ГІДРОГЕОЛОГІЯ, ІНЖЕНЕРНА ТА ЕКОЛОГІЧНА ГЕОЛОГІЯ

УДК 556.3:631.16
DOI: http://doi.org/10.17721/1728-2713.90.11

А. Рокочинський, д-р техн. наук, проф.,
E-mail: a.m.rokochinskiy@nuwm.edu.ua;
В. Турченюк, д-р техн. наук, доц.,
E-mail: fwg@ukr.net;
П. Волк, канд. техн. наук, доц.,
E-mail: p.p.volk@nuwm.edu.ua;
Н. Приходько, канд. техн. наук, старш. викл.
E-mail: n.v.prihodko@nuwm.edu.ua;
Н. Фроленкова, канд. екон. наук, доц.,
E-mail: n.a.frolenkova@nuwm.edu.ua;
Національний університет водного господарства та природокористування,
вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33000, Україна;
О. Шевченко, д-р геол. наук, проф.,
E-mail: shevch62@gmail.com;
Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
вул. Васильківська, 90, Київ, 03022, Україна

ФОРМУВАННЯ ГІДРОГЕОЛОГО-МЕЛІОРАТИВНОЇ ОБСТАНОВКИ НА РИСОВИХ ЗРОШУВАЛЬНИХ СИСТЕМАХ ПРИДУНАВ'Я ТА ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЇХНЬОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ З УРАХУВАННЯМ ПОГОДНО-КЛІМАТИЧНИХ РИЗИКІВ

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. О.Є. Кошляковим)

Проведено аналіз основних причин незадовільного гідрогеолого-меліоративного стану рисових зрошувальних систем Придунав'я та розглянуто шляхи його поліпшення через підвищення дренованості зрошуваних земель рисових систем. На засолених землях рисових систем дельти Дунаю дренажно-скидна мережа є головним засобом активного і направленого впливу на водно-сольовий режим меліорованої території, формування режиму рівня ґрунтових вод як у вегетаційний, так і в міжполивний період для рису та супутніх культур, і є по суті визначальним фактором продуктивності сільськогосподарських угідь. Аналіз ефективності роботи дренажу на рисових системах дельти Дунаю показав, що дренаж, побудований відповідно до діючих на час будівництва норм проектування, не забезпечує рівномірної дренованості за площею та ґрунтовим профілем рисових полів, що є однією з головних причин їхнього незадовільного гідрогеолого-меліоративного стану, зниження врожайності рису і супутніх культур. Шляхом проведення оптимізаційних розрахунків за показником наведених витрат, за умови забезпечення при цьому оптимальної швидкості вертикальної фільтрації на рівні 6…8 мм/добу для рисових систем Придунав'я установлена оптимальна відстань між дренами – 100 м. Для існуючих рисових систем з дренажно-скидною мережею карт-чеків у вигляді відкритих картових дрен з міждренними відстанями 250…500 м її конструктивне вдосконалення можливе шляхом дооснащення поодинокими закритими дренами-колекторами, які доцільно влаштовувати вздовж карт-чеків з дотриманням розрахункової відстані. Для зменшення величини швидкості вертикальної фільтрації в придренних зонах, де вона досягає 25 мм/добу, доцільно практикувати створення підпорів рівнів води в дренажно-скидній мережі. Створення підпорів рівнів води в дренажних каналах зменшує швидкість фільтрації в придренних зонах карт-чеків практично на порядок – до 4…5 мм/добу. Розроблені заходи та відповідна реконструкція рисових систем дадуть змогу забезпечити підтримання задовільного гідрологічного і гідрогеологічного режимів, забезпечити рівномірне розсолення ґрунтів по всій площі при вирощуванні затоплюваного рису, створити сприятливі умови для протікання окисно-відновних процесів, підтримання сприятливого еколого-меліоративного стану системи загалом.

Ключові слова: гідрогеолого-меліоративний стан, водно-сольовий режим, рисова зрошувальна система, ґрунтові води, швидкість фільтрації, дренажно-скидна мережа, оптимізація.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. Рисові зрошувальні системи (РЗС) істотно відрізняються від класичних меліоративних об'єктів зони зрошення складними ґрунтовими, геологічними та гідрогеологічними умовами відведених під їхнє обладнання територій та наявністю в сівозміні провідної культури затоплюваного рису. Ці умови пов'язані з особливостями технології водорегулювання при вирощуванні затоплюваного рису, яка полягає у створенні та підтриманні на рисових полях необхідного промивного водного режиму як обов'язкової умови їхнього використання як угідь сільськогосподарського призначення (*Якуба, 2007*). Суть промивного водного режиму полягає тут у зниженні сезонної акумуляції солей у верхніх горизонтах і вимиванні їх низхідними токами води в нижні горизонти і в дренажну мережу. Забезпечення ефективного режиму дії зрошувально-дренажної системи та відповідної промивності рисового поля як у період створення і підтримання шару води на ньому, так і в період його осушення, є необхідною умовою підвищення продуктивності рисосіяння й поліпшення еколого-меліоративного стану в межах системи та на прилеглій території.

Водно-сольовий режим у зоні аерації та еколого-меліоративний стан РЗС визначається цілою низкою чинників, серед яких є природні (кліматичні фактори) та технологічні (зрошувальна норма; об'єм води, що скидається; конструкція та параметри зрошувальної й дренажно-скидної мережі тощо). Рисові системи мають низку особливостей, що відрізняють їх від класичних меліоративних об'єктів зони зрошення. Ці особливості мають не лише технічний характер, а й зумовлені складними геологічними та гідрогеологічними умовами відведених під їхнє оснащення територій та наявністю в сівозміні провідної культури затоплюваного рису. Специфіка даної культури полягає в особливостях технології вирощування, а саме в потребі підтримання шару води на полі протягом вегетаційного періоду. Одним із найголовніших елементів РЗС є дренажно-скидна мережа, яка визначає інтенсивність і направленість фільтраційних процесів, що мають місце при тривалому перезволоженні ґрунтів у різні періоди вегетації рису та вирощуванні інших супутніх сільськогосподарських культур. На засолених землях рисових систем дельти Дунаю дренажно-скидна мережа є головним засобом

© Рокочинський А., Турченюк В., Волк П., Приходько Н., Фроленкова Н., Шевченко О., 2020

активного і направленого впливу на водно-сольовий режим меліорованої території, на режим рівня ґрунтових вод (РГВ) як у вегетаційний, так і в міжполивний період для рису та супутніх культур, і є по суті визначальним фактором продуктивності сільськогосподарських угідь.

Аналіз ефективності роботи дренажу на рисових системах дельти Дунаю (*Якуба, 2007; Гончаров, 1969; Кропивко, 1987; Мендусь, 2007*) показав, що дренаж, побудований ще в 60-ті рр. минулого століття відповідно до діючих на час будівництва норм проектування, не забезпечує достатню дренованість рисових полів, що є однією з головних причин їхнього незадовільного еколого-меліоративного стану і зниження врожайності рису і супутніх культур. Рисові зрошувальні системи в Україні, у тому числі в дельті Дунаю, були побудовані за відомою схемою поливних карт Краснодарського типу (ККТ) і карт-чеків широкого фронту затоплення та скиду води (КЧШФ) з однобічним і двобічним командуванням здебільшого відкритих зрошувальних і дренажно-скидних каналів, відстань між якими залежно від ґрунтово-гідрогеологічних умов становила 200…500 м при глибині карстових дрен 1,5…1,7 м.

У процесі тривалої експлуатації дренажно-скидна мережа під дією численних факторів значно деформувалась (*Гончаров, 1969; Кропивко, 1987; Сташук та ін., 2014, 2016*). Такі канали перестали якісно впливати на водно-сольовий режим ґрунтів при вирощуванні рису, а особливо в періоди вирощування супутніх культур, коли потрібно забезпечити критичну глибину РГВ, яка для умов рисових систем дельти Дунаю становить 1,3…1,5 м. Крім того, посилення вимог щодо необхідності збереження якості води змушує орієнтуватися лише на замкнені системи із зрошувальними та дренажними каналами замість традиційних каналів подвійного призначення (*Giveson Zulu et. al*., *1996*).

Неспроможність дренажної мережі підтримувати сприятливий водний режим при забезпеченні необхідної норми осушення і, відповідно, достатньої аерації кореневмісного шару ґрунту в міжполивний період і пов'язаної з нею інтенсивністю і направленістю окисно-відновних процесів у ґрунтах, їхнє промивання під впливом довготривалого поливу затопленням рису є головною причиною виникнення несприятливих ґрунтових процесів на РЗС (оглеєння, вторинне засолення та заболочування тощо), зниження їхньої родючості та відповідно врожайності рису і супутніх культур.

Мета досліджень полягає у встановленні причин погіршення водного режиму та гідрогеолого-меліоративного стану РЗС, розробленні комплексних рішень з його поліпшення, що базуються на принципах системної оптимізації параметрів дії дренажу, удосконаленні конструкції та методів його розрахунку.

Матеріали та методи досліджень. Дослідження проводились протягом 2003–2016 рр. у межах комплексної програми щодо підвищення загальної ефективності функціонування Придунайських РЗС за єдиною методикою, що включала в себе: використання спільної бази даних багаторічних спостережень по об'єкту; обґрунтування відповідно до завдання комплексу критеріїв ефективності функціонування діючих РЗС; використання методу водного та сольового балансу як загальноприйнятого інструменту оцінювання та прогнозування гідрогеологічного режиму та еколого-меліоративного стану РЗС.

Викладення основного матеріалу. Досвід експлуатації Придунайських РЗС показав, що їх гідрологічний та гідрогеологічний режими й відповідний еколого-меліоративний стан визначаються надійною роботою всіх елементів рисової системи і, у першу чергу, дренажно-скидної мережі. Покращення водного режиму на основі оптимізації швидкості фільтрації при створенні та підтриманні промивного режиму, удосконалення конструкції й параметрів дренажу забезпечать задовільний еколого-меліоративний стан РЗС.

Багаторічними дослідженнями визначено, що дія дренажу на засолених землях РЗС має відповідати таким основним вимогам:

- забезпечити протягом 2–3 років розсолення верхнього 1...1,5 м шару ґрунту для створення сприятливих умов вирощування рису і супутніх культур;
- забезпечувати після скиду води із чеків необхідну норму осушення не менше критичної глибини (1,5…1,8 м) на початок нового поливного сезону;
- виключати можливість вторинного засолення ґрунтів на полях, зайнятих супутніми культурами;
- створювати та підтримувати на рисовому полі оптимальні швидкості фільтрації для винесення солей з активного шару ґрунту.

Ефективна робота дренажно-скидної мережі на рисових системах перш за все залежить від правильного вибору його параметрів, тобто відстані між дренами та глибини їхнього закладання. Значення цих параметрів мають бути розраховані на попередження вторинного засолення та створення оптимальних умов для вирощування супутніх сільськогосподарських культур.

Відстань між дренами визначається нормою осушення, яку бажано утримувати нижче критичної глибини за ознакою випаровування з РГВ і вторинного засолення, а також фільтраційними характеристиками ґрунтів. Ступінь первинного засолення залежить від кліматичних, гідрогеологічних умов і геологічної історії району. Згідно з гідрогеологічним районуванням (*Легенда до гідрогеологічної карти…, 2007*) територія локального розміщення Придунайських РЗС належить до Придунайського та частково Татарбунарського районів Переддобрудзького артезіанського басейну пластових і блоково-пластових напірних вод. В основі першого осадового поверху лежать відкладення сарматського і меотичного ярусів міоцену та понтичного ярусу пліоцену. Відкладення понтичного ярусу перекриваються верхньопліоценовими і четвертинними утвореннями. На півдні – це комплекс алювіально-дельтово-морських відкладень, а на півночі – комплекс верхньопліоценових терас, в які врізана верхньочетвертинна тераса. Зверху елювій терас перекривається середньо-верхньочетвертичними відкладеннями (рис. 1).

Підземні води Переддобрудзького басейну перебувають в умовах зони утрудненого водообміну. У гирлі р. Дунай поширені відклади нерозчленованого заплавно-терасового комплексу, до якого приурочений потужний пліоцен-верхньонеоплейстоценовий (aN^2_2–P_{III}) водоносний горизонт (комплекс), для якого водовмісними породами є різнозернисті піски, гравій, галька, алеврити. У верхньому неоплейстоцені наявні слабоводоносні горизонти в елювіальних та еолово-делювіальних лесоподібних відкладах вододільного плато (e,vdP_{III}). Водомісткими породами, що мають потужність 7–12 м, є легкі, середні та важкі суглинки, а також супіски та лінзи глинистих пилуватих пісків, які залягають на еоплейстоцен-неоплейстоценових глинах. Лесові відклади характеризуються слабкою водоносністю, водопроникністю та водовіддачею, коефіцієнт фільтрації не перевищує 1 м/добу, часто – 0,2–0,5 м/добу. Часто водоносні горизонти мають спорадичний, лінзоподібний характер. На надзаплавних терасах р. Дунай поширений водоносний горизонт в алювіальних відкладах ($aP_{II–III}$) (*Камзіст, Шевченко,2009*).

Територія дельти Дунаю, на якій розташовані рисові системи, практично позбавлена відтоку ґрунтових вод. Згідно з гідрогеолого-меліоративним районуванням цю

територію можна розділити на дві ділянки з різним режимом ґрунтових вод та умовами природної дренованості:

- територія з ускладненим відтоком ґрунтових вод, розташована між м. Ізмаїл і м. Кілія;
- територія, яка практично позбавлена відтоку ґрунтових вод, розташована між м. Кілія і Чорним морем.

Багатоплановість завдань дренажу РЗС у різні технологічні періоди вирощування рису передбачає застосування відповідних теоретичних залежностей, які дозволяють визначати параметри дренажу як з точки зору осушувальної дії, так і створювання достатньої інтенсивності промивного водного режиму, рівномірного за величиною по площі рисового чеку.

Рис. 1. Літологічна карта Придунайських РЗС

Багатоплановість завдань дренажу РЗС у різні технологічні періоди вирощування рису передбачає застосування відповідних теоретичних залежностей, які дозволяють визначати параметри дренажу як з точки зору осушувальної дії, так і створювання достатньої інтенсивності промивного водного режиму, рівномірного за величиною по площі рисового чеку.

Різна інтенсивність фільтрації за шириною карт-чеків обумовлює велику різницю в мінералізації ґрунтових вод та у вмісті солей у ґрунтах, що призводить до того, що в межах одного і того ж чеку створюються різні природно-меліоративні умови і, як наслідок, різна продуктивність вирощуваних культур. Дослідження фільтрації з поверхні поливних карт рисових систем дельти Дунаю (*Сташук та ін., 2014, 2016*) доводять, 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 (рис. 2), за умови відсутності підпорів у дренажно-скидних каналах і, відповідно, максимальній величині напірного градієнта. Далі, до середини міждрення, швидкість фільтрації незалежно від конструкції поливних карт і відстані між дренажними каналами перебуває в межах 1…2 мм/добу, тобто практично відсутня (рис. 3).

Аналіз результатів досліджень фільтрації показав, що для створення сприятливого водно-повітряного і сольового режимів ґрунтів зони аерації інтенсивність фільтрації у період вегетації рису повинна бути не надто високою, але рівномірною по всій площі поливної карти, а сам фільтраційний процес має бути керованим. Водночас, як показали дослідження, досягти рівномірного дренування по всій площі рисового поля за існуючих конструкцій рисових карт і параметрів дренажу не можливо.

Тому без удосконалення роботи та уточнення конструктивних параметрів дренажно-скидної мережі існує реальна загроза виходу з ладу рисових систем і безповоротної втрати значних інвестицій на їхнє будівництво та освоєння.

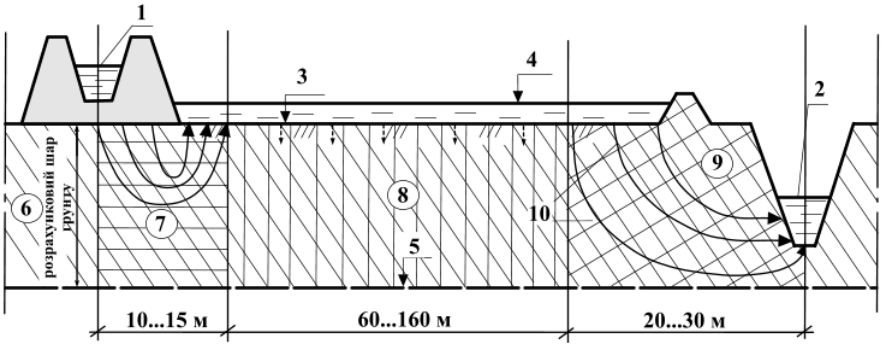

Рис. 2. Схема формування характерних зон фільтрації по профілю рисового чека:
1 – картовий зрошувальний канал; 2 – картовий дренажно-скидний канал; 3 – поверхня ґрунту; 4 – поверхня води; 5 – межа розрахункового шару ґрунту; 6 – розрахунковий шар ґрунту; 7 – зона випору ґрунтових вод; 8 – застійна зона; 9 – зона активної фільтрації; 10 – лінії напрямку руху фільтраційних потоків

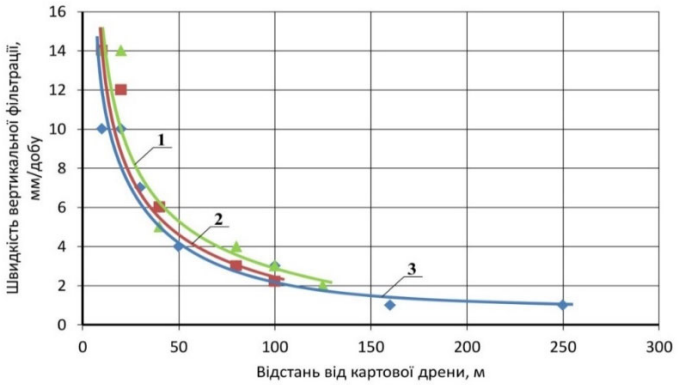

Рис. 3. Швидкість вертикальної фільтрації на картах-чеках залежно від відстані між дренажними каналами:
1 – В = 200 м; 2 – В = 250 м; 3 – В = 500 м

Для діючих РЗС системна оптимізація полягає в еколого-економічній оптимізації показників природно-меліоративних умов, технології водорегулювання, конструктивних рішень щодо їхнього забезпечення (Water-wise rice production, 2002). Оптимізація конструктивних параметрів РЗС і, у першу чергу параметрів дренажно-скидної мережі, виходячи з необхідності створення та підтримання промивного режиму на зрошуваних засолених землях як основного чинника забезпечення їхнього сприятливого водно-сольового режиму й еколого-меліоративного стану, а також підвищення загальної технічної, технологічної, економічної та екологічної ефективності рисової системи, може бути зведена в кінцевому підсумку до оптимізації інтенсивності фільтрації при поверхневому поливі провідної культури рису за рахунок певного співвідношення між подачею і відведенням води за відповідного режиму зрошення. Саме фільтраційний режим, який формується на поливних рисових картах у період підтримання шару води при вирощуванні рису, а також у позавегетаційний період визначає їхній загальний еколого-меліоративний стан, а також дає оцінку технологічній ефективності роботи дренажної мережі в різні періоди функціонування РЗС.

Згідно з (*Рокочинський та ін., 2014;* Turchenyuk, 2017) як економічний критерій та умови оптимізації конструкції й параметри дренажу РЗС на стадії проекту вважаємо за доцільне розглядати показник наведених витрат ZP_i з відповідним урахуванням погодно-кліматичного ризику R_i. Погодно-кліматичний ризик ураховує відхилення водного режиму рисового поля від оптимального в розрахункові, як у позавегетаційний осінньо-весняний (передпосівний), так і у вегетаційний періоди роботи системи за реалізації відповідних варіантів проектних рішень (ПР) сукупності $\{i\}$, $i=\overline{1,n_i}$

$$ZP_i = Z_i \cdot k_{Z_i}^V = \left[\left(C_i + E_n K_i\right) + R_i\right] / V_i,\ i=\overline{1,n_i}, \qquad (1)$$

де $k_{Z_i}^V$ – коефіцієнт зведення наведених витрат Z_i за обсягом (вартістю) V_i отриманої продукції за варіантами режимних, технологічних і технічних рішень сукупності $\{i\}$, $i=\overline{1,n_i}$, який визначається оберненим співвідношенням $1/V_i$; C_i – поточні витрати на отримання продукції за варіантами ПР; $E_н$ – нормативний коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень K_i за відповідними варіантами ПР; R_i – погодно-кліматичний ризик за відповідними варіантами ПР.

Погодно-кліматичний ризик – це можливість втрати або недоотримання прибутку в результаті впливу несприятливих факторів під час проведення господарської діяльності або імовірність виникнення непередбачених утрат очікуваного прибутку чи доходу у зв'язку з випадковою зміною умов економічної діяльності, впливом несприятливих обставин тощо (*Рокочинський та ін., 2014*).

Він визначається за формулою

$$\overline{R_i} = \sqrt{\sum_{j=1}^{m}(W_{ij} - \overline{W}_{пм})^2 \cdot \alpha_{pj}} = \sqrt{\sum_{j=1}^{m} R_{ij}^2 \cdot \alpha_{pj}},\ i=\overline{1,n}, \qquad (2)$$

де W_{ij} – вартість валової продукції за фактичною врожайністю вирощуваних сільськогосподарських культур, отриманою за *i*-м варіантом ПР, у.о./га; $\overline{W}_{пм}$ – вартість валової продукції за потенційно можливою їхньою врожайністю на об'єкті, у.о./га.

Оптимізація параметрів дренажу здійснювалась з урахуванням оптимальних параметрів швидкості вертикальної фільтрації на рисовому чеку, яка відображає одночасно режимний та технологічний аспекти водорегулювання на РЗС при реалізації відповідних гідрологічних і гідрогеологічних режимів на картах-чеках для встановленого оптимального показника пайової частки рису 50…60 % у сівозміні.

Щодо обґрунтування оптимальної швидкості фільтрації, конструкції й оптимальних параметрів дренажно-скидної мережі нами були сформовані такі варіанти проектних рішень:

– 1…3 – конструкція та параметри закритого систематичного дренажу на картах-чеках,

– 4…8 – удосконалена нами конструкція дренажно-скидної мережі на картах-чеках шляхом обладнання проміжних закритих дренажних колекторів і проведення глибокого розпушення,

– 9…12 – конструкція та параметри існуючої дренажно-скидної мережі у вигляді відкритих каналів.

Узагальнені результати такої оцінки наведено в табл. 1.

За результатами прогнозно-оптимізаційних розрахунків оптимальний економічно вигідний варіант проектного рішення щодо розрахункової відстані між дренами дренажно-скидної мережі для умов Придунайських РЗС становить 100 м. При цьому показник наведених витрат ZP_i з відповідним урахуванням погодно-кліматичного ризику є мінімальним і рівним 0,86. Установлена таким чином міждренна відстань, на відміну від існуючої 200…500 м між відкритими дренажно-скидними каналами, забезпечує створення та підтримання на рисовому полі сприятливого гідрологічного та гідрогеологічного режимів шляхом підтримання мінімально необхідного промивного водного режиму з оптимальною швидкістю вертикальної фільтрації 6…8 мм/добу.

Для зменшення величини швидкості вертикальної фільтрації у придренних зонах, де вона досягає 25 мм/добу, доцільно практикувати створення підпорів рівнів води в дренажно-скидній мережі (*Рокочинський та ін., 2014*).

Таблиця 1

Основні результати оптимізаційних розрахунків для Придунайських РЗС щодо обґрунтування оптимальних параметрів дренажу на рисових картах-чеках

Варіанти ПР	Відстань між дренами	Глибина залягання РГВ в осінньо-зимовий період, м	Швидкість вертикальної фільтрації з поверхні рисового поля V, мм/добу	Капіталовкладення, у.о./га	Амортизаційні відрахування, у.о./га	Сільськогосподарські витрати,у.о./га	Меліоративні витрати, у.о./га	Вартість проектної валової продукції, у.о.	Вартість фактичної валової продукції, у.о.	Погодно-кліматичний ризик	Показник приведених витрат з врахуванням погодно-кліматичного ризику
1	50	1,86	27,1	5972,45	298,62	414,12	470,75	2232,00	1249,92	666,53	2,20
2	75	1,78	12,0	4508,50	225,42	470,60	442,56	2232,00	1584,27	647,73	1,55
3	85	1,75	9,4	4299,36	214,97	546,82	437,54	2232,00	2035,58	196,42	1,00
4	**100**	**1,59**	**6,8**	**3881,09**	**194,06**	**565,03**	**419,88**	**2232,00**	**2143,39**	**88,61**	**0,86**
5	125	1,49	4,7	3462,82	173,14	523,45	428,75	2232,00	1897,20	334,80	1,04
6	150	1,35	3,0	3337,34	166,87	487,48	425,56	2232,00	1684,27	547,73	1,26
7	175	1,23	2,2	3253,68	162,68	435,80	360,94	2232,00	1378,26	853,74	1,67
8	200	1,11	1,7	2939,98	147,00	409,93	359,96	2232,00	1225,14	1006,86	1,93
9	225	0,95	1,3	2835,41	141,77	368,27	359,30	2232,00	978,48	1253,52	2,60
10	250	0,83	1,0	2626,27	131,31	354,25	358,82	2232,00	895,48	1336,52	2,88
11	300	0,60	0,7	2479,88	123,99	304,00	358,19	2232,00	597,95	1634,05	4,67
12	500	0,40	0,3	2208,00	110,40	291,44	470,75	2232,00	523,63	1708,37	5,34

Оскільки величина фільтраційного припливуу в дренажно-скидні канали залежить від водопроникності ґрунтів і величини напірного градієнта фільтраційного потоку, то важливим фактором, який впливає на його величину, є глибина наповнення дренажно-скидних каналів і режим рівнів води в них протягом року. Змінюючи глибину наповнення дренажно-скидних каналів, можна регулювати надходження фільтраційних вод із затоплених рисових чеків. При підпорі рівнів води в дренажних каналах швидкість фільтрації зменшується практично на порядок і становить у придренній зоні 4…5 мм/добу.

Таким чином, керуючи рівнями води в дренажно-скидній мережі та на поверхні рисового поля, можна регулювати швидкість фільтрації із затоплених рисових чеків і тим самим суттєво зменшувати втрати води на фільтрацію (рис. 4).

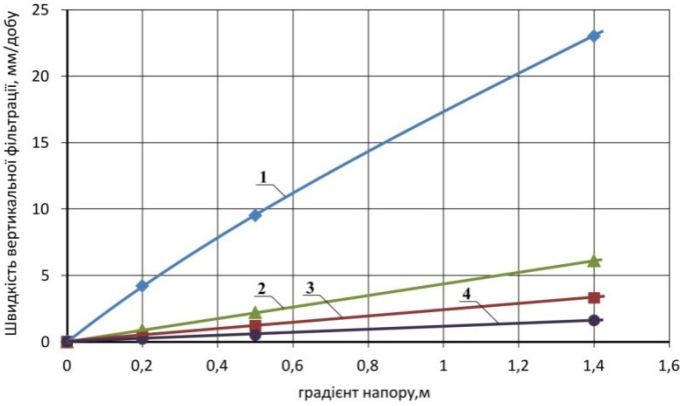

Рис. 4. Швидкість фільтрації з поверхні рисового поля залежно від величини діючого напору та відстані від осі дренажно-скидного каналу:
(В = 200 м), 1–15 м, 2–35 м, 3–50 м, 4–100 м

Як видно з рис. 4, швидкість фільтрації з чеку в зоні впливу дренажного каналу, за різних параметрів дренажної мережі та вільного відтоку дренажних вод з останнього (h = 1,5 м), становить 20…25 мм/добу. За підпертого рівня води (h = 0,15 м) швидкість фільтрації зменшується до 2…5 мм/добу. Загалом по чеку швидкість фільтрації змінюється від 8…12 мм/добу до 3…5 мм/добу залежно від параметрів дренажної мережі. Створення підпорів рівнів води у дренажно-скидних каналах дає можливість зменшити як величину зрошувальної норми до 18795 м^3/га, так і фільтраційні скиди у дренажно-скидну мережу до 7732 м^3/га та, відповідно, зменшити затрати на перекачування води насосними станціями.

Підпори рівнів води доцільно практикувати в картових дренажно-скидних каналах, які розташовані у межах рисового поля, на період від повторного затоплення рисових полів після сходів рису і до настання фази воскової стиглості рису. Створення підпорів має велике значення як для зменшення фільтраційних втрат, так і для підвищення стійкості дренажно-скидних каналів (*Рокочинський та ін., 2014*).

За результатами замірів величини дренажного стоку за різних глибин наповнення каналу встановлена залежність питомого дренажного стоку від діючого напору (рис. 5), яка виражена рівнянням

$$q = 2,57 \cdot h^{1,72}, \qquad (3)$$

де q – питомий дренажний стік з каналу в л/с з 1 км довжини каналу; h – діючий напір, м.

У польових дослідах на Кілійській рисовій зрошувальній системі питомий дренажний стік із картових дренажно-скидних каналів за діючого напору h = 1,7 м становив 6,43 л/с з 1 км, а за напору h = 0,3 м – відповідно 0,32 л/с з 1 км, тобто він зменшується практично у 20 разів.

Таким чином зменшуючи діючий напір шляхом створення підпорів рівнів води в картових дренажно-скидних каналах протягом вегетаційного періоду, можна досягти значного зменшення втрат води із затоплених рисових чеків.

Рис. 5. Залежність дренажного стоку з картового дренажно-скидного каналу від діючого напору

Висновки. Для створення та підтримання на існуючих рисових системах сприятливого гідрологічного, гідрогеологічного режимів і відповідного еколого-меліоративного стану необхідно забезпечувати мінімально необхідний рівень дренованості ґрунтів з метою ліквідації передумов для їхнього вторинного засолення. При цьому завдання дренажу рисової системи як основного засобу регулювання їхнього водного і сольового режимів – це розсолення ґрунтів у період вирощування рису, забезпечення оптимальних швидкостей фільтрації води в ґрунті 6…8 мм/добу протягом усього вегетаційного періоду і забезпечення швидкого просушування чеків у післяполивний період.

Дослідження фільтраційних процесів з поверхні поливних карт рисових систем дельти Дунаю показало, що підвищення врожайності рису, створення сприятливих умов для протікання окисно-відновних процесів відбувається за рівномірного розподілу швидкості фільтрації за площею та ґрунтовим профілем рисової карти.

Для забезпечення необхідних швидкостей фільтрації відстані між дренажно-скидними каналами, як показали оптимізаційні розрахунки за показником наведених витрат для умов Придунайських РЗС, необхідно зменшити до 100 м. Цього можна досягти шляхом дооснащення існуючої дренажної мережі у вигляді відкритих картових дрен поодинокими закритими дренами-колекторами, які доцільно влаштовувати вздовж карт-чеків з дотриманням розрахункової відстані.

Зменшення величини швидкості вертикальної фільтрації в придренних зонах, де вона перевищує 25 мм/добу, досягається шляхом створення підпорів рівнів води в дренажно-скидній мережі.

Таким чином, запропоновані заходи дадуть змогу забезпечити підтримання на існуючих рисових системах задовільного гідрогеологічного режиму, продовжити період із сприятливим стоянням РГВ на картах-чеках у міжполивний період на 30–100 діб, довівши його загальну тривалість до 200–220 діб. Це створює необхідні умови для повного окиснення усіх відновлених токсичних продуктів до початку нового поливного сезону і забезпечує тим самим сприятливий еколого-меліоративний стан РЗС загалом.

Фінансові витрати на вдосконалення конструкції дренажно-скидної мережі карт-чеків компенсуються за рахунок економії зрошувальної норми і зменшення фільтраційних скидів під час експлуатації РЗС, тобто шляхом економії водних та енергетичних ресурсів.

Список використаних джерел

Гончаров, С.М. (1969). О формировании режима грунтовых вод на рисових оросительных системах центральной части дельты Дуная. Мелиорация и водное хозяйство, 10, 37–44.

Камзіст, Ж.С., Шевченко, О.Л. (2009). Гідрогеологія України. К. : Фірма Інкос.

Кропивко, С.М. (1987). Исследование эффективности карт-чеков широкого фронта затопления с дренажем (на примере рисовых оросительных систем дельты Дуная). *Автореф. дис. … канд. техн. наук: спец. 06.01.02 "Мелиорация и орошаемое земледелие".* Ровно.

Легенда до гідрогеологічної карти комплекту Державної геологічної карти України масштабу 1 : 200 000. Причорноморська серія. (2007). Пояснювальна записка; за ред. В.Г. Тюреміної. Одеса.

Мендусь, С.П., Мендусь, П.І., Рокочинський, А.М. (2007). Оцінка меліоративного стану та ефективності рисових систем. *Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво: зб. наук. праць*, 32, 38–49.

Рокочинський, А.М., Турченюк, В.О., Заєць, В.В., Приходько, Н.В. (2014). Підвищення ефективності функціонування Придунайських рисових зрошувальних систем. *Вісник аграрної науки*, 4 (734), 53–57.

Сташук, В.А., Рокочинський, А.М., Грановська, Л.М. та ін. (2014). Рис в Україні. Херсон : Грінь Д.С.

Сташук, В.А., Рокочинський, А.М., Мендусь, П.І., Турченюк В.О. та ін. (2014). Рис Придунав'я. Херсон: Грінь Д.С.

Якуба, С. (2007). Параметры оптимизации рисовых оросительных систем для обеспечения энергетической безопасности водохозяйственного комплекса Нижней Кубани. *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*,34, 109–113.

Giveson, Zulu, Masaru, Toyota, Shin-ichi, Misawa. (1996). Characteristics of water reuse and its effects on paddy irrigation system waterbalance and the ricel and ecosystem. *Agricultural Water Management*, 31, 269–283.

Turchenyuk, V., Frolenkova, N., Rokochynskyi, A. (2017). Environmental and economic foundations of system optimization of operational, technological and construction parameters of rice irrigation systems. Environmental Economics, 8 (2), 76–82. Отримано з https://businessperspectives.org/journals/environmental-economics/issue-248. doi:10.21511/ee.08(2). 2017.08.

Water-wise rice production. (2002). Edited by B.A.M. Buman, H. Hengsdijk, B. Hardy, P.S. Bindraban, T.P. Tuong and J.K. Landa. Proceeding of the Intern. Work-shop (8–11 apr. 2002) IRRI, 356.

References

Giveson, Zulu, Masaru, Toyota, Shin-ichi, Misawa. (1996). Characteristics of water reuse and its effects on paddy irrigation system water balance and the riceland ecosystem. *Agricultural Water Management,* 31, 269–283.

Goncharov, S.M. (1969). Formation of groundwater regime on rice irrigation systems of the Danube's delta central part. *Lend reclamation and water management*, 10, 37–44. [in Russian]

Jakuba, S. (2007). Optimization parameters of rice irrigation systems to ensure the energy security of the water economy of the Lower Kuban. *Political Internet electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University,* 34, 109–113. [in Russian]

Kamzist, J.S., Shevchenko O.L. (2009). Gidrogeology of Ukraine. K. : Firma Inkos. [in Ukrainian]

Kropyvko, S.M. (1987). Astudy of the effective ness of cardchecks of a wide flood front with drainage (on the example of rice irrigation systems of the Danube Delta). *Extended abstract … Cand. thesis. (Tech. Sci.): special. 06.01.02 "Lendreclamation and irrigated agriculture".*Rivne. [in Russian]

Mendus', S.P., Mendus', P.I., Rokochynskyi, A.M. (2007). Assessment of the reclamation camp and the effectiveness of rice systems. *Hydroreclamation and hydrotechnical building: Collect. sciences works,* 32, 38–49. [in Ukrainian]

Rokochynskyi, A.M., Turchenyuk, V.O., Zayec', V.V., Prikhodko, N.V. (2014). Increasing the efficiency offunctioning of the Danube rice irrigation systems. *Bulletin of agrarian science,* 4 (734), 53–57. [in Ukrainian]

Stashuk, V.A., Rokochynskyi, A.M., Granovskaya, L.M. et al. (2014). Rice in Ukraine. Kherson: Grin D.S. [in Ukrainian]

Stashuk, B.A., Rokochynsky, A.M., Mendus', П.І., Turchenyuk, B.O. et al. (2014). Ricein the Danube basin. Kherson:Grin D.S. [in Ukrainian]

Turchenyuk, V., Frolenkova, N., Rokochynskyi,A. (2017). Environmental and economic foundations of system optimization of operational, technological and construction parameters of rice irrigation systems. Environmental Economics, 8 (2), 76–82.Retrieved from https://businessperspectives.org/journals/environmental-economics/issue-248.doi:10.21511/ee.08(2).2017.08.

Water-wise rice production (2002). Edited by B.A.M. Buman, H. Hengsdijk, B. Hardy, P.S. Bindraban, T.P. Tuong and J.K. Landa. Proceeding of the Intern. Work-shop (8–11 apr. 2002) IRRI, 356.

Надійшла до редколегії 14.05.20

A. Rokochinskiy, Dr. Sci. (Tech.), Prof.,
E-mail: a.m.rokochinskiy@nuwm.edu.ua;
V. Turchenyuk, Dr. Sci. (Tech.), Assoc. Prof.,
E-mail: fwg@ukr.net;
P. Volk, Cand. Sci. (Tech.), Assoc. Prof.,
E-mail: p.p.volk@nuwm.edu.ua;
N. Prikhodko, Cand. Sci. (Tech.), Senior Lecturer,
E-mail: n.v.prihodko@nuwm.edu.ua;
N. Frolenkova, Cand. Sci. (Econ.), Assoc. Prof.,
E-mail: n.a.frolenkova@nuwm.edu.ua;
National University of Water and Environmental Engineering,
11 Soborna Str., Rivne, 33000, Ukraine;
O. Shevchenko, Dr. Sci. (Geol.), Prof.,
E-mail: shevch62@gmail.com;
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology,
90 Vasylkivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine

FORMATION OF HYDROGEOLOGICAL-RECLAMATION SITUATION ON THE RICE IRRIGATION SYSTEMS OF THE DANUBE RIVER AND WAYS OF INCREASING THEIR ECONOMIC EFFICIENCY TAKING INTO ACCOUNT WEATHER AND CLIMATE RISKS

The analysis of the main reasons for the unsatisfactory hydrogeological-reclamation state of the Danubian rice irrigation systems was carried out and the ways of its improvement due to the increase of drainage ability of irrigated lands of rice systems were considered. On the saline lands of the rice systems of the Danube delta drainage network is the main means of active and directed influence on the water-salt regime of the reclaimed area, formation of the regime of groundwater level, both in the growing season and in the not irrigated period for rice and attendant crops. Drainage network is essentially a determining factor in the formation of productivity of agricultural lands. An analysis of the efficiency of the drainage operation on the rice systems of the Danube Delta has shown that drainage built in accordance with the design standards that were in force at the time of construction does not provide uniform drainage ability in the area and the soil profile of rice fields. This is one of the main reasons for their unsatisfactory hydrogeological-reclamation state and reducing the yield of rice and attendant crops. By conducting optimization calculations according to the expense indicator, taking into account that optimal vertical filtration rate for the Danubian rice irrigation systems is at the level of 6...8 mm/day the optimal distance between the drains – 100 m was determined. Constructive improvement of existing rice systems with the drainage network in the form of open drains and distances between them – 250...500 m can be accomplished through the installation of additional separate closed drain-collectors. These drain-collectors are appropriate to arrange along the checks, with the set distance. For reducing the value of the vertical filtration rate in the drainage zone where it reaches 25 mm/day it is advisable to practice maintaining of water levels in the drainage network. Consequently, it is possible to achieve a reduction of the filtration rate to 4…5 mm/day. Developed measures and corresponding reconstruction of rice systems will enable to maintenance of satisfactory hydrological and hydrogeological regimes,ensure uniform salinity of soils during the cultivation of flooded rice, create favorable conditions for oxidation-reducing processes and maintenance of favorable ecological-reclamation state on the system.

Keywords: hydrogeological-reclamation state, rice irrigation system, filtration rate, drainage network, optimization.

А. Рокочинский, д-р техн. наук, проф.,
E-mail: a.m.rokochinskiy@nuwm.edu.ua;
В. Турченюк, д-р техн. наук, доц.,
E-mail: fwg@ukr.net;
П. Волк, канд. техн. наук, доц.
E-mail: p.p.volk@nuwm.edu.ua;
Н. Приходько, канд. техн. наук, ст. препод.,
E-mail: n.v.prihodko@nuwm.edu.ua;
Н. Фроленкова, канд. экон. наук, доц.,
E-mail: n.a.frolenkova@nuwm.edu.ua;
Национальный университет водного хозяйства и природопользования,
ул. Соборная, 11, г. Ровно, 33000, Украина;
А. Шевченко, д-р геол. наук, проф.,
E-mail: shevch62@gmail.com;
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко,
УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина

ФОРМИРОВАНИЕ ГИДРОГЕОЛОГО-МЕЛИОРАТИВНОЙ ОБСТАНОВКИ НА РИСОВЫХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ПРИДУНАВЬЯ И ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ИХ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ С УЧЕТОМ ПОГОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ РИСКОВ

Проведен анализ основных причин неудовлетворительного гидрогеолого-мелиоративного состояния рисовых оросительных систем Придунавья и рассмотрены пути его улучшения путем повышения дренированности орошаемых земель рисовых систем. На засоленных землях рисовых систем дельты Дуная дренажно-сбросная сеть является главным средством активного и целенаправленного воздействия на водно-солевой режим мелиорированной территории, формирования режима уровня грунтовых вод, как в вегетационный, так и в межполивной период для риса и сопутствующих культур, и является по сути определяющим фактором продуктивности сельскохозяйственных угодий. Анализ эффективности работы дренажа на рисовых системах дельты Дуная показал, что дренаж, построенный в соответствии с действующими на время строительства нормами проектирования, не обеспечивает равномерную дренированность по площади и почвенному профилю рисовых полей и является одной из главных причин их неудовлетворительного гидрогеолого-мелиоративного состояния, снижения урожайности риса и сопутствующих культур. Путем проведения оптимизационных расчетов по показателю приведенных затрат, при условии обеспечения при этом оптимальной скорости вертикальной фильтрации на уровне 6...8 мм/сутки для рисовых систем Придунавья установлено оптимальное расстояние между дренами – 100 м. Для существующих рисовых систем с дренажно-сбросной сетью карт-чеков в виде открытых картовых дрен с междренными расстояниями 250...500 м ее конструктивное усовершенствование возможно путем дооснащения одиночными закрытыми дренами-коллекторами, которые целесообразно устраивать вдоль карт-чеков с соблюдением расчетного расстояния. Для уменьшения величины скорости вертикальной фильтрации в придренных зонах, где она достигает 25 мм/сутки, целесообразно практиковать создание подпоров уровней воды в дренажно-сбросной сети. Создание подпоров уровней воды в дренажных каналах уменьшает скорость фильтрации в придренных зонах карт-чеков практически на порядок – до 4...5 мм/сутки.Разработанные мероприятия и соответствующая реконструкция рисовых систем позволяет обеспечить поддержание удовлетворительного гидрологического и гидрогеологического режимов, обеспечить равномерное рассоление почв по всей площади при выращивании культуры затопляемого риса, создать благоприятные условия для протекания окислительно-восстановительных процессов, поддержания благоприятного эколого-мелиоративного состояния системы в целом.

Ключевые слова: гидрогеолого-мелиоративное состояние, рисовая оросительная система, скорость фильтрации, дренажно-сбросная сеть, оптимизация.