

Юрченко А. І.

Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем»
(вул. Бакуліна, 6, Харків, 61166, Україна; e-mail: directorniiep@gmail.com)

ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАБРУДНЕННЯ ГЕРБІЦИДАМИ ЗВОРОТНИХ ВОД РИСОВИХ ЗРОШУВАЛЬНИХ СИСТЕМ

На основі експериментальних досліджень поведінки гербіцидів в умовах рисової зрошувальної системи встановлені основні фактори, які впливають на міграцію токсикантів до колекторно-дренажної мережі. Запропонована методика оцінки виносу гербіцидів зі зворотними водами рисових систем до водоприймачів.

Ключові слова: рисова зрошувальна система, гербіциди, міграція, оцінка виносу гербіцидів.

Аналіз проблеми. Розробка та впровадження водоохоронних заходів на рисових зрошувальних системах неможливо без прогнозів можливих наслідків застосування хімічних засобів захисту рослин. Таке прогнозування може відбутися лише за наявності розрахункового методу оцінки виносу хімічних засобів з рисових полів до колекторно-дренажної мережі і далі до водних об'єктів. Необхідність створення розрахункового методу, який дозволить за наявності доступної інформації обчислити рівень та час збереження пестицидів в елементах рисових зрошувальних систем, не викликає сумніву, однак для розробки методу оцінки виносу пестицидів необхідно мати всебічні глибокі дослідження щодо вивчення поведінки хімічних препаратів в умовах природного ландшафту.

Метою даної роботи є спроба встановити закономірності поведінки деяких пестицидів в умовах рисової зрошувальної системи, використовуючи наявну неповну інформацію отриману нами та іншими авторами, та створити доступну для практичного використання методику оцінки виносу пестицидів до водних об'єктів.

Наявні у вітчизняній та зарубіжній літературі дані щодо міграції, періоду збереження та виносу пестицидів, які застосовуються на рисових зрошувальних системах, колекторно-дренажними водами дуже обмежені та вкрай суперечні. Як правило, в літературі констатуються факти наявності пестицидів в пробах води, які відбирали епізодично, без врахування особливостей водного режиму, строків обробки рисових полів пестицидами і інших факторів, які

впливають на швидкість перетворення і міграцію пестицидів в елементах зрошувальної системи. Наявність протиріч в результатах, отриманих різними авторами, очевидно, можна пояснити різною інтенсивністю біологічних процесів в конкретних умовах, оскільки встановлено, що в процесах розкладу пестицидів, які застосовуються на рисових зрошувальних системах, суттєву роль відіграє біологічний фактор. А біологічні процеси відрізняються тим, що ні один з них не є точною копією іншого. Співпадаючи у головному, вони відрізняються в деталях, а тому закономірність, яку ми хочемо встановити, ніколи не виявляється в чистому вигляді.

В літературних джерелах щодо міграції пестицидів та оцінки їх виносу в колекторно-дренажну мережу і водні об'єкти [1–3] зазвичай відсутні фіксовані значення факторів, які впливають на швидкість перетворення токсикантів та їх переміщення, в зв'язку з чим такі дані неможливо використати для аналізу співвстановлення і встановлення закономірностей виносу. В зв'язку з чим, були проведені власні модельні експерименти та польові дослідження з фіксацією відповідних факторів та умов [4].

Водний баланс і режим зрошення затопленого рису характеризується створенням та підтриманням шару затоплення певної глибини на протязі всього зрошувального періоду або значної його частини [5].

Міграція пестицидів за межі рисових чеків в картові скидні канали визначається витратними статтями водного балансу: фільтрацією, поверхневим скидом і проточністю. Крім того, на формування якісного

складу води шару затоплення впливають випаровування і транспірація. Найбільш мінлива величина фільтрації, яка обумовлена місцевими гідрогеологічними умовами, густиною і технічними характеристиками водовідвідної мережі, а також технічним рівнем рисових зрошувальних систем, які експлуатуються.

З моменту надходження на поверхню ґрунту або в його поверхневий шар на пестицид впливає цілий ряд фізичних, хімічних та біологічних факторів, які визначають швидкість його перетворення і міграцію в елементах рисових зрошувальних систем. Величина виносу пестицидів в колекторно-дренажну мережу визначається перш за все поведінкою токсикантів в системі ґрунт – вода на рисовому чеці. Для встановлення закономірностей поведінки хімічних препаратів слід визначити характер їх взаємодії з водою та ґрунтами, динаміку взаємовпливу і фактори, які її обумовлюють.

Аналіз літературних даних щодо факторів, які впливають на поведінку пестицидів в навколишньому середовищі, та результатів власних експериментальних досліджень поведінки деяких пестицидів на рисових зрошувальних системах дозволив виділити основні групи факторів, які визначають врешті величину виносу застосованих препаратів в колекторно-дренажну мережу і далі до водних об'єктів (рис. 1): ґрунтово-кліматичні умови, фізико-хімічні властивості пестицидів, водний режим рисового поля та умови застосування токсикантів.

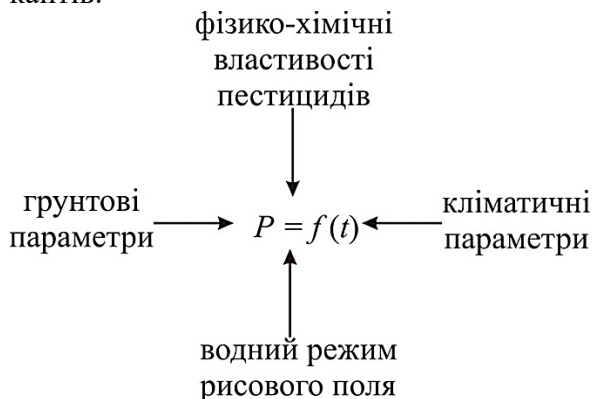


Рис. 1. Схема залежності виносу пестицидів з рисових систем від основних факторів

Схема поведінки пестицидів на рисовому чеці наведена на рис. 2.

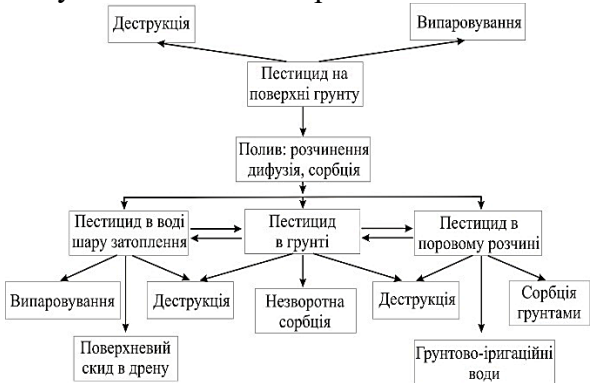


Рис. 2. Схема поведінки пестициду на рисовому чеці при поверхневому внесенні засобів захисту рослин

Пестицид, який внесений на поверхню ґрунту у вигляді суспензії чи емульсії, в період затоплення поля частково трансформується за рахунок процесів фотолізу та випаровування. Ступінь зменшення кількості препарату буде залежати від тривалості часу його перебування на поверхні ґрунту з моменту обробки до проведення першого поливу, вологості ґрунту, леткості конкретного препарату. Після поливу або випадіння осадів починається перерозподіл пестициду між твердою фазою ґрунту і водою за рахунок процесів дифузії (на відстані, які вимірюються міліметрами) і переносу речовини гравітаційною та капілярною водою за одночасного протікання процесів сорбції–деструкції. Рух води при цьому відбувається крупними порами, тріщинами, обходячи гомогенну частину ґрунту. Заповнення порового простору ґрунту в зоні аерації впродовж незначного проміжку часу, який залежить від водно-фізичних властивостей конкретного ґрунту. Після цього починається повільна фільтрація. Потужність шару заповнення водою ґрунту визначається рівнем ґрунтових вод до моменту поливу рисового поля після обробки пестицидом та наявністю ущільненого слабкопроникненого горизонту.

В верхній частині профілю таких ґрунтів на глибині 20–25 см від поверхні в природних умовах є ущільнений оглеєний горизонт з дуже малою проникністю.

Відразу ж після початку поливу розчинність пестициду відіграє вирішальну

роль в його міграції. Враховуючи розчинність пестицидів, які застосовуються в рисосіянні, можна прогнозувати, що в тому об'ємі води, який подається на полив, розчиняється практично весь пестицид, що знаходиться на поверхні ґрунту. Кількість препарату, який перейшов у воду шару затоплення і воду, яка заповнює поровий простір, може різнитись в залежності від ряду умов. Одночасно з розчиненням пестициду і міграцією його з водою проходять процеси сорбції–десорбції. Після встановлення сорбційної рівноваги в системі ґрунт – вода рівноважна концентрація пестициду в рідкій фазі системи буде приблизно однакова як у шарі затоплення, так і в ґрунтовому розчині. Про це свідчать результати наших польових експериментів щодо визначення вносу пестицидів на лучно-чорноземних ґрунтах рисової системи.

Аналіз основних факторів, які впливають на міграцію гербіцидів в елементах рисових зрошувальних систем і встановлення взаємозв'язку між ними, дозволило розробити методику оцінки вносу гербіцидів з рисових чеків у колекторно-дренажну мережу.

Вихідна концентрація гербіциду у воді шару затоплення (C_0^n), яка встановлюється при першому після обробки рисового чеку засобами захисту поливі, визначається дозою внесеного препарату, часом, що пройшов від моменту обробки до затоплення, кількістю води, витраченою на створення шару затоплення. Ця частка залежить від способу внесення гербіциду, від водно-фізичних властивостей ґрунтів: чим вище водопроникність, тим менша частина гербіциду потрапляє в шар затоплення:

$$C_0^n = 0,1\alpha \frac{N}{h_0} e^{-\kappa\tau},$$

де N – норма внесення гербіциду за діючою речовиною, кг/га; h_0 – шар затоплення, м; κ – коефіцієнт, який характеризує швидкість перетворення гербіциду в ґрунті, доба⁻¹ (визначається експериментально).

Експериментальні дані щодо зникнення (перетворення) гербіцидів, які застосовуються у рисівництві, в основних типах ґрунтів різних рисосіючих регіонів, наведені в табл. 1, τ – час з моменту обробки

ґрунту гербіцидом до затоплення чеку, доба; α – частка препарату, який перейшов у шар затоплення, безрозмірна величина, яка визначається експериментально. Для практичних розрахунків можна використати встановлені експериментально дані: для супісків – 0,025, легких суглинків – 0,05, середніх суглинків – 0,03, важких суглинків – 0,13.

Таблиця 1 – Коефіцієнти перетворення (зникнення) гербіцидів у воді шару затоплення в ґрунті рисових чеків різних районів рисосіяння, доба⁻¹

Район рисосіяння	Пропанід ^{x/}	Ордрам	Сатурн
Вода шару затоплення рисових чеків			
Краснодарський край	0,260	0,130	0,159
Нижнє Поволжжя	0,225	0,134	0,157
Херсонська область	0,252	0,144	0,164
Казахстан	0,529	0,222	0,168
Приморський край	0,446	0,155	0,173
Ґрунт рисових чеків			
Краснодарський край	0,160	0,064	0,040
Нижнє Поволжжя	0,162	0,064	0,036
Херсонська область	0,163	0,060	0,040
Казахстан	0,150	0,061	0,038
Приморський край	0,174	0,062	0,035

^{x/} – коефіцієнти, які враховують сумарне перетворення пропаніду і 3,4-діхлораніліну.

При обробці гербіцидом затопленого чеку вся кількість препарату розподіляється у воді шару затоплення:

$$C_0^n = 0,1 \frac{N}{h_0}$$

На практиці бувають випадки, що займають проміжне положення.

На концентрацію гербіциду в ґрунтово-іригаційних водах, крім гідродинаміки потоку, впливають початковий розподіл гербіциду в товщі ґрунту, концентрація гербіциду в шарі затоплення, процеси деструкції та сорбції.

$$C_p^{rp} = 0,1(1 - \alpha) \frac{N \cdot e^{-\kappa t}}{h_1 \Pi(1 + r)},$$

де h_1 – потужність зони аерації; Π – пористість ґрунтів зони аерації, частки одиниці; r – константа рівняння Фрейндліха (визначається експериментально).

Дані щодо сорбції гербіцидів, отримані експериментально основними типами ґрунтів рисосючих регіонів наведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Константи рівняння Фрейндліха

Ґрунт (район рисосіяння)	Гербіцид			
	Орд-рам	Са-турн	Пропанід	3,4-дихлоранілін
Піщаний	0,05		0,17	0,10
Супіщаний	0,07		0,68	0,60
Легко глинистий	4,31		9,32	7,61
Лучно-чорноземоподібний важко суглинковий (Краснодарський край)	5,27	29,8	11,30	8,53
Лучно-каштановий середньо суглинковий (Херсонська область)	4,34	21,4	10,10	8,22
Світло-каштановий солонцюватий глинистий (Калмикія)	1,93	12,9	4,53	3,09
Лучно-болотний важко суглинковий (Кзилординська область)	1,50	9,89	3,57	1,95
Луговий глейовий і глинистий (Приморський край)	8,96	101,20	81,50	95,0

Для випадку попередньо підтопленого чеку $C_p^{\phi} = 0$.

Концентрацію гербіциду у воді шару затоплення в довільний момент часу ($C^n(t)$) розраховують за формулою:

$$C^n(t) = C_0^n \cdot e^{-\Sigma\left(\frac{Q_n+Q_{\phi}}{W}+\kappa_n\right)t},$$

де t – час від моменту затоплення обробленого гербіцидом чеку, доб.; κ_n – коефіцієнт швидкості перетворення гербіциду у воді шару затоплення, доба⁻¹ (визначається експериментально). Відомості про коефіцієнти неконсервативності гербіцидів, отримані експериментально в умовах різних регіонів рисосіяння, наведені в табл.1; Q_n, Q_{ϕ} – витрати води на поверхневі скиди і фільтрацію, м³/добу; W – об'єм води шару затоплення, м³.

Концентрація гербіциду в дренажних водах в будь-який момент часу визначається за двома залежностями: у початковий період фільтрації в дренаж буде надходити вода з концентрацією гербіциду, що сформувалася при затопленні зони аерації (з поправкою на розкладання і сорбцію), потім (через час t_i – час руху води за i -тою стрічкою потоку) починає позначатися концентрація гербіциду у воді шару затоплення:

$$C_i^{dp} = \begin{cases} C_p^{rp} \cdot e^{-\kappa_{rp}t} & \text{при } t \leq t_i \\ C_{t-t_i}^n \cdot e^{-\kappa_{rp}t} & \text{при } t > t_i \end{cases}$$

Для визначення t_i спочатку визначається ширина активної зони фільтрації (B).

В якості розрахункової схеми міграції гербіцидів з чеків до картового скидного каналу приймається, що через деякий час після створення шару затоплення на поверхні чеку відбувається змикання зрошувальної води з ґрунтово-іригаційними.

Дренуючий вплив скидних каналів навіть при незначній їх глибині, розповсюджується на невелику частину ширини рисового чеку, так звану «активну зону», в якій відбувається основний рух ґрунтово-іригаційних вод до дрени. Під рештою частиною рисового чеку утворюється практично застійна зона [6–10], ґрунтові води якої не беруть участі в формуванні дренажного стоку. Ширина активної зони фільтрації залежить тільки від форми ліній потоку і орієнтовно може бути визначена за наступною залежністю [6]:

$$B = h(1,5 + 0,3H) + 0,64H,$$

де H – глибина залягання місцевого водотриву, м; h – глибина дрени, м.

Далі визначається довжина шляху фільтрації для кожного фрагменту:

$$y_1^2 = h^2 + \left(x_0 + \frac{B}{14}\right)^2,$$

$$y_2^2 = h^2 + \left(x_0 + \frac{2B}{7}\right)^2,$$

$$y_3^2 = h^2 + \left(x_0 + \frac{5B}{7}\right)^2.$$

Час перебування води в будь-якій стрічці потоку складатиме:

$$t_i = \frac{\mu}{K_\phi} \cdot \frac{y_i^2}{h}$$

де μ – нестача водонасичення; y_i^2 – середня довжина шляху фільтрації за i -тою стрічкою потоку, м; K_ϕ – коефіцієнт фільтрації, м/добу.

Формування зворотних вод зрошення рису відбувається в межах рисової карти, яка розділена на чеки. Рисові чеки – це первинний елемент рисової зрошувальної системи. При цьому, вода з поверхні чеку і дренажний стік надходять до постійних картових скидних каналів, які розташовані вздовж кожної карти.

На формування якості води картових скидних каналів впливає цілий ряд факторів. На рис. 3 наведена функціональна модель міграції гербіцидів з рисових чеків до картових скидних каналів, яка наочно ілюструє взаємозв'язок факторів і процесів, які впливають на формування якості зворотних вод рисових систем. Стрілочкою на схемі показано напрямок впливу: знаком «+» – пряма залежність, знаком «-» – зворотна залежність.

Концентрація гербіциду у картовому скидному каналі визначається змішуванням вод поверхневих скидів з дренажними водами. При цьому потік дренажних вод через нерівномірності фільтрації і, отже, нерівномірного розподілу гербіциду, умовно розбивається на фрагменти (стрічки потоку), кожен з яких характеризується своєю середньою концентрацією і витратою води:

$$C(t) = \frac{C^n(t) \cdot Q^n(t) + \sum_{i=1}^n C_i^{dp}(t) \cdot Q_i^\phi}{Q^n + Q^\phi},$$

де $C^n(t)$ – концентрація гербіциду у воду шару затоплення на рисовому чеці в розрахунковий момент часу, мг/дм³; $Q^n(t)$ – гідромодуль поверхневих скидів, м³/га/добу; Q_i^ϕ – гідромодуль дренажного стоку, м³/га/добу; $C_i^{dp}(t)$ – концентрація гербіциду в дренажній воді, яка надходить за i -тою стрічкою потоку в розрахунковий момент часу, мг/дм³; t – час, який відраховується від моменту подачі зрошувальної води до чеку, доба.

При розрахунку концентрації гербіцидів в воді скидних колекторів (внутрішньогосподарських, міжгосподарських та магістральних) слід враховувати процеси самоочищення, розведення за рахунок надходження скидних дренажних вод з необроблених гербіцидами ділянок, а також додаткове надходження гербіцидів з інших ділянок системи.

Розрахунок концентрації гербіцидів в воді водоприймача колекторно-дренажних вод рисової зрошувальної системи (як правило заток Чорного моря) проводиться за загальновідомими розрахунковими методами [11–15].

Висновки. Колекторні води рисових систем формуються за рахунок технологічних скидів води шару затоплення чеків, режиму проточності, фільтрації поливної води із чеків та зрошувальних каналів, а також за рахунок відтоку ґрунтових вод до дренажної мережі (боковий фільтраційний відтік).

Можливість надходження гербіцидів, які застосовуються на рисових зрошувальних системах, до колекторно-дренажної мережі (крім прямого надходження при авіаобробці) відбувається з поверхневими скидами при пониженні шару затоплення рисового чеку пов'язаного з технологічними особливостями вирощування рису. Крім того, гербіциди надходять у водовідвідну мережу та ґрунтові води з фільтраційними водами.

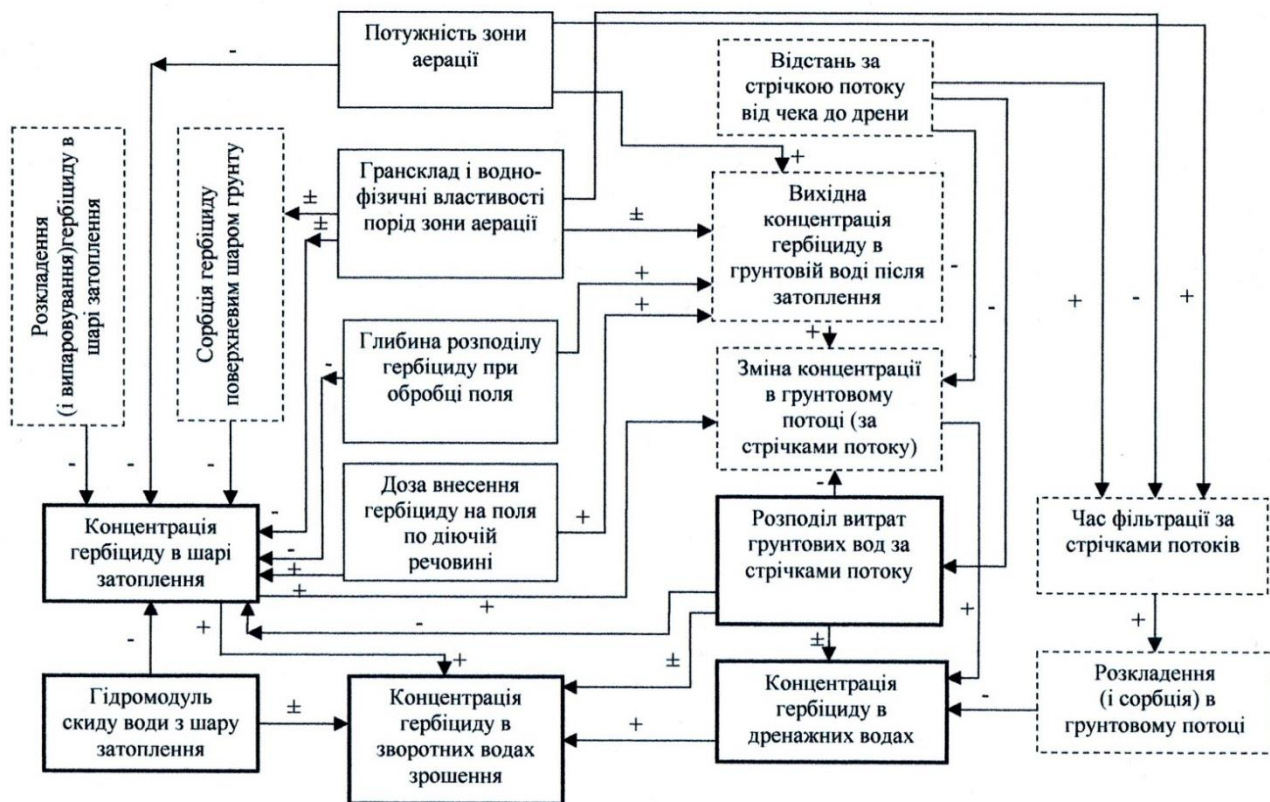


Рис. 3. Функціональна модель міграції гербіцидів з рисових чеків до картових скидних каналів

Вивчення поведінки гербіцидів в умовах рисової зрошувальної системи та модельних польових експериментів дозволило виявити основні фактори, які впливають на величину виносу токсикантів в колекторно-дренажну мережу і поведінку їх у воді останньої. Встановлення цих факторів дозволило розробити методику оцінки виносу гербіцидів до колекторно-дренажної мережі і далі до водних об'єктів.

Застосування запропонованої методики виносу гербіцидів дозволить намітити основні шляхи зменшення виносу гербіцидів за межі рисової зрошувальної системи та запобігти забрудненню водних об'єктів, водоприймачів колекторно-дренажних вод.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Хільчевський В. К. Сполуки азоту і пестициди в природних водах України. – Меліорація і водне господарство. 1993. Вип. 79. С. 31–34.
2. Воронкін А. С., Юрченко А. І. Забруднення заток Чорного моря скидами зворотних вод зрошувальних систем Херсонської області // VII Міжнар. наук.-практ. конф. «Сучасні інформаційні технології

управління екологічною безпекою природокористуванням, заходи в надзвичайних ситуаціях (1–5 вересня 2008 р.)»: 36. наук. праць. К. – Харків – АР Крим, 2008. С. 31–34.

3. Дудченко В. В. Екологічна безпека при вирощуванні рису // Міжнар. наук.-практ. конф. «Підвищення ефективності ведення галузі рисівництва в ринкових умовах»: Інститут рису УААН, Скадовськ, 2006. – С. 4–6.
4. Технологія вирощування рису з врахуванням вимог охорони навколишнього середовища в господарствах України // Дудченко В. В., Лісовий М. М., Вожегова Р. А. та ін. – Скадовськ, 2011 – 84 с.
5. Юрченко А. І. Пути предотвращения загрязнения пестицидами водных объектов в районах рисосеяния // Пути решения проблем при выращивании риса в агроэкосистемах умеренного климата: материалы междунар. науч.-практ. конф. 4–8 августа 2008 г., г. Скадовск: Институт риса УААН, 2008, с. 80–84.
6. Зайцев В. Б. Рисовая оросительная система: [текст]: [монография] / В. Б. Зайцев. – М. Колос. – 1975. – 360 с.

7. Підвищення ефективності рисових зрошувальних систем України: [текст]:[науково-методичні рекомендації] // В. В. Дудченко, Л. М. Грановська, А. М. Рокочинський, С. П. Мендус та ін. – Херсон – Рівне. – 2011. – 104 с.
8. Рис в Україні: [текст]:[колективна монографія]/ за ред. д. т. н., професора, член-кор. НААНУ В. А. Сташука, д. т. н., професора А. М. Рокочинського, д. е. н., професора Л. М. Грановської. – Херсон: Грінь Д. С., 2014 – 976 с.
9. Проходько Н. В. Обґрунтування підходів до оцінювання рівня проточності зрошувальних систем // Н. В. Приходько // Перспективні напрямки розвитку водного господарства, будівництва та землекористування: збірник матеріалів міжнародного науково-практичного конференції (19–20 травня 2016 р.) – Херсон, 2016. – С. 187–190.
10. Рис Придунав'я: [текст]: [колективна монографія]/за ред. д.т.н., професора, член-кор. НААНУ В. А. Сташука, професора А. М. Рокочинського, к.т.н., доц. П. І. Мендуля, к.т.н., доц. В. О. Турчинюка, – К. – Рівне, 2016. – 620 с.
11. Інструкція про порядок розробки та затвердження гранично допустимих скидів (ГДС) речовин у водні об'єкти із зворотними водами. Харків, Мінприроди України, 1994. – 79 с.
12. Проскурнин О.А. Нормирование поступления взаимно трансформирующихся веществ в водный объект со сточными водами // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА ХОТВ АБУ. – 2008. – № 46. – С. 189–195.
13. Проскурнин О.А. Расчет концентрации вещества в контрольной точке водного объекта в зоне действия сбросов сточных вод/ О.А. Проскурнин, И.В. Кирпичева, А.В. Кононенко, Н.В. Третьякова // Науковий вісник будівництва. – Харків: ПФ «Михайлов», 2017. – т. 87. – № 1. – С.151–159.
14. Проскурнин О.А. Расчет допустимых сбросов возвратных вод в водные объекты с использованием балльной системы нормирования качества поверхностных вод / О.А. Проскурнин, А.И. Юрченко, Е.С. Березенко // Науковий вісник будівництва. – Харків: ПФ «Михайлов», 2017. – т. 88. – № 2 – С.239–243.
15. Кресин В. С. Алгоритм оценки влияния точечных источников загрязнения на морскую среду на участках шельфа Черного моря / В. С. Кресин, В. В. Брук, А. И. Юрченко // Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення: матеріали XIII міжн. наук.-практ. конф, 11–15 вересня 2017 р., м. Харків, УКРНДЦЕП – Х.: Райдер, 2017. – С. 432–437.

Юрченко А. И. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГЕРБИЦИДАМИ ВОЗВРАТНЫХ ВОД РИСОВЫХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ. На основе экспериментальных исследований поведения гербицидов в условиях рисовой оросительной системы установлены основные факторы, влияющие на миграцию токсикантов в коллекторно-дренажной сети. Предложена методика оценки выноса гербицидов с возвратными водами рисовых систем в водоприемники.

Ключевые слова: рисовая оросительная система, гербициды, миграция, оценка выноса гербицидов.

Urchenko A. PREDICTION OF POLLUTION RETURN WATER RICE IRRIGATION SYSTEMS BY HERBICIDES. On the basis of experimental studies of the behavior of herbicides in conditions of rice irrigation systems were installed the main factors that affect the migration of toxicants in the drainage network. The method of assessing the removal of herbicides with the return water of rice systems into receiving waters has proposed.

Keywords: rice irrigation, herbicides, migration, evaluation of the removal of herbicides