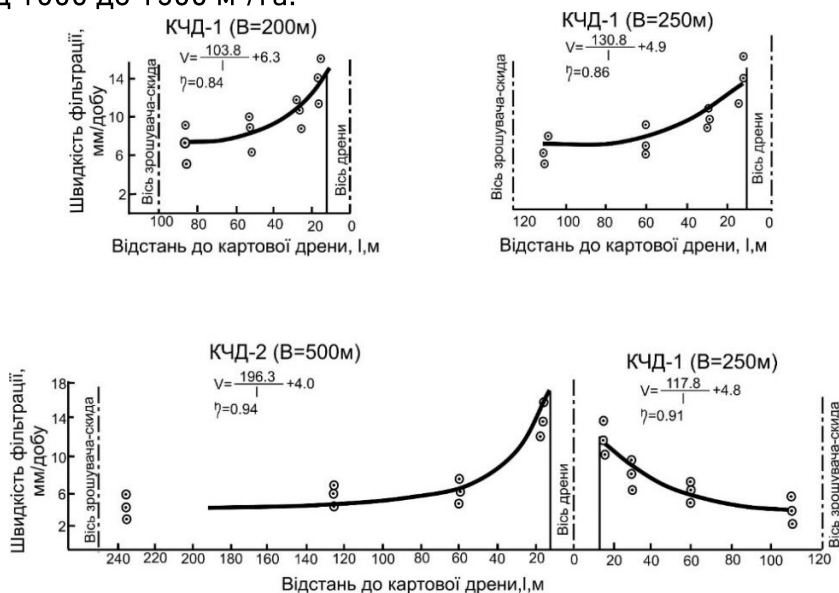


Рис.5. Графік розподілу швидкостей фільтрації на рисових чеках різних конструкцій

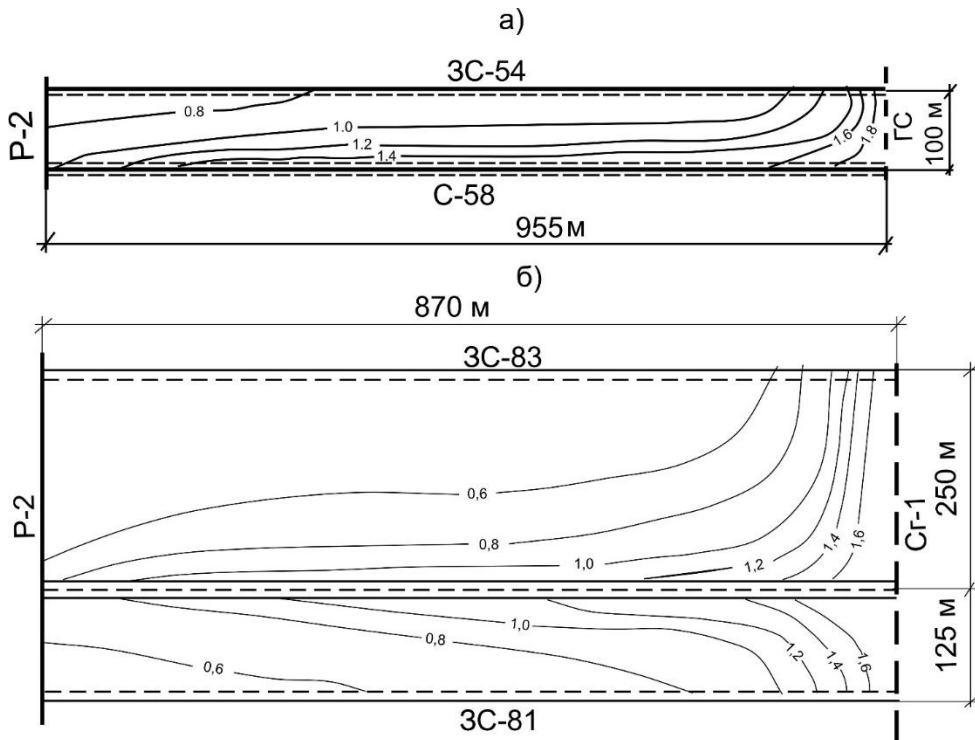


Рис. 6. Розподіл швидкостей фільтрації (см/добу) по площі карт-чеків з різними міждреннями: а) міждрення 200м; б) міждрення 250 та 500 м: ГС-головний скид; Сг-1 – господарський скид; 3С-54, 3С-81 та 3С-83 – зрошувачі-скиди; С-58 та С-74 – відкриті картові дрени

Висновки.

1. В умовах рисових систем дельти Дунаю основними складовими витратної частини водного балансу є витрати на сумарне водоспоживання рису, яке складає від 30% до 37 % та втрати води на фільтрацію, які складають від 39% до 48%, що свідчить про домінуючу роль фільтрації у загальному водоспоживанні рисових систем.

2. Витрати води на насичення ґрунтів формуються переважно залежно від глибини зони аерації перед початковим затопленням. Встановлено тісний кореляційний зв'язок ($r=0,77$) між обсягом води, необхідної для вологонасичення ґрунтового профілю, та глибиною залягання рівня ґрунтових вод. Отримане рівняння дозволяє прогнозувати цю складову водного балансу при проектуванні та експлуатації рисових систем.

3. Фільтраційні втрати з карт-чеків змінюються у широкому діапазоні (8...12 тис. м³/га) залежно від ґрунтових і гідрогеологічних

умов, дренаваності та міждренних відстаней. Збільшення міждрення з 200 до 500 м знижує середньосезонну швидкість фільтрації на 24,8...42,5 %.

4. Просторовий розподіл швидкості фільтрації свідчить про її максимальні значення у придренних зонах (до 20 мм/добу) та мінімальні – у центральних частинах рисових карт (1...2 мм/добу). Ця закономірність обумовлена значним перепадом рівнів води між поверхнею поля та дренажними каналами.

5. На КЧД найбільші фільтраційні втрати характерні для карт міждренням 200 м, де вони були більше на 24,8 %, ніж на КЧД з міждренням 250 м і на 42,5 % – ніж на КЧД з міждренням 500 м.

6. Регулювання рівнів води у картовій дренажно-скидній мережі шляхом створення підпорів в період вегетації рису в точці водовиділу з картової дрени в господарський скидний канал дозволяє суттєво зменшити втрати води на фільтрацію (до 1500 м³/га).

1. Рис в Україні: [колективна монографія] / за редакцією В.А. Сташука, А.М. Рокочинського, Л.М. Грановської – Херсон: Гринь Д. С., 2014. с.145-159.
2. Кропивко С.М. Вплив зрошувача-скиду на формування водного режиму та сольового балансу рисової карти-чека з дренажем // Вісник НУВГП. – 2016. – Рівне. – Вип.4(76) – с.3–9.
3. Рис Придунав'я: [колективна монографія] / за ред. В.А.Сташука, А.М.Рокочинського, П.І. Мендуся, В.О. Турченюка. – Херсон: Гринь Д.С., 2016. – 620 с.
4. ДБН В.2.4-1-99 "Меліоративні системи та споруди", Київ: Держбуд України, 2000 -199 с.
5. Bouman, B. A. M., Wopereis, M. C. S., Kropff, M. J., ten Berge, H. F. M., & Tuong, T. P. (1994). *Water use efficiency of flooded rice fields. (II) Percolation and seepage losses*. *Agricultural Water Management*, 26(4), 291–304.
6. Rashid M. A., Kabir W., Khan L. R., Saleh A. F. M., Khair M. A. Estimation of water loss from irrigated rice fields // *SAARC Agricultural Journal*. – 2009. – Vol. 7, № 1. – С. 29–42.
7. Janssen M., Lennartz B. Horizontal and vertical water and solute fluxes in paddy rice fields // *Soil & Tillage Research*. – 2007. – Vol. 94, № 1. – P. 133–141. – DOI: 10.1016/j.still.2006.07.010.
8. Adachi, K. Effects of rice-soil puddling on water percolation. In: *Transactions of the 14th International Congress of Soil Science, Vol. I. Symposium I-4: Problems and Opportunities in Soil-Physical Management in Rice-based Cropping Systems*, p. 1-146. Kyoto, Japan: International Society of Soil Science. Printed in Japan, June 1990.

REFERENCES:

1. Rice in Ukraine: [collective monograph] / edited by V. A. Stashuk, A. M. Rokochynskyi, L. M. Hranovska. – Kherson: Hrin D. S., 2014. pp. 145–159. 2. Kropyvko S. M. Influence of the irrigation-drainage channel on the formation of the water regime and salt balance of a rice paddy-check with drainage // *Bulletin of NUVGP*. – 2016. – Rivne. – Issue 4(76). – pp. 3–9. 3. Rice of the Danube Region: [collective monograph] / edited by V. A. Stashuk, A. M. Rokochynskyi, P. I. Mendus, V. O. Turcheniuk. – Kherson: Hrin D. S., 2016. – 620 p. 4. DBN V.2.4-1-99 “Reclamation Systems and Structures”, Kyiv: State Committee for Construction of Ukraine, 2000. – 199 p. 5. Bouman, B. A. M., Wopereis, M. C. S., Kropff, M. J., ten Berge, H. F. M., & Tuong, T. P. (1994). Water use efficiency of flooded rice fields. (II) Percolation and seepage losses. *Agricultural Water Management*, 26(4), 291–304. 6. Rashid M. A., Kabir W., Khan L. R., Saleh A. F. M., Khair M. A. Estimation of water loss from irrigated rice fields // *SAARC Agricultural Journal*. – 2009. – Vol. 7, No. 1. – pp. 29–42. 7. Janssen M., Lennartz B. Horizontal and vertical water and solute fluxes in paddy rice fields // *Soil & Tillage Research*. – 2007. – Vol. 94, No. 1. – pp. 133–141. – DOI: 10.1016/j.still.2006.07.010. 8. Adachi, K. Effects of rice–soil puddling on water percolation. In: *Transactions of the 14th International Congress of Soil Science*, Vol. I. Symposium I-4: Problems and Opportunities in Soil-Physical Management in Rice-based Cropping Systems, p. I-146. Kyoto, Japan: International Society of Soil Science. Printed in Japan, June 1990.

Turcheniuk V.O. [1; ORCID ID: 0000-0002-1938-0344],

Doctor of Engineering, Professor,

Kropyvko S.M. [1; ORCID ID: 0000-0003-4538-7328],

Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor,

Kartavov Yu. O. [1; ORCID ID: 0000-0003-1526-4351],

Post-graduate Student ,

¹ National University of Water and Environmental Engineering, Rivne

FEATURES OF WATER BALANCE FORMATION ON DRAINED PADDY FIELDS IN THE DANUBE DELTA RICE IRRIGATION SYSTEMS

The article is devoted to a comprehensive study of the processes of water balance formation on flooded paddy check plots equipped with drainage networks of various parameters within the rice irrigation systems of the Danube Delta. The relevance of the research is determined by the need to increase water-saving efficiency in Ukrainian rice-growing systems under conditions of limited water resources, increasing hydrological variability, and the necessity to

rationalize irrigation water use when cultivating a water-demanding crop such as rice.

The purpose of the study is to identify the regularities of the formation of the main components of the water balance of paddy fields depending on the design features of the drainage-discharge network and the structural parameters of the check plots, as well as to determine the influence of drain spacing on the intensity of filtration losses. The article examines both natural factors of the water balance (precipitation, total water consumption, hydrogeological conditions) and technical ones (design of the irrigation units, drainage spacing, flooding regime).

The research was conducted on typical plots of the Kiliya rice irrigation system covering 4832 ha, where the soil cover is represented by alluvial loams and sandy loams typical for deltaic formations. Field measurements were carried out using vegetative evaporation vessels to determine evapotranspiration components and infiltrometers to obtain spatial patterns of filtration at check plots with different drain spacing. Each component of the water balance was determined independently, ensuring high accuracy of the obtained results.

Water balances were compiled for check plots with drain spacing of 200, 250 and 500 m. It was found that water consumption for soil saturation averaged 1560...1803 m³/ha (up to 8.6% of total water expenditures) and strongly correlated with the depth of the aeration zone ($r = 0.77$). Based on statistical analysis, an equation was derived that allows predicting water consumption for saturation depending on groundwater depth, which can be used in the design of rice systems in the Danube Delta.

Total water consumption (evapotranspiration) during the study period ranged from 7240 to 7840 m³/ha, which accounted for up to 37% of the expenditure part of the water balance. Seasonal dynamics of water evaporation from the flooded surface and rice plant transpiration were analyzed; maximum water consumption was observed in late June and early July during the most active growth period and the highest air temperatures.

Special attention is paid to filtration losses, which under the studied conditions occurred mainly as drainage outflow, since the shallow groundwater level excluded significant vertical filtration to deeper layers. Filtration was found to vary spatially: in drain-adjacent

zones, filtration rates reached 4-20 mm/day, whereas in the central parts of the fields they were only 1-2 mm/day. The average seasonal filtration rate at drain spacing of 250 and 500 m was lower than at 200 m by 24.8% and 42.5%, respectively, demonstrating the water-saving advantage of increased drain spacing. Regression equations describing the relationship between filtration rate and distance from the drainage canal were developed.

A practically significant finding is the possibility of reducing filtration losses by 10-15% through the creation of hydraulic backwater in the drainage network during the rice growing season. This measure allows saving 1000-1500 m³/ha of water without changing the structural parameters of the check plots.

The obtained results are valuable for improving water regime management technologies in rice irrigation systems, optimizing their hydromeliorative performance, and planning the reconstruction of irrigation networks under delta conditions.

Keywords: *rice irrigation system, water balance of a paddy field map, total rice water consumption, filtration losses.*

Отримано: 25 січня 2026 року

Прорецензовано: 27 лютого 2026 року

Прийнято до друку: 27 березня 2026 року



© 2026 [Turcheniuk V.O., Kropyvko S.M., Kartavov Yu. O.]. Licensee [NUWEE]. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC) license (creativecommons.org).