



НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ
АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ

ІНСТИТУТ ВОДНИХ ПРОБЛЕМ
І МЕЛІОРАЦІЇ

ISSN 2616-5562 (Online)

ISSN 2616-5643 (Print)

МЕЛІОРАЦІЯ І ВОДНЕ ГОСПОДАРСТВО

ЖУРНАЛ

№ 1
2021

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ

ІНСТИТУТ ВОДНИХ ПРОБЛЕМ І МЕЛІОРАЦІЇ

ISSN 2616-5562 (Online)

ISSN 2616-5643 (Print)

МЕЛІОРАЦІЯ І ВОДНЕ ГОСПОДАРСТВО

№ 1 • 2021

журнал

(випуск 113)

Київ
2021

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202101>

Засновник – Інститут водних проблем і меліорації Національної академії аграрних наук України. Свідоцтво про державну реєстрацію – серія КВ № 24001-13841Р.

Журнал включено до «Переліку наукових фахових видань України» (категорія «Б») у галузі сільськогосподарських (спеціальність 201 – Агрономія) та технічних наук (спеціальність 192 – Будівництво та цивільна інженерія) на підставі наказу Міністерства освіти і науки України від 17.03.2020 р. № 409.

У журналі відображено результати теоретичних та експериментальних досліджень із пріоритетних напрямів: агроресурси, водні ресурси, зрошення, осушення, гідрологія, екологія, гідротехніка, агроінженерія тощо. Журнал розрахований та буде корисним для науковців, фахівців водного та сільського господарства. Два видання журналу за рік публікують оригінальні наукові статті, а також огляди, пов'язані з профілем журналу.

Журнал включено до міжнародних та національних інформаційних та наукометричних баз, репозитаріїв і пошукових систем:

*The International System
for Agricultural Science
and Technology (FAO)*



*Research Bib Journal
Database (Японія)*



*BASE – Bielefeld
Academic Search
Engine (Німеччина)*



*CrossRef
(США)*



DOAJ

*(Directory of Open
Access Journals)*

РИНЦ (Російська Федерація)

РОССИЙСКИЙ ИНДЕКС
НАУЧНОГО ЦИТИРОВАНИЯ

Science Index



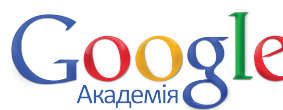
*Open Ukrainian Citation
Index (OUCI) (Україна)*



*Scientific Indexing
Services (США)*



*Google Scholar
(США)*



*CIARD RING
(Італія)*



Пристатейний список літератури продубльовано відповідно до вимог міжнародних систем транслітерації (зокрема наукометричної бази SCOPUS)

Рекомендовано до друку вченою радою Інституту водних проблем і меліорації НААН 25 березня 2021 року (протокол № 5).

Адреса редакції:

Інститут водних проблем і меліорації НААН
вул. Васильківська, 37, Київ, 03022
Тел. (044) 257-40-30, 067 791 67 11
<http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg>

ISSN 2616-5562 (Online)
ISSN 2616-5643 (Print)

© Інститут водних проблем і меліорації НААН, 2021

JOURNAL
“LAND RECLAMATION AND WATER MANAGEMENT”

№ 1 • 2021

«МЕЛІОРАЦІЯ І ВОДНЕ ГОСПОДАРСТВО»

EDITORIAL BOARD:

M. ROMASHCHENKO, Doctor of Engineering Sciences, Prof, Academician of NAAS. (*Editor-in-Chief*)

T. TROSHYNA, N. LOGUNOVA, K. SHATKOVSKA, O. VOITOVYCH (*Executive Editors*)

TECHNICAL SCIENCES
(192 – *Construction and civil engineering*):

B. FAYBISHENKO,
Doctor of Engineering Sciences, Prof. (USA)

V. ADAMCHUK,
*Doctor of Engineering Sciences, Prof.,
Academician of NAAS of Ukraine*

V. BULGAKOV,
*Doctor of Engineering Sciences, Prof.
Academician of NAAS of Ukraine*

A. ROKOCHYNSKIY,
Doctor of Engineering Sciences, Prof.

D. CHARNYI,
Doctor of Engineering Sciences.

V. KOVALCHUK,
Doctor of Engineering Sciences.

V. BOHAIENKO,
Ph.D. in Engineering Sciences

P. KOVALCHUK,
Doctor of Engineering Sciences, Prof.

P. KOVALENKO,
*Doctor of Engineering Sciences, Prof.,
Academician of NAAS, RAS (Russia)
and IAA Georgofili (Italy)*

V. KRAVCHUK,
*Doctor of Engineering Sc.s, Prof.,
Academician of NAAS of Ukraine*

Y. MYKHAILOV,
Doctor of Engineering Sciences

V. POPOV,
Doctor of Engineering Sciences

P. KHORUZHYI,
Doctor of Engineering Sciences, Prof.

V. VYSHNEVSKYI,
Doctor of Science in Geography, Prof.

M. YATSIUK,
Ph.D. in Geography

O. MUZYKA,
Ph.D. in Engineering Sciences

S. SHEVCHUK,
Ph.D. in Engineering Sciences

AGRICULTURAL SCIENCES
(201 – *Agronomy*):

B. SCHULTZ,
Dr. habil., Prof. (The Netherlands)

R. ISLAM,
Ph. D. (USA)

V. USHKARENKO,
*Doctor of Agricultural Sciences, Prof.,
Academician of NAAS of Ukraine*

O. TARARIKO,
*Doctor of Agricultural Sciences, Prof.,
Academician of NAAS of Ukraine*

S. BALIUK,
*Doctor of Agricultural Sciences, Prof.,
Academician of NAAS of Ukraine*

V. PICHURA,
Doctor of Agricultural Sciences, Prof.

V. MOSHYNSKYI,
Doctor of Agricultural Sciences, Prof.

O. TONKHA,
Doctor of Agricultural Sciences, Prof.

A. LIKHATSEVYCH,
*Doctor of Engineering Sciences, Prof.,
Corresponding member of NAS,
Academician of RAS (Belarus)*

A. SHATKOVSKYI,
*Doctor of Agricultural Sciences,
Corresponding Member of NAAS of Ukraine*

V. VERGUNOV,
*Doctor of Agricultural Sciences,
Prof., Academician of NAAS of Ukraine*

Y. TARARIKO,
*Doctor of Agricultural Sciences, Prof.,
Academician of NAAS of Ukraine*

I. SLIUSAR,
*Doctor of Agricultural Sciences, Prof.,
Corresponding Member of NAAS of Ukraine*

O. ZHOVTONOG,
Doctor of Agricultural Sciences, Prof.

V. VASIUTA,
Doctor of Agricultural Sciences

M. MALYARCHUK,
Doctor of Agricultural Sciences

KYIV • 2021

“LAND RECLAMATION AND WATER MANAGEMENT”

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

М.І. РОМАШЕНКО, д.т.н., проф., акад. НААН (*головний редактор*)

Т.І. ТРОШИНА, Н.В. ЛОГУНОВА, К.Б. ШАТКОВСЬКА, О.П. ВОЙТОВИЧ (*виконавчі редактори*)

ТЕХНІЧНІ НАУКИ

(192 – *Будівництво та цивільна інженерія*):

Б.О. ФАЙБИШЕНКО,
д. т. н., професор (США)

В.В. АДАМЧУК,
д. т. н., професор, академік НААН

В.М. БУЛГАКОВ,
д. т. н., професор, академік НААН

А.М. РОКОЧИНСЬКИЙ,
д. т. н., професор

Д.В. ЧАРНИЙ,
д. т. н., с.н.с.

В.П. КОВАЛЬЧУК,
д. т. н., с.н.с.

В.О. БОГАСНКО,
к. т. н.

П.І. КОВАЛЬЧУК,
д. т. н., професор

П.І. КОВАЛЕНКО,
д. т. н., професор, академік НААН, член РАН,
член IAA Georgofili

В.І. КРАВЧУК,
д. т. н., професор, академік НААН

Ю.О. МИХАЙЛОВ,
д. т. н., с.н.с.

В.М. ПОПОВ,
д. т. н., с.н.с.

П.Д. ХОРУЖИЙ,
д. т. н., професор

В.І. ВИШНЕВСЬКИЙ,
д. геогр. н., професор

М.В. ЯЦЮК,
к. геогр. н.

О.П. МУЗИКА,
к. т. н., с.н.с.

С.А. ШЕВЧУК,
к. т. н., с.н.с.

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ НАУКИ

(201 – *Агрономія*):

Б. ШУЛЬЦ,
д.н., професор (Нідерланди)

Р. ІСЛАМ,
Ph.D. (США)

В.О. УШКАРЕНКО,
д. с.-г. н., професор, академік НААН

О.Г. ТАРАРІКО,
д. с.-г. н., професор, академік НААН

С.А. БАЛЮК,
д. с.-г. н., професор, академік НААН

В.І. ПЧУРА,
д. с.-г. н., професор

В.С. МОШИНСЬКИЙ,
д. с.-г. н., професор

О.Л. ТОНХА,
д. с.-г. н., професор

А.П. ЛІХАЦЕВИЧ,
д. т. н., професор, чл.-кор. НАН, член РАН (Білорусь)

А.П. ШАТКОВСЬКИЙ,
д. с.-г. н., чл.-кор. НААН

В.А. ВЕРГУНОВ,
д. с.-г. н., професор, академік НААН

Ю.О. ТАРАРІКО,
д. с.-г. н., професор, академік НААН

І.Т. СЛЮСАР,
д. с.-г. н., професор, чл.-кор. НААН

О.І. ЖОВТОНОГ,
д. с.-г. н., професор

В.В. ВАСЮТА,
д. с.-г. н., с.н.с.

М.П. МАЛЯРЧУК,
д. с.-г. н., с.н.с.

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202101-273>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/273>

УДК 628.147

ДОСЛІДЖЕННЯ ОРТОПОЛІФОСФАТНОГО ПРЕПАРАТУ “SEA QUEST LIQUID” ДЛЯ АНТИКОРОЗІЙНОЇ ТА СТАБІЛІЗАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ ВОДИ

М.І. Ромащенко¹, докт. техн. наук, О.В. Коваленко², канд. техн. наук, Є.М. Мацелюк³, канд. техн. наук, Д.В. Чарний⁴, докт. техн. наук, В.О. Прокопов⁵, докт. мед. наук

¹ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-9997-1346>; e-mail: mi.romashenko@gmail.com;

² Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-2047-8859>; e-mail: aleksandr55kovalenko@gmail.com;

³ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0001-9960-6333>; e-mail: evgen1523@ukr.net;

⁴ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0001-6150-6433>; e-mail: dmitriych10@gmail.com;

⁵ Інститут громадського здоров'я НАМНУ, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-1611-8930>

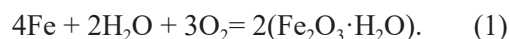
Анотація. Зазначено, що переважна більшість водопроводів діючих в Україні систем водопостачання виконані із сталі, або чавуну, які схильні до корозії. Встановлено, що одним із напрямків зниження корозійної агресивності питної води є застосування орто- поліфосфатного препарату «SeaQuest Liquid» (ТУ У 20.5-У 0502222–001:2017). Наведено результати досліджень впливу препарату «SeaQuest Liquid» на органолептичні та фізико-хімічні показники питної води. Визначено, що обробка водопровідної питної води препаратом «SeaQuest Liquid» не впливає на органолептичні показники, середні рівні яких упродовж 5-ти місяців спостережень практично не зазнавали суттєвих змін та знаходились в межах гігієнічних нормативів. У зразках води рівні речовин, що входять до складу препарату «SeaQuest Liquid» (поліфосфати, ортофосфати), перебували у межах нормативних значень. Якість води, обробленої ортополіфосфатним препаратом «SeaQuest Liquid», за основними санітарно-хімічними показниками, окрім заліза, відповідає вимогам гігієнічних нормативів ДСанПіН 2.2.4.171–10. В окремих пробах води вміст заліза перевищував гігієнічний норматив (0,2 мг/дм³) та виходив за максимально допустимий рівень (1,0 мг/дм³). Під дією препарату «SeaQuest Liquid» у воді, яка оброблена гіпохлоритом натрію, спостерігалось зменшення індексу Ланжельє: з –2,23 до –2,08 і з –1,79 до –1,70, що свідчить про зниження її корозійної активності. У воді, не обробленій гіпохлоритом натрію, під впливом препарату «SeaQuest Liquid» спостерігалось деяке зростання індексу Ланжельє: з –1,80 до –1,95 та з –1,85 до –2,78; з –2,01 до –2,13, що свідчить про зростання її корозійної агресивності. В умовах наявності у воді сульфатредуючих тіобактерій препарат «SeaQuest Liquid» збільшує швидкість корозії сталі в 2,9–7,2 рази; за умови додаткового знезараження води гіпохлоритом натрію останній знижує цей показник в 1,4–2,7 рази.

Ключові слова: хімічна і біологічна корозія, сульфатредуючі бактерії, інгібітори, швидкість корозії, гравіметричний метод

Актуальність дослідження. Стабільність води визначає її властивості взаємодіяти разом із розчиненими в ній речовинами з внутрішньою поверхнею сталевих трубопроводів, руйнуючи її (корозія) або утворюючи на поверхні відкладення, які складаються з карбонатів із включенням сполук заліза. Практика експлуатації трубопроводів показує, що в тій чи іншій мірі завжди присутні обидва ці процеси.

Підвищена корозійна агресивність води викликає внутрішню корозію трубопроводів, призводить до виникнення вторинного забруднення питної води під час її транспортування до споживачів.

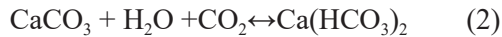
Хімічна реакція кисневої корозії у воді:



За даними різних експлуатаційних служб більше 80% сталевих трубопроводів систем питного водопостачання в Україні відпрацювали більше 30 років і піддані корозійному впливу [3]. На окремих ділянках трубопроводів утворюються свищі і товщина стінок зменшилась із 10–12 мм до 1,0–1,5 мм. Це знижує надійність подачі води споживачам, призводить до значних втрат води, підвищує ризик появи вторинних забруднень. На окремих ділянках трубопроводів

вiдзначається наявнiсть вiдкладень, якi зменшують перерiз трубопроводiв та iх пропускну здатнiсть, тим самим збiльшуючи енергоємнiсть водоподачi.

При використаннi пiдземних вод вторинне забруднення питної води за рахунок електрохiмiчної та мiкробiологiчної корозii майже завжди має мiсце. Визначальний фактор корозiйної активностi питної води – карбонат-кальцiєва рiвновага:



При змiщеннi рiвноваги влiво вода утворює на металевих поверхнях карбонатнi вiдкладення. При змiщеннi вправо – карбонат кальцiю розчиняється, пiдвижуючи корозiйну активнiсть води.

За завданням ПрАТ «АК «Київводоканал» Інститутом водних проблем i мелiорацiї НААН (ІВПiМ НААН) були здiйсненi експериментальнi дослiдження впливу ортополiфосфатного iнгiбiтора корозii на показники якостi питної води, швидкостi та величини корозii в результатi уведення його рiзними

дозами у водопровiдну мережу. В якостi об'єкта дослiджень була визначена система водопостачання масиву Оболонь м. Києва. Характерною особливiстю даної системи водопостачання є використання рiзних джерел водопостачання – пiдземних вод i поверхневих вод рiчок Десна i Днiпро.

В таблицi 1 наведено результати розрахунку корозiйної активностi води, виконаного в ІВПiМ НААН на основi хiмiчного аналізу показникiв якостi води, що забирався iз 29 свердловин на об'єкті дослiджень. Як видно з табл. 1, iндекси Ланжелъє, отриманi за допомогою розрахункових формул по всiх точках вiдбору, перебувають у межах вiд -0,89 до -1,77, що свiдчить про суцiльну i суттєву корозiйну активнiсть води в усiх точках вiдбору.

Слiд пiдкреслити, що вода, отримана шляхом змiшування води з водозабiрних свердловин i води р. Днiпро, бiльш корозiйно активна, нiж вода самих свердловин. Про це свiдчать iндекси Ланжелъє, отриманi з аналiзiв проб води. Це пояснюється пiдви-

1. Результати розрахункiв iндексiв Ланжелъє, Рiзнера та rH_2

№ з/п	№ свердловини	Індекс Ланжелъє I_{Lng} за номограмами	Індекс Рiзнера (IP)	Індекс Ланжелъє I_{Lng} розрахункове	rH_2 за Труфановим	rH_2 за Кларком
1	223	-0,38	8,19	-1,61	18,27	18,10
2	229	-0,025	7,97	-1,07	19,25	19,08
3	230	-0,04	7,8	-1,27	18,95	18,78
4	231	-0,01	8,01	-0,86	19,46	19,29
5	232	-0,96	9,58	-1,23	19,02	18,84
6	212	0,02	7,67	-1,18	19,04	18,87
7	179	-0,03	7,78	-1,25	19,10	18,92
8	178	-0,34	8,16	-1,04	19,47	19,30
9	182	0	8	-1,02	19,48	19,31
10	205	0	7,95	-1,03	19,38	19,21
11	224	-0,03	7,84	-1,11	18,86	18,70
12	242	-0,19	8,13	-1,30	18,83	18,67
13	251	0,075	7,92	-0,97	19,29	19,14
14	255	0,195	7,71	-0,84	19,42	19,27
15	269	0,05	7,77	-1,17	19,07	18,91
16	271	0,31	7,6	-0,82	19,59	19,44
17	237	0,225	7,71	-0,80	19,47	19,32
18	262	0,02	7,86	-0,99	19,06	18,90
19	261	0,22	7,91	-0,94	19,63	19,49
20	197	0,145	7,9	-0,85	19,53	19,38
21	200	-0,166	7,872	-1,24	18,56	18,39
22	221	-0,015	7,63	-1,22	18,68	18,51
23	190	-0,04	7,75	-1,18	18,71	18,55
24	214	-0,07	7,8	-1,24	18,58	18,42
25	293	-0,02	8,08	-0,91	18,98	18,84

щеним вмістом кисню в такій суміші води. Індекс Різнера у всіх пробах знаходиться у межах від 7,8 до 8,8, що вказує на суттєву корозійну активність води. Особливо це характерно для води свердловини № 232, індекс Різнера якої становить 9,58, що вказує на загрозу корозії трубопроводу.

Показники rH_2 , по всіх пробах, розраховані як за формулою Ф.У. Кларка, так і за формулою А.І. Труфанова, свідчать про те, що досліджуване водне середовище є дуже сприятливим для життєдіяльності залізобактерій загалом, а зона рН – Eh показників проб води свідчить про те, що присутня активна життєдіяльність різних штамів: *Leptothrix*, *Gallionella*, *Thiobacillus thiooxidans* або їх сумісна життєдіяльність.

Усі досліджувані показники свідчать про те, що найбільш вірогідним у водопровідних мережах є комплексний генез корозійних процесів, який поєднує у собі як фізико-хімічні, так і біологічні процеси. Таке поєднання зазвичай сприяє процесам активного вторинного забруднення води продуктами корозії трубопроводів.

Одним із раціональних методів покращення технічного стану діючих трубопроводів є стабілізація води шляхом обробки її інгібіторами корозії.

Аналіз попередніх досліджень. Пріоритетними протикорозійними заходами згідно СОУ ЖКГ 42.00–35077234.010:2008 «Системи централізованого господарсько-питного водопостачання та комунального тепlopостачання. Захист протикорозійний. Загальні вимоги та методи контролювання» [7] є застосування інгібіторів корозії та електрохімічний магнієвий (анодний) захист. Інгібітори корозії здатні попереджувати утворення корозійних відкладень на внутрішній поверхні трубопроводів та видаляти уже сформовані відкладення.

За своєю природою інгібітори корозії можуть бути неорганічними та органічними речовинами. Механізм дії інгібіторів в рідких середовищах здебільшого полягає в гальмуванні катодних і анодних процесів електрохімічної корозії, утворення захисних і пасивуючих плівок. (Пасивація – перехід поверхні металу в неактивний, пасивний стан, пов'язаний з утворенням тонких поверхневих шарів сполук, які запобігають корозії). Інгібітори корозії – речовини, що утворюють з іонами металу, який кородує, важко-розчинні сполуки. Список речовин, що належать до цієї групи, залежить від природи металу, який піддається корозії. До анодних інгібіторів належать деякі сполуки, що не володіють

окисними властивостями: фосфати, поліфосфати, силікати, бензоат натрію. Їх інгібуюча дія проявляється тільки при наявності розчиненого кисню, який і грає роль пасиватора. Такі речовини гальмують анодний процес розчинення через утворення захисних плівок, які є важкорозчинними продуктами взаємодії інгібітора з іонами металу, який переходить у розчин. При корозії заліза до них належать фосфати, гідрофосфати, поліфосфати. Поліфосфати захищають поверхню металу, утворюючи на ній непроникну захисну плівку. У присутності іонів Ca і Fe на катодних ділянках осідають фосфати кальцію і заліза, що утворюють непроникну захисну плівку з $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ та ін.

У присутності фосфатів на поверхні заліза утворюється захисна плівка. Вона складається з гідроксиду заліза, ущільненого фосфатом заліза. Для більшого захисного ефекту фосфати часто використовують у суміші з поліфосфатами. Деякі інгібітори на основі поліфосфатів мають здатність запобігати утворенню відкладень солей на внутрішній поверхні труб, а також видаляти раніше утворені відкладення, при цьому режим видалення можна регулювати змінюючи концентрацію інгібітора. До таких інгібіторів належать ортополіфосфатний інгібітор-реагент Сіквест («SeaQuest»). Реагент «SeaQuest» – натрієва сіль поліфосфатної кислоти (порошкоподібна суміш), суміш неорганічних поліфосфатів. Хімічна формула: $\text{Na}_{35}\text{H}_5\text{P}_{26}\text{O}_{85}$, виробник – компанія Аква Смарт, Інк. («Aqua Smart Inc»), (www.aquasmartinc.com) на заводі, розташованому в м. Атланта, США. «SeaQuest» – це торгова марка, що являє собою гранульовану форму суміші неорганічних фосфатів, що складаються приблизно з 25% ортофосфатів і 75% поліфосфатів.

В Україні для антикорозійної та стабілізаційної обробки води в системі питного водопостачання пропонується препарат «SeaQuest Liquid», виготовлений згідно ТУ У 20.5–40502222–001:2017 (Дозвіл Держспоживслужби України № 602–123–20–1/5600) виробництва ТОВ «Нанохімічні Технології» (Україна, м. Київ). Препарат «SeaQuest Liquid» становить собою водний розчин ортополіфосфатного препарату «SeaQuest» із додаванням консервуючих кількостей гіпохлориту натрію.

У Словенії для запобігання накопичення накипу в трубопроводах систем питного водопостачання використовували поліфосфати, вміст яких у воді коливався в межах від 0,2 мг $\text{PO}_4/\text{л}$ до 24,6 мг $\text{PO}_4/\text{л}$ [1].

Нині в Україні проведені дослідження на фільтрувальній станції водоочисних споруд Західного групового водогону КП «Облводоканал» Запорізької обласної ради (ФС ВОС ЗГВ КП «Облводоканал»). Вони показали, що існує ймовірний зв'язок між корозійною агресивністю і стабільністю питної води та інтенсивністю утворення ХОС на етапах підготовки води та під час її транспортування в трубопроводах. Тобто чим ефективнішою була коагуляція і чим більше домішок було видалено з води, що проходить водопідготовку, тим вищою є корозійна агресивність обробленої води [2]. Реагент «SeaQuest» було застосовано для стабілізаційної обробки води в магістральному водоводі Акимівка-Бердянськ Західного групового водоводу Запорізької області. У результаті застосування реагенту «SeaQuest» корозійна агресивність води знизилась з 0,25–0,37 мм/рік до 0,018–0,031 мм/рік (вимога СОУ ЖКГ 42.00–35077234.010:2008 0,05 мм/рік).

Результати досліджень [3] засвідчили, що під час транспортування води з підвищеною корозійною агресивністю її якість суттєво погіршується, особливо за ЗМЧ, органолептичними показниками (кольоровістю, каламутністю, запахом, присмаком), вмістом заліза, цинку, перманганатною окиснюваністю, вмістом тригалометанів тощо. Крім того, було показано [4; 5], що корозійна агресивність та стабільність води впливають на біологічну активність та ступінь токсичності тригалометанів при їх надходженні до організму експериментальних тварин та людини з питною водою.

Дослідження, проведені на Часів-Ярській, Старокримській фільтрувальній станції № 2, Західному груповому водоводі Якимівка-Бердянськ, показали, що застосування для стабілізаційної обробки адекватних доз препарату «SeaQuest» дозволило привести корозійну агресивність обробленої води у відповідність до вимог усіх діючих нормативних документів [5].

В Чернігівському державному технологічному університеті досліджено протикорозійну активність «SeaQuest» на зразках сталі, які витримували протягом 24 годин в інгібо-

ваних розчинах, а потім переносили на 10 днів в чисту водопровідну воду. Встановлено, що використання «SeaQuest» для антикорозійної обробки води господарсько-питного водопостачання недостатньо ефективне (38,8–42,1%) та призводить до збільшення вмісту заліза у питній воді за рахунок утворення розчинних комплексних сполук з іржею. Крім того, при цьому спостерігалось стимулювання виразкової корозії зразків.

Мета роботи: дослідити можливість застосування інгібіторного захисту в системах питного водопостачання за допомогою ортополіфосфатного препарату «SeaQuest Liquid».

Матеріали і методика досліджень. У дослідженнях застосовували ортополіфосфатний препарат «SeaQuest Liquid» (ТУ У 20.5–40502222–001:2016). Склад препарату «SeaQuest Liquid» наведено в табл. 2, його основні показники – в табл. 3.

Дозу препарату «SeaQuest Liquid» за основною речовиною «SeaQuest» розраховували за формулою: Доза «SeaQuest» = Вміст (Fe + Mn) + Загальна жорсткість у перерахунку на CaCO₃ / 200 + 0,2. Наприклад: вміст Fe = 1 мг/л; вміст Mn = 1 мг/л; загальна жорсткість 8 мг-екв/л; Доза «Sea Quest» = 1 + 1 + (8 x 50 / 200) + 0,2 = 4,2 мг/л, де 50 = мг-екв CaCO₃.

Для обробки води препаратом застосовували установку для дозування фірми "Grundfos". Для обліку води застосовували лічильник холодної води MAGX2-T5CMN-NN485 фірми Arkon Flow Systems (Чехія). Пристрій MAGX2 має інноваційний модульний дизайн «Plug&Play», який одночасно підходить для всіх застосувань. Для реєстрації даних в MAGX2 використовували стандартну micro Secure Digital card.

Розміщення обладнання для зберігання та дозування препарату «SeaQuest Liquid» було виконано в межах існуючих наземних та напівазглиблених насосних станцій над артезіанськими свердловинами, а також у приміщенні електролізної. Установки дозування препарату та точки вприску влаштували по одному комплекту в кожній насосній станції.

Оцінку стабільності води, виходячи з її хімічного складу, проводили за стандартними методиками визначення індексів стабільності

2. Склад препарату «SeaQuest Liquid»

Компоненти препарату	Масова доля компонентів в препараті, %
Ортополіфосфатний реагент «SeaQuest»	не менше 30,0
Гіпохлорид натрію, марка А згідно ГОСТ 11086-76 або ТУ У6-0576120.014-99	≤0,1
Вода	Не більше 70

3. Фізико-хімічні показники препарату «SeaQuest Liquid»

№ з/п	Найменування показника	Значення
1	Зовнішній вигляд	Прозора рідина без кольору, зі слабким запахом без сторонніх включень (допускається незначне помутніння)
2	Густина при температурі 20°C, г/дм ³	1,250–1,350
3	pH водного розчину з масовою долею основної речовини 30% при температурі 20°C	4,4–5,5
4	Масова доля загального фосфору в перерахунок на P ₂ O ₅ , %	19,2–22,4
5	Масова доля ортофосфатів, %	7,2–7,9
6	Масова доля поліфосфатів, %	22,1–27,1
7	Антикорозійна ефективність (швидкість корозії) мм/рік, не більше	0,1

Ланжельє і Різнера, індексу Паккоріуса для визначення схильності води до утворення накипу, індексу Ларсона-Скольда, який дає змогу характеризувати корозійну здатність води по відношенню до низьковуглецевої сталі, індексу Оддо-Томпсона для експрес оцінювання схильності води до розчинення або утворення карбонату кальцію [6–10].

Для контролю ефективності процесу обробки води препаратом «SeaQuest Liquid» було передбачено вузли контролю, кожний з яких обладнаний корозійними зондами. Зонд дозволяє встановлювати і знімати зразки матеріалів в процесі роботи установки без відключення обладнання.

Оцінку швидкості корозії металу трубопроводу проводили на основі короткочасних корозійних випробувань зразків металу, ідентичного металу трубопроводів, за допомогою корозійних зондів гравіметричним методом по втраті маси зразків.

Зважування зразків для випробувань проводили після їх остаточного просушування на аналітичних вагах із точністю 2×10^{-4} м.

Швидкість корозії матеріалу при гравіметричних випробуваннях визначалась із розрахунку на рівномірну загальну корозію за формулою:

$$Pr = \frac{8,76 \times 10^4 (m_1 - m_2)}{St\rho}$$

де Pg – швидкість корозії матеріалу, мм/рік; m_1, m_2 – маса зразка до початку випробувань і після очищення зразка від відкладень і продуктів корозії, г; S – первісна поверхня зразка, мм²; t – тривалість корозійних випробувань, год.; ρ – щільність матеріалу, г/см³.

Результати досліджень. За результатами досліджень встановлено, що якість водопровідної питної води, в яку регулярно в застосовуваних дозах (від 1,0 до 3,0 мг/дм³) додавався

препарат «SeaQuest Liquid», за органолептичними показниками (запах, присмак, каламутність, забарвленість) в динаміці коливалася в усіх точках відбору проб для кожного інгредієнта в межах нормативних значень та навіть при максимальних дозах реагенту залишалась стабільно високою.

За всіх режимів використання препарату «SeaQuest Liquid», у воді в усіх точках відбору проб не зареєстровано відхилень від нормативів основних фізико-хімічних показників неорганічної та органічної природи: за середніми даними pH води становив $7,67 \pm 0,01$ од. pH, загальна жорсткість складала $4,3 \pm 0,03$ та загальна лужність – $4,4 \pm 0,05$ ммоль/дм³, вміст кальцію становив $58,6 \pm 0,7$ мг/дм³, магнію – $16,1 \pm 0,2$ мг/дм³, гідрокарбонатів – $261,4 \pm 4,8$ мг/дм³, марганцю < 0,01 мг/дм³, сульфатів – $21,9 \pm 1,2$ мг/дм³, хлоридів – $44,3 \pm 1,4$ мг/дм³, натрію та калію – $44,0 \pm 2,0$ мг/дм³, хлору залишкового – $0,35 \pm 0,02$ мг/дм³, загальна мінералізація – $459,9 \pm 15,1$ мг/дм³.

В період спостереження якість обробленої ортополіфосфатним препаратом «SeaQuest Liquid» води в основному відповідає вимогам гігієнічних нормативів ДСанПіН 2.2.4.171–10 за винятком періодичних коливань понаднормованого вмісту заліза. В окремих пробах води вміст у воді заліза перевищував гігієнічний норматив (0,2 мг/дм³) у 3–10 разів та виходив за максимально допустимий рівень (1,0 мг/дм³). Динаміка зміни концентрації заліза загального свідчить, що на початковій стадії дії препарату «SeaQuest Liquid» відбувається розчинення плівки гідроксиду заліза, яка утворилася за час експлуатації на внутрішній поверхні трубопроводу, а потім проходить процес пасивації сталі.

Санітарно-токсикологічні показники якості водопровідної питної води за неорганічними та

органічними компонентами за весь час спостереження в усіх точках відбору проб за середніми даними відповідали нормативам та становили для амонію – $0,2 \pm 0,01$ мг/дм³, перманганатної окиснюваності – $2,3 \pm 0,1$ мгО₂/дм³, нітритів – $0,09 \pm 0,01$ мг/дм³ та нітратів – $1,53 \pm 0,14$ мг/дм³.

В досліджуваних зразках питної води рівні речовин, що входять до складу препарату «SeaQuest Liquid» (поліфосфати, ортофосфати), коливались у різних точках відбору проб, не погіршуючи її якість, та, зокрема, за поліфосфатами знаходились у межах нормативних значень.

Результати вагових досліджень впливу препарату «SeaQuest Liquid» у водопровідній воді на швидкість корозії сталевих зразків наведено в табл. 4.

Аналіз результатів досліджень, наведених у таблиці 4, показує, що швидкість корозії зразків у воді, обробленій препаратом «SeaQuest Liquid», значно перевищує швидкість корозії зразків у воді, яка не містить вказаного препарату. Особливо це характерно для підземних вод свердловин. Так, для свердловини № 182 це підвищення складає 2,87 рази, для свердловини № 232 – 5,28 рази, для свердловини № 242 – 7,15 рази.

Швидкість корозії в трубопроводі на території НС – 1, який містив реагент «SeaQuest Liquid», в 1,47 рази перевищує швидкість корозії в трубопроводі без реагенту. Швидкість корозії в напірних трубопроводах машзалу НС – 2 в 2,91–3,42 рази перевищує швидкість корозії в напірних трубопроводах машзалу НС – 1, в яких проводилась санітарна промивка гіпохлоритом натрію. Слід відмітити, що після витримки у воді, яка не містить

препарат «SeaQuest Liquid», поверхня зразків набула світло-коричневого кольору, а після витримки у воді, яка містила препарат, – чорного кольору (рис. 1).

Як відомо, світло-коричневий колір характерний для гідроксиду заліза (іржа), чорний – для сульфїду заліза (пірит). Характер відкладень на поверхні зразків теж різний: світло-коричневі відкладення більш щільні, пластинчасті, чорні – пухкі, які легко видаляються з поверхні. Отримані результати дозволяють припустити такий механізм корозійного процесу. Препарат «SeaQuest Liquid» каталізує мікробіологічну корозію, викликану сульфатредуючими тіобактеріями. При відсутності препарату вогнища корозії не пов'язані з присутністю мікроорганізмів, а виникають у результаті процесу хімічної корозії з утворенням гідроксиду



Рис. 1. Зовнішній вигляд зразків після витримки в підземній воді свердловин

4. Вплив препарату «SeaQuest Liquid» на швидкість корозії

Місце виїмки зразків	Втрата маси зразків Δm, г у воді:		Втрата маси зразків Δm, % у воді:		Швидкість корозії K _m , мм/рік у воді:	
	Без «SeaQuest Liquid»	З «SeaQuest Liquid»	Без «SeaQuest Liquid»	З «SeaQuest Liquid»	Без «SeaQuest Liquid»	З «SeaQuest Liquid»
Свердловина № 182	0,7545	2,3744	10,9	34,1	0,4086	1,1744
Свердловина № 232	0,4839	2,5553	6,8	36,1	0,2621	1,3839
Свердловина № 242	0,2822	2,0163	4,0	29,9	0,1528	1,0920
НС-1, машзал, точка № 1	–	0,2823	–	4,45	–	0,1529
НС-1, машзал, точка № 2	–	0,3404	–	5,10	–	0,1844
НС-1, К 12	1,4099	–	20,4	–	0,7636	–
НС-1, К 29	–	0,9620	–	14,0	–	0,5210
НС-2, машзал, точка № 1	–	0,8213	–	11,4	–	0,4448
НС-2, машзал, точка № 2	–	1,1659	–	16,9	–	0,6315
НС-2, колодязь (Дніпровська вода)	1,3103	–	18,5	–	0,7097	–

заліза. Зміна середовища, в результаті введення у воду препарату «SeaQuest Liquid», сприяла розвитку мікроорганізмів. У свою чергу, в процесі життєдіяльності мікроорганізми накопичили реагенти, що стимулюють біологічний корозійний процес. Як відомо, наявність клітин сульфатредуючих тіобактерій є джерелом біогенного сірководню. Сірководень, реагуючи з металом, утворює сульфід заліза. Поверхня металу піддається пітинговій і виразковій корозії. Виразки вкриваються зверху пухкими продуктами корозії, які переважно складаються з сульфиду заліза та гідроксиду заліза. У присутності кисню корозійні горбки покриваються скоринкою, що складається з гідроксиду заліза. Під шаром продуктів корозії бактерії заглиблюються в метал, руйнуючи його. Відкладення сульфиду заліза на поверхні трубопроводів (чорний колір) сприяє виникненню гальванічних пар (анода і катода), що викликає електрохімічну корозію. Сульфід заліза при цьому служить

катодом, чиста поверхня металу – анодом. Сірководень, взаємодіючи з іонами заліза, утворює нерозчинний сульфід заліза і, одночасно, мігруючи в зони з окисленим режимом, окиснюється до елементарної сірки. Шари різного кольору, як наслідок симбіозу хімічної та біологічної корозії, можна спостерігати на зразках, які витримували в напірному трубопроводі НС-2 (рис. 2).

Характерно, що швидкість корозії зразків у напірних трубопроводах насосних станцій 1 та 2 після введення препарату нижча за швидкість корозії зразків, встановлених у районі свердловин. Це пояснюється тим, що вода в напірні водоводи насосних станцій поступає після резервуарів чистої води (РЧВ) і вона пройшла обробку гіпохлоритом натрію, який згубно діє на мікроорганізми. Особливо це характерно для трубопроводу НС-1, де вода пройшла триразову обробку гіпохлоритом натрію дозою 20 мг/л і мікробіологічна корозія практично відсутня (рис. 3).



Рис. 2. Зовнішній вигляд зразків після витримки в напірному трубопроводі НС-2.



Рис. 3. Загальний вигляд зразків після витримки в напірному трубопроводі НС-1

Особливо наочно демонструють вплив препарату «SeaQuest Liquid» на розвиток патогенних мікроорганізмів зразки, які витримували у середовищі, що містило суміш підземної та річкової (р. Десна) вод (рис. 4).

Висновки. За усіх режимів використання препарату «SeaQuest Liquid» у воді в усіх точках відбору проб не зареєстровано відхилень від нормативів основних фізико-хімічних показників: за середніми даними рН води становив $7,67 \pm 0,01$ од. рН, загальна жорсткість складала $4,3 \pm 0,03$, загальна лужність – $4,4 \pm 0,05$ ммоль/дм³, вміст кальцію становив $58,6 \pm 0,7$ мг/дм³,



Рис. 4. Загальний вигляд зразків після витримки в суміші підземної і річкової вод

магнію – $16,1 \pm 0,2$ мг/дм³, гідрокарбонатів – $261,4 \pm 4,8$ мг/дм³, марганцю < $0,01$ мг/дм³, сульфатів – $21,9 \pm 1,2$ мг/дм³, хлоридів – $44,3 \pm 1,4$ мг/дм³, натрію та калію – $44,0 \pm 2,0$ мг/дм³, хлору залишкового – $0,35 \pm 0,02$ мг/дм³, амонію – $0,2 \pm 0,01$ мг/дм³, перманганатної окиснюваності – $2,3 \pm 0,1$ мгО₂/дм³, нітритів – $0,09 \pm 0,01$ мг/дм³, нітратів – $1,53 \pm 0,14$ мг/дм³, загальна мінералізація – $459,9 \pm 15,1$ мг/дм³. В окремих пробах води, обробленої препаратом «SeaQuest Liquid», вміст заліза перевищував гігієнічний норматив ($0,2$ мг/дм³) та виходив за максимально допустимий рівень ($1,0$ мг/дм³). В зразках питної води концентрації речовин, що входять до складу препарату «SeaQuest Liquid» (поліфосфати, ортофосфати), знаходились в межах нормативних значень. Підтвердилась прогнозована нами, за розрахунковим показником Rh₂, біологічна складова корозії. В умовах наявності у воді сульфатредуючих тіобактерій препарат «SeaQuest Liquid» збільшує швидкість корозії сталі в $2,9$ – $7,2$ рази; за умови додаткового знезараження води в режимі санітарної обробки гіпохлоритом натрію останній знижує цей показник в $1,4$ – $2,7$ рази. Під дією препарату «SeaQuest Liquid» у воді, яка оброблена гіпохлоритом натрію, спостерігалось зменшення індексу Ланжельє: з $-2,23$ до $-2,08$ і з $-1,79$ до $-1,70$, що свідчить про зниження її корозійної активності. У воді, не обробленій гіпохлоритом натрію, під впливом препарату «SeaQuest Liquid» спостерігалось деяке зростання індексу Ланжельє: з $-1,80$ до $-1,95$ та з $-1,85$ до $-2,78$; з $-2,01$ до $-2,13$, що свідчить про зростання її корозійної агресивності.

Бібліографія

1. Jereb G, Poljšak B., Eržen I. Contribution of Drinking Water Softeners to Daily Phosphate Intake in Slovenia // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2017. Vol. 14(10). P. 1186.
2. Гігієнічне обґрунтування необхідності та шляхів модернізації комунальних систем централізованого водопостачання України / Загороднюк К.Ю. та ін. *Довкілля та здоров'я*. 2016. № 1(77). С. 48–54.
3. Коррозионная агрессивность воды как один из основных показателей качества питьевой воды и ее нормативное регулирование в Украине / Загороднюк К.Ю. та ін. *Водопостачання та водовідведення*. 2009. № 4. С. 26–33.
4. Токсиколого-гігієнічна оцінка питної води Західної фільтрувальної станції ТОВ «Луганськвода» до та після стабілізаційної обробки препаратом “Sea-Quest” / Загороднюк К.Ю. та ін. *Сучасні проблеми токсикології*. 2011. № 5. С. 178–179.
5. Загороднюк К.Ю., Омельчук С.Т., Загороднюк Ю.В. Влияние стабильности и коррозионной агрессивности воды на биологическую активность хлорорганических соединений, поступающих в организм с питьевой водой. *Вода и экология: проблемы и решения*. Санкт-Петербург, 2012. № 2–3. С. 35–36.
6. Willhite C.C., Ball G.L., Bhat V.S. Emergency Do Not consume/do Not Use Concentrations for Blended Phosphates in Drinking Water // *Human & Experimental Toxicology*. 2013. Vol. 32(3). P. 241–259.

7. Системи централізованого господарсько-питного водопостачання та комунального теплопостачання. Захист протикорозійний. Загальні вимоги та методи контролювання : СОУ ЖКГ 42.00-35077234.010:2008. Київ : Держспоживстандарт України, 2008. 14 с.

8. Hayes C., Inledion S., Balch M. Experience in Wales (UK) of the Optimisation of Ortho-Phosphate Dosing for Controlling Lead in Drinking Water // Journal of Water and Health. 2008. Vol. 6(2). P.177–185.

9. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною: ДСанПіН 2.2.4-171-10 / МОЗ України. Київ, 2012. 55 с.

10. Антомонов М.Ю. Математическая обработка и анализ медико-биологических данных. 2-е изд. Киев, 2018. 579 с.

References

1. Jereb, G., Poljšak, B., & Eržen, I. (2017). Contribution of Drinking Water Softeners to Daily Phosphate Intake in Slovenia. International journal of environmental research and public health, 14(10), 1186. <https://doi.org/10.3390/ijerph14101186>

2. Zahorodniuk, K.Iu., Bardov, V.H., & Omelchuk, S.T. (2016). Hihiiienichne obgruntuvannia neobkhdnosti ta shliakhiv modernizatsii komunalnykh system tsentralizovanoho vodopostachannia Ukrainy [Hygienic substantiation of necessity and ways of modernization of communal systems of centralized water supply of Ukraine]. Dovkillia ta zdorovia, 1(77), 48–54. [in Ukrainian]

3. Zahorodniuk, Yu.V., Omelchuk, S.T., & Kravchuk, A.P. (2009). Korrozyonnaia ahressyvnost vody yak odyin yz osnovnykh pokazatelei kachestva pytevoi vody y ee normatyvnoe rehulyrovanye v Ukraine [Corrosiveness of water as one of the main indicators of drinking water quality and its regulatory regulation in Ukraine]. Vodopostachannia ta vodovidvedennia, 4, 26–33. [in Russian]

4. Zahorodniuk, K.Iu., Omelchuk, S.T., Nikipielova, O.M., & Zahorodniuk, Yu.V. (2011). Toksykolooho-hihiiienichna otsinka pytnoi vody Zakhidnoi filtrualnoi stantsii TOV “Luhanskvoda” do ta pislia stabilizatsiinoi obrobky preparatom “Sea-Quest” [Toxicological and hygienic assessment of drinking water of the Western filtering station of LLC “Luganskvoda” before and after stabilization treatment with “Sea-Quest”]. Suchasni problemy toksykologii, 5, 178–179. [in Ukrainian]

5. Zahorodniuk, K.Iu., Omelchuk, S.T., & Zahorodniuk, Yu.V. (2012) Vlyianyie stablylnosti y korrozyonnoi ahressyvnosti vodu na byolohyeheskuuiu aktyvnost khlororhanyeheskykh soedyneni, postupaiushchykh v orhanyzm s pytevoi vodoi [Influence of the stability and corrosiveness of water on the biological activity of organochlorine compounds entering the body with drinking water]. Voda y ekolohiya: problemy y resheniya, 2–3, 35–36. [In Russian]

6. Willhite, C.C., Ball, G.L., & Bhat, V.S. (2013). Emergency Do Not consume/do Not Use Concentrations for Blended Phosphates in Drinking Water. Human & Experimental Toxicology, Vol. 32(3), 241–259.

7. Systemy tsentralizovanoho hospodars'ko-pitnoho vodopostachannia ta komunal'noho teplopostachannia. Zakhyst protykoroziiyny. Zahal'ni vymohy ta metody kontrolyu [Systems of centralized drinking water supply and communal heat supply. Corrosion protection. General requirements and control methods]. (2008). SOU ZHK·H 42.00-35077234.010. Kyiv : Derzhspozhyvstandart Ukrayiny. [in Ukrainian]

8. Hayes, C., Inledion, S., & Balch, M. (2008). Experience in Wales (UK) of the Optimisation of Ortho-Phosphate Dosing for Controlling Lead in Drinking Water. Journal of Water and Health, Vol. 6(2), 177–185.

9. Hihiyenichni vymohy do pytnoyi vody, pryznachenoii dlya spozhyvannia lyudynoyu [Hygienic requirements for drinking water intended for human consumption]. (2012). DSanPiN:2.2.4-171-10. Derzhavni sanitarni pravyla i normy. Kyiv : MOZ Ukrayiny. [in Ukrainian]

10. Antomonov, M.Yu. (2018). Matematicheskaya obrabotka i analiz biomeditsinskikh dannykh. 2-ye izd. [Mathematical handling and analyze of biometric parameters. 2-nd edition]. Kyiv. [in Russian]

**М.И. Ромащенко, А.В. Коваленко, Е.М. Мацелюк,
Д.В. Чарный, В.А.Прокопов**

Исследование ортополифосфатного препарата “SeaQuest Liquid”

для антикоррозионной и стабилизационной обработки воды

Аннотация. Отмечено, что подавляющее большинство водопроводов действующих в Украине систем водоснабжения выполнены из стали или чугуна, которые подвержены коррозии. Установлено, что одним из направлений снижения коррозионной агрессивности питьевой воды является

применение орто полифосфатного препарата «SeaQuest Liquid» (ТУ У 20.5-В 0502222-001:2017). Приведены результаты исследований влияния препарата «SeaQuest Liquid» на органолептические и физико-химические показатели питьевой воды. Определено, что обработка водопроводной питьевой воды препаратом «SeaQuest Liquid» не влияет на органолептические показатели, средние уровни которых на протяжении 5-ти месяцев наблюдений практически не претерпевали существенных изменений и находились в пределах гигиенических нормативов. В образцах воды уровни веществ, входящих в состав препарата «SeaQuest Liquid» (полифосфаты, ортофосфаты) находились в пределах нормативных значений. Качество воды, обработанной ортополифосфатным препаратом «SeaQuest Liquid», по основным санитарно-химическим показателям, кроме железа, соответствует требованиям гигиенических нормативов ДСанПиН 2.2.4.171-10. В отдельных пробах воды содержание железа превышало гигиенический норматив ($0,2 \text{ мг/дм}^3$) и выходило за максимально допустимый уровень ($1,0 \text{ мг/дм}^3$). Под действием препарата «SeaQuest Liquid» в воде, обработанной гипохлоритом натрия, наблюдалось уменьшение индекса Ланжелье: с $-2,23$ до $-2,08$ и с $-1,79$ до $-1,70$, что свидетельствует о снижении ее коррозионной активности. В воде, не обработанной гипохлоритом натрия, под влиянием препарата «SeaQuest Liquid» наблюдался некоторый рост индекса Ланжелье: с $-1,80$ до $-1,95$ и с $-1,85$ до $-2,78$, с $-2,01$ до $-2,13$, что свидетельствует о росте ее коррозионной агрессивности. В условиях наличия в воде сульфатредуцирующих и тиобактерий препарат «SeaQuest Liquid» увеличивает скорость коррозии стали в $2,9-7,2$ раза; при условии дополнительного обеззараживания воды гипохлоритом натрия он снижает этот показатель в $1,4-2,7$ раза.

Ключевые слова: химическая и биологическая коррозия, сульфатно-редуцирующие бактерии, ингибиторы, скорость коррозии, гравиметрический метод

**M.I. Romashchenko, O.V. Kovalenko, E.M. Matselyuk,
D.V. Charny, V.A. Prokopov**

Study of the orthopolyphosphate specimen «SeaQuest Liquid» for anticorrosion and stabilization water treatment

Abstract. It is known that most water supply systems operating in Ukraine are made of steel or cast iron, which are subject to corrosion. It was determined that one of the ways to reduce the corrosive aggressiveness of drinking water is the use of an orthopolyphosphate specimen «SeaQuest Liquid» (ТУ У 20.5-В 0502222-001:2017). The results of studies on the effect of «SeaQuest Liquid» specimen on the organoleptic and physicochemical indicators of drinking water are presented. It was determined that the treatment of tap drinking water with «SeaQuest Liquid» specimen does not affect organoleptic characteristics, the average levels of which practically did not undergo significant changes during 5 months of observation and were within the hygienic standards. In water samples, the rates of substances that make up the «SeaQuest Liquid» (polyphosphates, orthophosphates) were within the normative values. The quality of water treated with «SeaQuest Liquid» orthophosphate specimen, by the main sanitary and chemical indicators, except for iron, meets the requirements of the hygienic standards DСанПиН 2.2.4.171-10. In some water samples, the iron content in water exceeded the hygienic standard ($0,2 \text{ mg/dm}^3$) and went beyond the maximum permissible level ($1,0 \text{ mg/dm}^3$). Under the action of «SeaQuest Liquid» in water treated with sodium hypochlorite, a decrease in the Langelier index was observed: from $-2,23$ to $-2,08$ and from $-1,79$ to $-1,70$, which indicates a decrease in its corrosivity. In water untreated with sodium hypochlorite under the action of «SeaQuest Liquid» specimen, a slight increase in the Langelier index was observed: from $-1,80$ to $-1,95$ and from $-1,85$ to $-2,78$, from $-2,01$ to $-2,13$, which indicates an increase in its corrosive aggressiveness. In the presence of sulphate reducing and thiobacteria in water, «SeaQuest Liquid» specimen increases the corrosion rate of steel by $2,9-7,2$ times; subject to the additional disinfection of water with sodium hypochlorite, it reduces this indicator by $1,4-2,7$ times.

Key words: chemical and biological corrosion, sulfate reducing bacteria, inhibitors, corrosion rate, gravimetric method

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202101-279>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/279>

УДК 631.67;626.86

ЗАХИСТ ВІД ШКІДЛИВОЇ ДІЇ ВОД ТЕРИТОРІЇ ЛІВОБЕРЕЖНОЇ ТЕРАСИ НИЖНЬОГО ДНІПРА

М.І. Ромащенко¹, докт. техн. наук, Д.П. Савчук², канд. техн. наук, А.М. Шевченко³, канд. с.-г. наук, О.А. Бабіцька⁴, канд. техн. наук, О.І. Харламов⁵, канд. техн. наук, І.В. Котикович⁶, Д.П. Землянська⁷

¹ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-9997-1346>; e-mail: mi.romashchenko@gmail.com;

² Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-7672-3251>; e-mail: savchuk.igim@gmail.com;

³ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-2637-6538>; e-mail: monitoring_protect@ukr.net;

⁴ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-9387-5943>; e-mail: helena-babitska@ukr.net;

⁵ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-9019-3445>; e-mail: lharlam911@gmail.com;

⁶ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-1492-3557>; e-mail: ikotykovych@gmail.com;

⁷ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0001-6882-5090>; e-mail: darya.zemlanika@gmail.com

Анотація. Розглянуто систему захисту від шкідливої дії вод, глибини залягання та динаміки рівнів ґрунтових вод (РГВ) на ділянці досліджень у зоні зрошення Північно-Кримського каналу, у центральній частині якої знаходиться село Тарасівка Олешківського району Херсонської області. Метою роботи є встановлення закономірностей розвитку процесів підтоплення та обґрунтування надійного захисту території другої древньої тераси Нижнього Дніпра від шкідливої дії вод. Захист села від підтоплення здійснюється за допомогою системи вертикального дренажу, яка розміщена по його контурах. Кількість водопонижуючих свердловин на системі – 10, відстань між свердловинами становить 500–750 м, глибина свердловин – 70 м. У сучасних умовах територія села та прилеглі землі знаходяться в зоні постійного стійкого підтоплення ґрунтовими водами та періодичного ризику затоплення поверхневими водами. У центральній частині села рівні глибин залягання ґрунтових вод перевищують критично-допустимі відмітки. Водно-екологічна ситуація в селі істотно загострюється у вологі періоди. Надзвичайні та кризові підтоплення за останні 30 років спостерігались 7 разів. Сучасний розвиток процесів підтоплення і затоплення територій тераси вимагає розроблення та реалізації більш ефективної системи захисту, яка передбачає відновлення та модернізацію існуючого дренажу, відведення поверхневих вод за допомогою самопливних систем, удосконалення режиму експлуатації та зменшення фільтрації з Північно-Кримського каналу, створення регіонального самопливного колектора, застосування новітніх водозберігаючих систем зрошення, використання підземних вод для поливів сільськогосподарських культур. Модернізація систем зрошення і дренажу та реалізація розроблених пропозицій дозволить істотно підвищити рівень захисту територій древньої тераси річки Дніпра від шкідливої дії вод.

Ключові слова: зрошення, підтоплення, вертикальний і горизонтальний дренаж, замкнуті зниження

Постановка питання. У зоні зрошувального землеробства однією із складних щодо розвитку процесів підтоплення і затоплення територій є область терасових відкладень древньої дельти Нижнього Дніпра у Херсонській області [15; 16]. Це обумовлено комплексом природних та антропогенних чинників, до яких входять регіональна і локальна безстічність рельєфу місцевості, аномальні атмосферні опади, наявність потужних джерел

підтоплення, недостатня робота інженерного дренажу, відсутність розвиненої колекторно-дренажної мережі тощо.

Територія тераси розташована на рівнинній місцевості в межах великої безстічної чаші довжиною близько 40 км і шириною – до 5–10 км. На поверхні землі самої чаші залягають великі безстічні зниження (Чорнянське, Новомаяцьке, Подокалінівське, Тарасівське) та безліч малих. Гіпсометрично чаша

© Ромащенко М.І., Савчук Д.П., Шевченко А.М.,
Бабіцька О.А., Харламов О.І., Котикович І.В., Землянська Д.П., 2021

характеризується абсолютними відмітками поверхні землі близько 8–12 м.

На території тераси розташовано багато водомістких джерел підтоплення постійної та тривалої дії: Каховське водосховище, Північно-Кримський канал (ПКК), площі регулярного зрошення земель та інтенсивних поливів присадибних ділянок.

Мета роботи полягає у встановленні закономірностей розвитку процесів підтоплення

та обґрунтуванні надійного захисту території від нього в складних природних та водогосподарських умовах.

Методика досліджень. Дослідження проводили на дослідно-виробничій ділянці, яка розташована у районі с. Тарасівка Олешківського району Херсонської області (рис. 1). Опрацюванню підлягали карти-топооснови району дослідження, характеристики зрошувальних та дренажних систем,

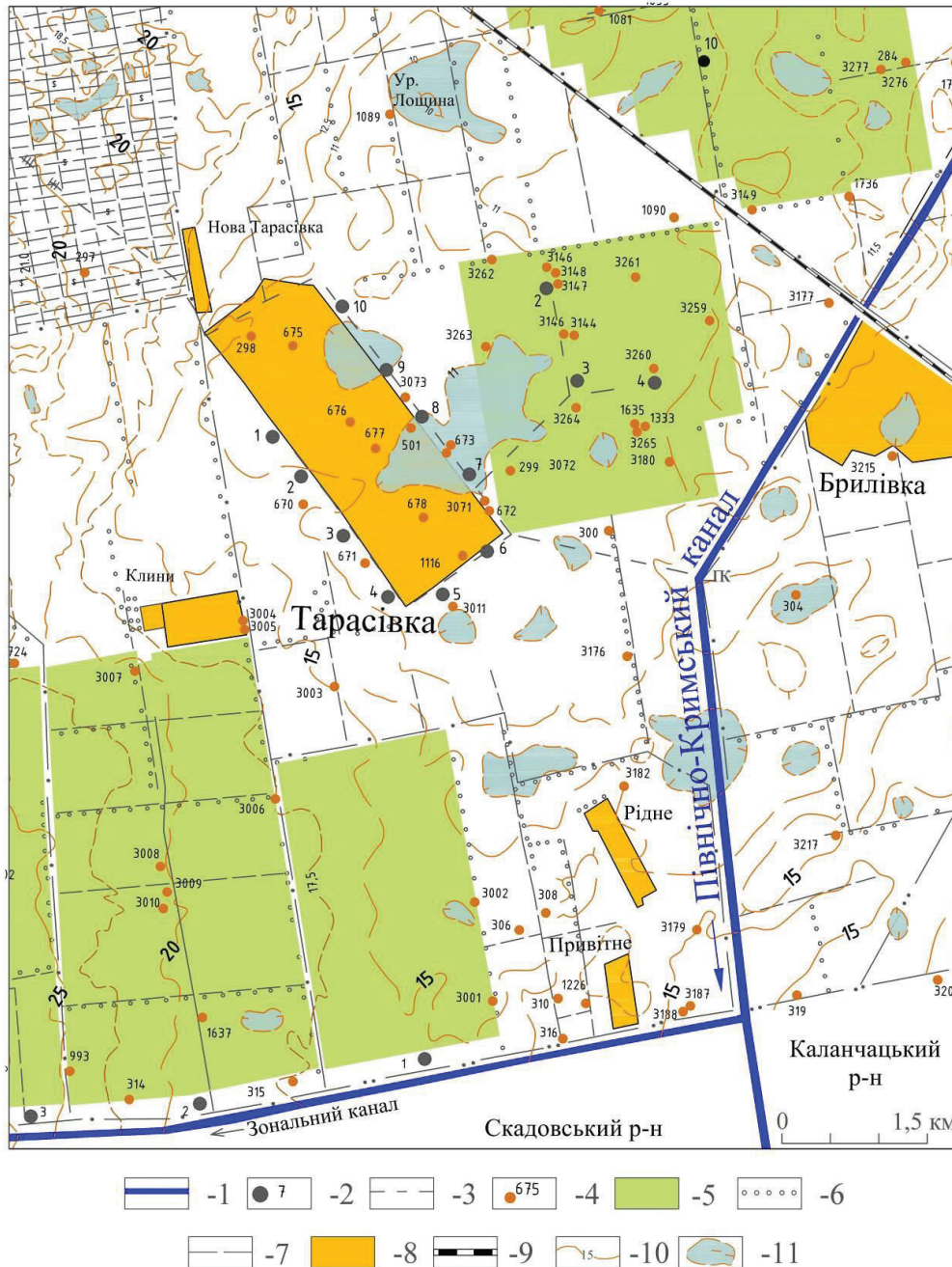


Рис. 1. Схема захисту територій від шкідливої дії вод у районі с. Тарасівка:
1 – Північно-Кримський канал; 2 – свердловина вертикального дренажу; 3 – напірний трубопровід; 4 – спостережна свердловина; 5 – площа зрошення; 6 – лісосмуга; 7 – межа поля; 8 – населений пункт; 9 – залізниця; 10 – горизонталі місцевості (м); 11 – безстічні зниження

результати рекогносцирувальних обстежень, дані багаторічних спостережень за глибинами залягання рівня ґрунтових вод (РГВ) Каховської гідрогеолого-меліоративної експедиції (нині партії), атмосферні опади метеостанції Асканія-Нова, космознімки, інформаційні матеріали служби надзвичайних ситуацій, засобів масової інформації, наукових публікацій тощо [1–4; 7–9; 14; 17; 18]. До того ж приймалося, що територія відноситься до підтопленої, якщо глибина залягання РГВ перевищує критично-допустиму ($H_{кр}$), яка для регіону досліджень визначена рівною 2 м [5; 10; 11].

Характеристика району досліджень.

Ділянка досліджень знаходиться у зоні зрошення Північно-Кримського каналу (ПКК). У центральній частині ділянки розташоване с. Тарасівка. Загальна площа населеного пункту становить 441 га. Кількість мешканців – 2092 особи (2018 р.). Село розташоване в південно-західній частині тераси на днищі глибокого рівнинного пониження. Абсолютні відмітки поверхні землі у селі становлять близько 11 м. Довкола села, окрім північно-східної частини, залягають пологі схили, які на відстані 10–15 км від нього переходять у вододільні території з абсолютними відмітками 20–35 м. Водозбірна площа басейну в південній частині села досягає близько 100 км².

Північно-східна околиця села Тарасівка прилягає до рівнинної тераси, вкритої численними безстічними зниженнями. Найбільше зниження, яке має назву Урочище Лощина, знаходиться на відстані 3 км на північ від села. Абсолютна відмітка поверхні землі на днищі цього зниження становить 10 м, тобто на 1 м нижче поверхні землі у селі. Геоморфологічні особливості зниження дозволяють акумулювати в ньому частини поверхневих вод, які формуються у селі та на його околицях у періоди інтенсивних опадів.

У східній частині села на відстані близько 2 км від його околиці в земляному руслі проходить траса Північно-Кримського каналу. Канал є одним з найбільших в Європі. Його пропускна здатність при форсованих рівнях води становить 440 м³/с, глибина води – 6 м, ширина водного плеса – до 100 м. Абсолютні відмітки води коливаються в межах 14,30–14,12 м, дна каналу – 8,30–8,12 м. Отже, під час поливного сезону рівень води в руслі каналу домінує над поверхнею землі в селі на 3,2 м.

У міжсезонний період вода з каналу скидається і її рівень в ньому знаходиться приблизно на 3 м нижче поверхні прилеглих земель, що

дозволяє каналу виконувати роль дренажного колектора відкритого типу. Слід відзначити, що дренажні води каналу та дренажу прилеглих земель і населених пунктів викликають накопичення стоків на дні каналу, що призводить до формування куполів ґрунтових вод на трасі каналу та зменшення інтенсивності їх розтікання.

Ґрунти поверхневої товщі на ділянці 43–50 км ПКК представлені багатошаровою структурою обводнених лесовидних суглинків (товщиною 4 м), пісків (4 м), глин (2 м), пісків (24 м), глин (3 м) та вапняків (понад 20 м). Ґрунти характеризуються високими фільтраційними властивостями. Коефіцієнти фільтрації суглинків становлять 0,6–3,0 м/добу, пісків – до 25, вапняків – 50–250 м/добу [1]. Загалом ґрунти характеризуються великою потужністю відкладень та високою водопродійністю, що є сприятливим для застосування вертикального дренажу [10].

Існуюча система захисту території села від підтоплення представлена вертикальним дренажем (ВД). Систему введено в експлуатацію в 1971 р. Проектна площа дренажу становить 365 га. Кількість водопонижуючих свердловин на системі – 10, глибина їх закладання – 70 м, діаметр – 426 мм. На глибині 25 м у свердловинах встановлені насоси типу ЕЦВ-12–160–65. Свердловини розміщені на околиці села. Відстань між ними становить 500–750 м. Відстань між лініями дренажу – 1350 м. У північно-західній частині села свердловини відсутні.

Свердловини працюють за схемою кільцевого відсічного дренажу. Чотири свердловини підключені до магістрального трубопроводу (МТ) с. Великі Копані, 6 свердловин – до напірного трубопроводу НТ-3. Діаметри трубопроводів 1200 і 900 мм відповідно. Матеріал труб – залізобетон і сталь.

Напірними трубопроводами дренажна вода транспортується до русла ПКК на 47,75 км. На укосі каналу трубопроводи завершуються капітальною гідротехнічною спорудою – дренажним гирлом (рис. 2).

Територія ділянки вкрита щільною мережею спостережних свердловин. Усього на площі дослідження розміщено 73 спостережні свердловини. У питомих показниках одна свердловина припадає на 164 га, на території села Тарасівка – на 36,5 га.

Результати дослідження. У сучасних умовах частина території села та прилеглі землі знаходяться в зоні постійного стійкого підтоплення ґрунтовими водами та періодичного ризику затоплення поверхневими



Рис. 2. Дренажне гирло на ПКК (477 пікет)

водами [16]. У центральній частині села рівні глибин залягання ґрунтових вод перевищують критично допустимі (рис. 3).

Періодично затоплюються підвали, гаражі, теплиці. Господарські будівлі використовуються не повноцінно, існує загроза руйнування фундаментів будинків та засолення земель присадибних ділянок. Часом мешканцям доводиться змінювати місце проживання, як це сталося у селах Стара та Нова Маячка.

Водно-екологічна ситуація в селі істотно загострюється у вологі періоди. Надзвичайні та кризові підтоплення спостерігались 1–31 січня 1998 р., 15–17 лютого 2005 р., 16–24 лютого

2010 р., у червні 2012 р., 6–8 квітня, 4–5 липня 2015 р., 20 червня 2018 р. (рис. 4).

У 1998 р. підтоплення зазнала 651 садиба, у 2010–402, постійно у підтопленому стані знаходяться біля 200 садиб. Згідно з чинними нормативами умови проживання та господарської діяльності мешканців села класифікуються як надзвичайний стан.

Сучасний розвиток процесів підтоплення та затоплення територій тераси вимагає розроблення та реалізації більш ефективної системи захисту, яка передбачає відновлення та модернізацію існуючого дренажу, відведення поверхневих вод за допомогою самопливних систем та мобільних насосних

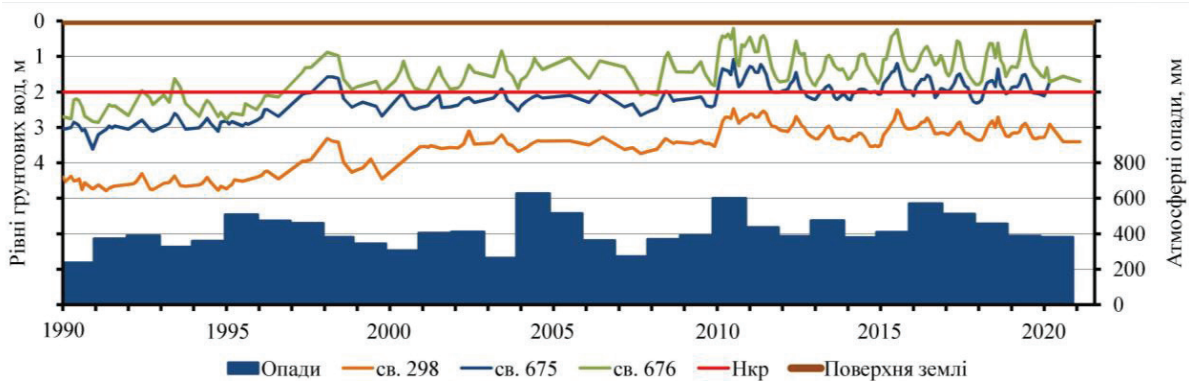


Рис. 3. Динаміка глибин залягання рівня ґрунтових вод



Рис. 4. Осередки затоплення в с. Тарасівка та на прилеглих територіях (20 червня 2018 р.)

установок, удосконалення режиму експлуатації та зменшення фільтрації з Північно-Кримського каналу, створення регіонального самопливного колектора, застосування новітніх водозберігаючих систем зрошення, використання підземних вод для поливів сільськогосподарських культур [6; 15].

Варіант відновлення існуючого вертикального дренажу розглянуто у зв'язку з тим що, незважаючи на недостатню ефективність, великі обсяги перекачування підземних вод, складність і значні експлуатаційні витрати та інші недоліки, нині цей дренаж залишається єдиним засобом захисту селища. Водночас, слід враховувати, що подовження експлуатації системи, яка працювала майже 50 років, поступово втрачає перспективу.

Одним із важливих варіантів захисту територій села є будівництво системи горизонтального дренажу, яка влаштовується у селі та на його околицях. Глибина закладання дренажу становить 3,0–3,2 м. Стік скидається у ПКК за допомогою напірного трубопроводу із пластмасових труб діаметром 10 см.

Систему водовідведення поверхневого стоку доцільно представити мережею лотків і кюветів на вулицях села та колектором, який забезпечує самопливний стік надлишкових вод у штучну водойму – став. Став розташовується на дні природного замкненого зниження в районі залізниці (Урочище Лощина). При переповненні ставку вода з нього перекачується у ПКК за допомогою дренажної насосної станції або мобільними насосними агрегатами.

Реконструкція ПКК полягає у використанні дренажної здатності русла шляхом прокладання на дні каналу осушувальної дрени глибиною 1,2–1,5 м. Відведення дренажного стоку з русла каналу здійснюється через аварійні скиди на Північно-Кримському та Олександрівському каналах.

Доцільно розглянути варіант подачі поливної води для зрошення закритими трубопроводами великого діаметру, які можуть бути розташовані на бермах і схилах каналу. Цей захід дозволить ліквідувати втрати води на фільтрацію, підвищити дренажність території, влаштувати зрошувальні масиви в приканальній зоні. При використанні такого підходу звільнену від води площу дна каналу доцільно використати під влаштування сонячної електростанції для забезпечення електроенергією населених пунктів, розміщених уздовж каналу.

Для забезпечення радикального та енергоощадливого захисту території, прилеглих до

ділянки ПКК між 30 і 50 км, розглянуто варіант створення регіонального самопливного колектора (з умовною назвою Дніпровський), який забезпечить відведення надлишкових вод зі зрошуваних масивів та сіл Тарасівка, Подокалинівка, Стара Маячка до р. Дніпро. Траса Дніпровського колектора прокладається від ПКК км до р. Дніпро найкоротшим шляхом та на місцевості з найменшими відмітками поверхні землі. Протяжність головного русла колектора біля 39 км, бічних колекторів – 18 км. Для зменшення ширини колектора та глибини його закладання запропоновано застосування на окремих ділянках конструкції водовідвідного колектора із закритою дренажною великого діаметра [12]. Відкрита частина колектора меншої глибини та ширини включатиметься в роботу лише під час інтенсивних опадів та транспортування поверхневих та скидних вод. Закрита більш глибока частина забезпечить необхідний дренажний ефект. Підсилення ефективності колектора можна досягати за допомогою водопоглинальних колодязів, які посилять гідравлічний зв'язок із добре прониклими пісками водоносної товщі ґрунтів [13].

Особливості розташування колектора забезпечать формування постійного стоку з невисокою мінералізацією, скиду води з каналу в міжполивний сезон і за необхідністю її подачі у поливний сезон, що дозволить використання колектора як джерела зрошення, зокрема для створення зрошуваних лісових масивів на ділянці вздовж Олешківських пісків.

Модернізація систем зрошення і дренажу та реалізація розроблених пропозицій дозволить істотно підвищити рівень захисту територій древньої тераси р. Дніпра від шкідливої дії вод. Рішення щодо тієї чи іншої пропозиції приймається на основі техніко-економічного обґрунтування.

Висновки. Сільські населені пункти, які розташовані в зоні впливу ПКК, характеризуються вкрай складними природними і водогосподарськими умовами тераси Нижнього Дніпра щодо розвитку процесів затоплення і підтоплення території та шкідливої дії вод – аномальні атмосферні опади, рівнинний рельєф, безстічні зниження, розвантаження ґрунтового потоку з підвищених елементів водозбірної басейну, періодична фільтрація води з магістрального каналу, поливи присадибних ділянок і прилеглих сільськогосподарських угідь.

Для ефективного реального захисту території сільських населених пунктів в умовах тераси Нижнього Дніпра розроблено комплекс

пропозицій та технічних рішень, які полягають у доповненні існуючого вертикального дренажу систематичним горизонтальним, влаштування самопливної системи відведення поверхневих вод у штучні водойми на

прилеглих природних зниженнях, дренавання днища та протифільтраційного облицювання ПКК, відведення дренажних вод та підвищення дренаваності території за допомогою головного колектора.

Бібліографія

1. Абрамов И.Б., Звягинцева Н.А., Черненко С.А. Формирование гидрогеолого-мелиоративной обстановки в зоне Северо-Крымского канала на территории Херсонской области. Київ : УкрНИИГиМ, 1983. С. 34–42.
2. Бахтіярова Л.І. Причины та наслідки меліорації в північному Причорномор'ї: дренажні системи. *Вісник Одеського національного університету: Географічні та геологічні науки*. 2014. Вип. 2. С. 80–100.
3. Блохина Н.Н., Бурдин Л.М. Изменение гидрогеологических условий Краснознаменского орошаемого массива при действии вертикального дренажа. *Формирование гидрогеолого-мелиоративных условий на орошаемых и осушаемых землях*. Киев : УкрНИИГиМ, 1983. С. 42–46.
4. Бурдин Л.М. Дренаж некоторых крупных подов левобережья Нижнего Днепра в связи с их геологическим строением и гидрогеологическими условиями. *Региональные особенности подов и западного микрорельефа Украины*. Киев, 1980. С. 27–29.
5. ВСН 33-2.2.03-86. Мелиоративные системы и сооружения. Дренаж на орошаемых землях. Нормы проектирования. Москва, 1987. 115 с.
6. Грановська Л., Жужа В., Липинець І. Еколого-меліоративне обґрунтування використання дренажної води для зрошення. *Водне господарство України*. 2013. № 2. С. 22–26.
7. Заморій П.К. Четвертинні відклади Української РСР. Частина II. Київ : Видавництво Київського університету, 1961. 550 с.
8. Инженерно-геологическое обоснование мелиоративного строительства / Р.А. Баер и др. Киев : Будівельник, 1978. 200 с.
9. Клімат України / за ред. В.М. Липінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. Київ : Видавництво Раєвського, 2003. 343 с.
10. Методические рекомендации по расчетам защиты территорий от подтопления в зоне орошения / Олейник А.Я. и др. Киев : Укрпипроводхоз, 1986. 392 с.
11. Муромцев Н.Н., Блохина Н.Н., Драчинская Э.С. Оценка гидрогеолого-мелиоративного состояния орошаемых земель. Киев : Урожай, 1991. 120 с.
12. Люмінісцентний матеріал : пат. 75000 Україна : МПК (2012.01) E02B11/00, № u201114230 ; заявл. 01.12.2011; опубл. 26.11.2012. Бюл. № 22. 3 с.
13. Люмінісцентний матеріал : пат. 122636 Україна : МПК (2017.01) E02B11/00, № u201704847 ; заявл. 19.05.2017; опубл. 25.01.2018. Бюл. № 2. 4 с.
14. Перехрест С.М., Гогун В.Л. О мерах борьбы с повышением уровня грунтовых вод на Краснознаменском орошаемом массиве. *Гидротехника и мелиорация*. 1968. № 11. С. 48–56.
15. Ромашенко М., Савчук Д., Шевченко А. Схема комплексного захисту від затоплення і підтоплення у Херсонській області. *Водне господарство України*. 2007. №5. С. 20–28.
16. Рябцев М.П. Схема районирования зоны устойчивого подтопления приморских территорий Херсонщины и Северного Присивашья. *Мелорация і водне господарство*. 2007. Вип. 95. С. 167–176.
17. Сербин А.М., Захарова В.Я. Об изменениях гидрогеолого-мелиоративной обстановки на Краснознаменском массиве орошения и результатах применения вертикального дренажа на системе. *Исследование движения влаги в насыщенных породах. Материалы межведомственного совещания по мелиоративной гидрогеологии и инженерной геологии*. Вып. II. Москва : 1972. С. 400–407.
18. Стеля О.Б. Моделирующий комплекс для расчета потока грунтовых вод в сложных гидрогеологических условиях. *Математическое моделирование*. 2011. Т. 23. № 4. С. 120–130.

References

1. Abramov, I.B., Zviahyntseva, N.A., & Chernenko, S.A. (1983). Formyrovanye hydroheolo-ho-melyoratyvnoi obstanovky v zone Severo-Krymskoho kanala y terrytoryy Khersonskoi oblasti [Formation of a hydrogeological-meliorative situation in the zone of the North-Crimean Canal and the territory of the Kherson region] Sb. nauch. tr. UkrNYUHyM. Kyiv : UkrNYUHyM, 34–42. [in Russian]

2. Bakhtiarova, L.I. (2014). Prychyny ta naslidky melioratsii v pivnichnomu Prychornomor'i: drenazhni systemy [Causes and effects of reclamation in the northern Black Sea: drainage systems]. *Visnyk Odeskoho natsionalnoho universytetu: Heohrafichni ta heolohichni nauky*, 2, 80–100 [in Ukrainian]
3. Blokhina, N.N., & Burdyn, L.M. Izmeneniye gidrogeologicheskikh usloviy Krasnoznamenskogo oroshayemogo massiva pri deystvii vertikal'nogo drenazha [Changes in the hydrogeological conditions of the Krasnoznamensk irrigated massif under the action of vertical drainage]. V kn.: *Formirovaniye gidrogeologo-meliorativnykh usloviy na oroshayemykh i osushayemykh zemlyakh*. Kiev : UkrNYHyM, 42–46.
4. Burdyn, L.M. (1980) Drenazh nekotorykh krupnykh podov levoberezh'ya Nizhnego Dnepra v svyazi s ikh geologicheskimi stroeniyem i gidrogeologicheskimi usloviyami [Drainage of some large bottoms on the left bank of the Lower Dnieper due to their geological structure and hydrogeological conditions]. V kn.: *Regional'nyye osobennosti podov i zapadinnogo mikrorel'yefa Ukrainy*. Kiev, 27–29. [in Russian]
5. Meliorativnyye sistemy i sooruzheniya. Drenazh na oroshayemykh zemlyakh. Normy proyektirovaniya. (1987). [Reclamation systems and facilities. Drainage on irrigated lands. Design Standards]. VSN 33-2.2.03-86. Moskva. [in Russian]
6. Granovska, L., Zhuzha, P., & Lypynets, I. (2013). Ekoloho-meliorativne obgruntuvannya vykorystannya drenazhnoi vody dlia zroshennia [Ecological and reclamation substantiation of drainage water use for irrigation]. *Vodne gospodarstvo Ukrainu*, 2, 22–26. [in Ukrainian]
7. Zamorij, P.K. (1961). Chetvertynni vidklady Ukrayinskoyi RSR. [Quaternary deposits of the Ukrainian SSR]. (Chastyna 1). Kyiv : Vydavnyctvo Kyiv. Universytetu. [in Ukrainian]
8. Baer R.A., Gryza, A.A., Lyutaev, V.V., & Smirnov, R.A. (1978). Inzhenerno-geologicheskoe obosnovanie meliorativnogo stroitelstva [Engineering and geological substantiation of reclamation construction]. Kiev : Budivelnik. [in Russian]
9. Lipynskiy, V.M., Diachuk, V.A., & Babichenko, V.M. (2003). Klimat Ukrainy [The climate of Ukraine]. Kyiv : Vydavnytstvo Raievskoho. [in Ukrainian]
10. Oleunik, A.I. (1986). Metodicheskie rekomendacii po raschetam zashchitu territorii ot podtopleniya v zone orosheniya. [Methodical recommendations on calculations of protection of territories from flooding in the irrigation zone]. Instytut Gidromehaniki AN USSR. Ukrprovdokhoz. Kyiv : Minvodhoz USSR. [in Russian]
11. Muromtsev, N.N., Blohina, N.N., & Drachinskaya, E.S. (1991). Otsenka gidrogeologo-meliorativnogo sostoyaniya oroshaemykh zemel. [Assessment of the hydrogeological and reclamation condition of irrigated lands]. Kiev : Urozhay. [in Russian]
12. Romashchenko, M.I., Savchuk, D.P., Shevchenko, A.M., Babitska, O.A., Kuzmin, V.V., & Riabtsev, M.P. (2012). Vodovidvidnyy kolektor z drenoyu [Drainage collector with drain]. Patent of Ukraine. № 75000.
13. Savchuk, D.P., Babitska, O.A., Shevchenko, A.M., Zemlianska, D.P., & Kharlamov, O.I. (2018). Vodovidvidna systema akumulatsiyno-pohlinal'nogo typu [Drainage system accumulative-absorbing type]. Patent of Ukraine. № 122636.
14. Perehrest, S.M. (1962). Oroshenie zemel yuga Ukrainyi. [Irrigation of lands in the south of Ukraine]. Kiev : Izd-vo AN USSR. [in Russian]
15. Romashchenko, M.I., Savchuk, D.P., & Shevchenko, A.M. (2007) Skhema kompleksnogo zakhystu vid zatoplennya i pidtoplennya u Khersons'kiy oblasti [Scheme of complex protection against flooding and flooding in the Kherson region]. *Kiyv. Vodne gospodarstvo Ukrainu*, 5, 20–28. [in Ukrainian]
16. Ryabtsev, M.P. (2007) Skhema rayonirovaniya zony ustoychivogo podtopleniya primorskikh territoriy Khersonshchiny i Severnogo Prisivash'ya [Zoning scheme of the zone of sustainable flooding of the coastal territories of the Kherson region and the Northern Sivash region.]. *Melioratsiya i vodne gospodarstvo*, 95, 167–176. [in Russian]
17. Serbin, A.M., & Zaharova, V.Y. (1972). Ob izmeneniyah gidrogeologo-meliorativnoy obstanovki na Krasnoznamenskom masive orosheniya i rezultatah primeneniya vertikal'nogo drenazha na sisteme. [On changes in the hydrogeological-reclamation situation on the Krasnoznamensk irrigation array and the results of the use of vertical drainage on the system]. *Materialyi mezhvedomstvennogo soveschaniya po meliorativnoy gidrogeologii i inzhenernoy geologii*. (Vol. 2). Moskva, 400–407. [in Russian]
18. Stelia, O.B. (2011) Modeliruyushchiy kompleks dlya rascheta potoka gruntovykh vod v slozhnykh gidrogeologicheskikh usloviyakh. [Modeling complex for calculating the flow of groundwater in difficult hydrogeological conditions]. *Matematicheskoye modelirovaniye*, 23, 4. 120–130. [in Russian]

М.И. Ромашенко, Д.П. Савчук, А.Н. Шевченко, Е.А. Бабицкая,
А.И. Харламов, И.В. Котикович, Д.П. Землянская

**Защита от вредного воздействия вод территории
левобережной террасы Нижнего Днепра**

Аннотация. Рассмотрены система защиты от вредного воздействия вод, глубины залегания и динамики уровней грунтовых вод (УГВ) на участке исследований в зоне орошения Северо-Крымского канала, в центральной части которого находится территория села Тарасовка Алёшковского района Херсонской области. Целью работы является установление закономерностей развития процессов подтопления и обоснование надежной защиты территории другой древней террасы Нижнего Днепра от вредного воздействия вод. Защита села от подтопления осуществляется с помощью системы вертикального дренажа, которая размещена по его контурам. Количество водопонижающих скважин на системе – 10, расстояние между скважинами составляет 500–750 м, глубина скважин – 70 м. В современных условиях территория села и прилегающие земли находятся в зоне постоянного устойчивого подтопления грунтовыми водами и периодического риска затопления поверхностными водами. В центральной части села уровни глубин залегания грунтовых вод превышают критически допустимые отметки. Водно-экологическая ситуация в селе существенно обостряется во влажные периоды. Чрезвычайные и кризисные подтопления за последние 30 лет наблюдались 7 раз. Современное развитие процессов подтопления и затопления территорий террасы требует разработки и реализации более эффективной системы защиты, которая предусматривает восстановление и модернизацию существующего дренажа, отвода поверхностных вод с помощью самотёчных систем, совершенствование режима эксплуатации и уменьшения фильтрации с Северо-Крымского канала, создания регионального самотёчного коллектора, применение новейших водосберегающих систем орошения, использования подземных вод для поливов сельскохозяйственных культур. Модернизация систем орошения и дренажа и реализация разработанных предложений позволит существенно повысить уровень защиты территорий древней террасы реки Днепра от вредного воздействия вод.

Ключевые слова: орошение, подтопление, вертикальный и горизонтальный дренаж, замкнутые понижения

M.I. Romashchenko, D.P. Savchuk, A.M. Shevchenko, O.A. Babitska,
O.I. Kharlamov, I.V. Kotykovych, D.P. Zemlyanska

**Protection against the harmful effects of water
on the left bank terrace of the Lower Dnipro River**

Abstract. It was addressed the system of protection against harmful effects of water, depths and dynamics of groundwater tables (GWT) in the research area within the North Crimean Canal irrigation zone, where Tarasivka village (Oleshkiv district, Kherson region) is located. The goal of the study is to establish the patterns of flooding processes development and to substantiate the reliable protection of the territory of the second ancient terrace of the Lower Dnieper River against harmful effects of water. Protection of the village against flooding is performed by means of a system of vertical drainage which is placed on its contours. The number of water lowering wells on the system is 10, the distance between the wells is 500–750 m, and the depth of the wells is 70 m. In current conditions, the territory of the village and the adjacent lands are exposed to constant flooding by groundwater and periodically by surface water. In the central part of the village, groundwater depths exceed the critical limits. The water and ecological situation in the village is significantly exacerbated in wet periods. Extreme and crisis floods have been observed 7 times for the last 30 years. Current development of flooding within the territory of terrace requires the development and implementation of a more effective protection system, which provides for the restoration and modernization of existing drainage, surface water removal when using self-flowing systems, improvement of operation and reduction of filtration from the North Crimean Canal, construction of regional self-flowing collector, the use of the latest water-saving irrigation systems and the use of groundwater for crop irrigation. The modernization of irrigation and drainage systems and the implementation of the developed proposals will significantly increase the level of protection of the ancient terrace of the Dnieper River against the harmful effects of water.

Key words: irrigation, flooding, vertical and horizontal drainage, closed depressions

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202101-274>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/274>

УДК 001.891.54-024.84+658.5:556:332.(081)

БАЛАНСОВИЙ МЕТОД ІНТЕГРОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ВОДОВІДВЕДЕННЯМ ЗА ОБ'ЄМАМИ ТА МІНЕРАЛІЗАЦІЄЮ ШАХТНИХ ВОД У БАСЕЙНІ р. ІНГУЛЕЦЬ

П.І. Ковальчук¹, докт. техн. наук, В.В. Стеценко², канд. геол. наук, Г.А. Балихіна³, канд. техн. наук, В.П. Ковальчук⁴, докт. техн. наук, О.С. Демчук⁵, канд. техн. наук

¹ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0003-1424-6995>, e-mail: kovalchuk.pavlo.ivanovich@gmail.com;

² Криворізький національний університет, Кривий Ріг, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-1471-5379>, e-mail: stesenko-4@meta.ua;

³ Національна академія аграрних наук України, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-5571-3556>, e-mail: maslova-anna@ukr.net;

⁴ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0001-7570-1264>, e-mail: volokovalchuk@gmail.com;

⁵ Національний університет водного господарства і природокористування, Рівне, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-8318-5009>, e-mail: ldem1997@ukr.net

Анотація. Розглянуто балансовий метод визначення пайової участі підприємств Кривбасу за об'ємами акумуляції шахтних вод у ставку-накопичувачу. Формалізовано балансовий метод участі гірничорудних підприємств за частками мінеральних речовин. Розроблено інтегрований підхід до управління водовідведенням у ставок-накопичувач за лінійною згортокою двох балансових рівнянь, сумісно за часткою об'ємів вод та величиною мінералізації в скидах підприємств, що враховує вибір пайової участі у водовідведенні шахтних вод за економічними та екологічними критеріями. Обґрунтовано алгоритм пайової участі гірничорудних підприємств Кривбасу на принципах рівноправності двох критеріїв. Проведено практичні розрахунки частки акумуляції скидних вод у ставку-накопичувачу балки Свистунова. Розглянуто зважену за двома критеріями ціну за водовідведення 1 м³ води в ставок-накопичувач. Критеріями є об'єми відкачаних вод та величина мінералізації. Побудовано графічні залежності зваженої ціни від відношення концентрації скидів різних підприємств до концентрації суміші. Використовуються різні коефіцієнти зваження: платне водовідведення за часткою об'ємів вод; оцінка водовідведення тільки за величиною мінералізації; рівноправний підхід за часткою об'ємів (50%) та мінеральних речовин (50%). Розрахунки показали працездатність алгоритму, можливість його використання підприємствами для інтегрованого управління водовідведенням шахтних вод за критеріями об'ємів та мінералізації. Запропонований балансовий метод легко узагальнити на інші показники якості води (хлориди, сульфати та ін.), які вважаються у певній задачі найбільш актуальними для визначення пайової участі підприємств. В перспективі необхідно розробити теорію платного водокористування та водовідведення в умовах незадовільної якості води з урахуванням інтегрованого підходу за різних показників та їх сукупності, тобто багатокритеріальну оцінку водовідведення та акумуляції шахтних вод.

Ключові слова: балансові методи, екологічні та економічні критерії, інтегроване управління, мінералізація шахтних вод, розбавлення шахтних вод, лінійна згортка критеріїв

Постановка проблеми. На сьогодні не існує технологій очищення високомінералізованих шахтних вод, які були б економічно доступними і забезпечували необхідне зниження мінералізації. Саме тому перед скиданням шахтні води акумулюються в ставку-накопичувачу.

Перед скиданням шахтних вод проводять їх нормоване розбавлення більш чистою водою для зниження мінералізації. Скидання шахтних вод в р. Інгулець проводять у міжвегетаційний період, використовуючи воду з Карачунівського водосховища. У вегетаційний період проводять промивання русла

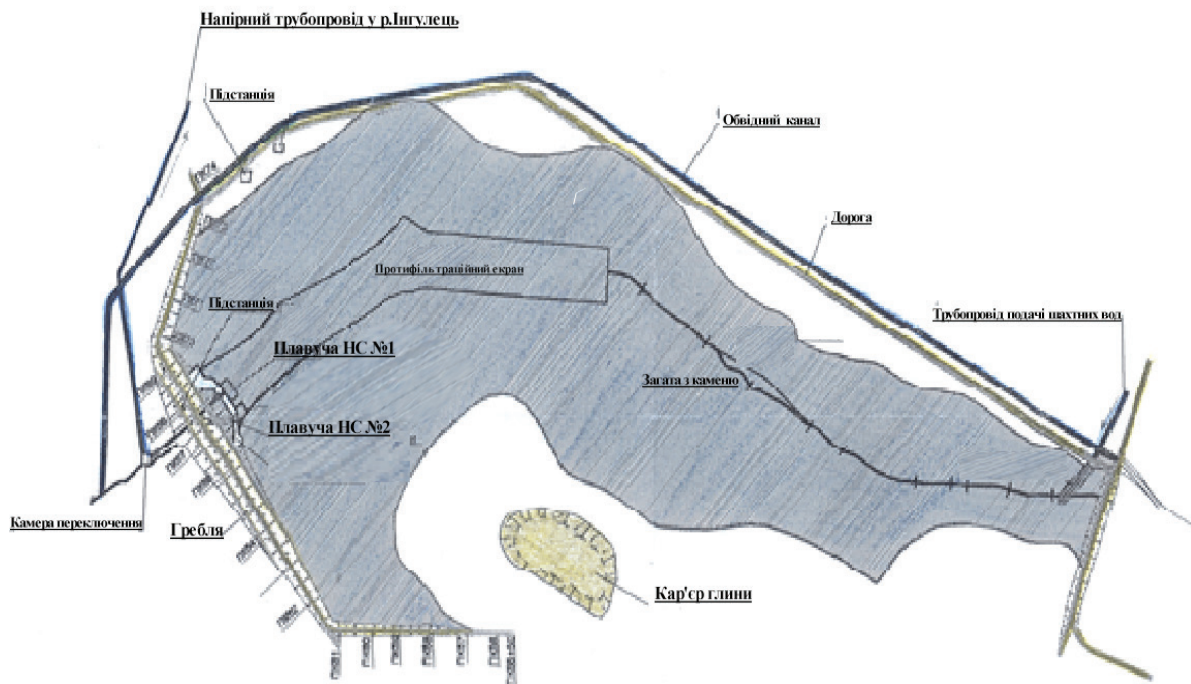
річки і його оздоровлення. Це забезпечує подачу води на Інгулецьку зрошувальну систему, попередження засолення та осолонцювання ґрунтів.

Накопичувач шахтних вод (рис. 1), що споруджений в балці Свистунова, розташований на південь від м. Кривий Ріг в Криворізькому (Широківському) районі Дніпропетровської області.

В ставок-накопичувач, який розміщений на лівому березі р. Інгулець, постійно надходять шахтні води з південної групи шахт. Через складні геологічні та гідрогеологічні умови в місці розташування ставок-



а)



б)

Рис. 1. Ставок – накопичувач шахтних вод у балці Свистунова:
а – розміщення ставка-накопичувача на місцевості; б – схема ставка-накопичувача

накопичувач шахтних вод обліковується як об'єкт незавершеного будівництва, на якому триває реалізація комплексних заходів із проведенням посиленого режиму спостережень та профілактичних ремонтних робіт із підтримки належного стану об'єкта. За таких обставин завжди існує ризик аварійних ситуацій. Тимчасово дозволений максимальний обсяг накопичення надлишків шахтних вод у ставку-накопичувачу складає 7,750 млн м³. Це відповідає позначці рівня води 86,00 м при відмітці гребня греблі 90,5 м. При цьому відмітка нормального підпірного рівня становить 88,5 м, а повний обсяг води – 12 млн м³ досягається при цій відмітці.

Останнім часом існує тенденція до поступового зменшення обсягів скидання надлишків зворотних вод зі ставка-накопичувача, що призводить до його стійкого та тривалого переповнення. Так, у січні 2018 р. переповнення сягало відмітки 11,570 млн м³, а в січні 2019 р. перевищило повний проєктний обсяг наповнення і сягнуло 13,375 млн м³, що створило значний екологічний ризик прориву греблі і створює загрозу виникнення техногенної катастрофи. З метою уникнення аварій на ставку-накопичувачу шахтних вод у балці Свистунова, недопущення виникнення надзвичайних ситуацій та техногенних катастроф, пов'язаних із затопленням навколишніх територій, зупинкою і затопленням діючих шахт та відпрацьованого підземного простору, у міжвегетаційний період передбачено попереджувальний принцип скидання шахтних вод у р. Інгулець. Скидання надлишків зворотних вод із метою їх розбавлення у міжвегетаційний період проводить Державне підприємство «Кривбасшахтозакриття» у відповідності з Постановою Кабінету Міністрів [1].

Актуальність дослідження. Акумуляція шахтних вод у ставку-накопичувачу вимагає також і економічних витрат, які здійснюються виключно за кошти гірничорудних підприємств. За рахунок коштів південної групи шахт проводять розбавлення високомінералізованих вод, що подаються зі ставка-накопичувача безпосередньо в річку Інгулець. У зв'язку з тим, що зворотні води надходять по єдиному трубопроводу у ставок-накопичувач від усіх підприємств разом, виникає необхідність розробки методів розрахунку пайової участі гірничорудних підприємств Кривбасу, що скидають воду в ставок-накопичувач.

Після завершення скиду і розбавлення вод гірничорудні підприємства забезпечують промивку та екологічне оздоровлення річки [2]. Це надає можливість у весняно-

літній період забезпечити необхідну якість води, придатність її для зрошення, рекреації та інших народногосподарських потреб. Кількість води, що надходить із Карачунівського водосховища для розбавлення, промивки та екологічного оздоровлення річки, суттєво залежить від її якості. Отже, при скиданні води ставиться завдання зниження її мінералізації, а при визначенні пайової участі слід враховувати як кількість, так і якість води кожного гірничорудного підприємства при акумуляції шахтних вод.

Тому актуальним є створення балансового методу водовідведення шахтних вод, за яким пайова частка гірничорудних підприємств Кривбасу визначається за часткою об'єму та часткою мінералізації води, що акумулюється в ставку-накопичувачу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Управління водними ресурсами басейну р. Інгулець передбачає інтегроване управління [3; 4; 5] з виділенням підходів [6] за рівнями ієрархії [7], за підсистемами [2], за видами управління, за водними, земельними та технологічними ресурсами [8; 9], за нелінійними критеріями прийняття рішень [10]. В системній моделі [2] передбачена підсистема екологічної безпеки. Необхідність такої підсистеми узгоджується з Директивою ЄС [11], згідно з якою екологічно ефективно водокористування повинно забезпечуватись досягненням доброго або відмінного стану річки. Це відповідає і Національній парадигмі сталого розвитку України [12].

У міжвегетаційний період вода скидається в р. Інгулець, де розбавляється до нормативів гранично допустимих скидів (ГДС). Процес розбавлення потребує розробки технологічної системи оперативного управління розбавленням. Невирішеним завданням є також і управління водовідведенням високомінералізованих шахтних вод у ставок-накопичувач у балці Свистунова. Тут потрібно визначити пайову участь підприємств за економічними і екологічними критеріями залежно від об'ємів скиду води та частки мінеральних речовин.

У вегетаційний період здійснюється промивання русла річки та її екологічне оздоровлення [13; 14]. Екологічне оздоровлення річок досягається промивкою з водосховищ їхніх русел від забруднення, а також водообміном у водосховищах [15]. Наведено екосистемний метод оцінювання якості води р. Ельби в результаті промивки під час повені [16], відомі промивки річок від малярійних комарів [17], від забруднення солоними

водами океанів [18], екологічне оздоровлення річок [2; 13; 14].

Мета досліджень – розробити та провести апробацію балансового методу розрахунку пайової участі гірничорудних підприємств, за яким здійснюється інтегроване управління водовідведенням за критеріями об'ємів та мінералізації шахтних вод, що акумулюються в ставку-накопичувачу.

1 Матеріали та методи.

1.1 Метод балансу за об'ємами води.

Водовідведення шахтних вод гірничорудних підприємств Кривбасу в ставок-накопичувач визначається балансовим рівнянням за об'ємами води:

$$m(V_1 + V_2 + \dots + V_n) = mV, \quad (1)$$

де m – вартість акумуляції 1 м³ води; V – загальний річний об'єм акумуляції надлишків вод всіма підприємствами; V_1, \dots, V_n – річні об'єми акумуляції вод кожним підприємством.

Поділимо рівняння (1) на mV . Тоді, як показує існуюча практика, методично частка участі (у %) кожного підприємства у формуванні сумарного об'єму скидів визначається як вектор:

$$\left(\frac{V_1}{V}, \frac{V_2}{V}, \dots, \frac{V_n}{V} \right) \cdot 100\%, \quad (2)$$

де $\frac{V_1}{V}, \frac{V_2}{V}, \dots, \frac{V_n}{V}$ є доданки балансового рівняння

$$\frac{V_1}{V} + \frac{V_2}{V} + \dots + \frac{V_n}{V} = 1. \quad (3)$$

1.2 Метод балансу за мінералізацією води

Проведемо формалізацію методу визначення пайової участі підприємств за показником мінералізації вод, що скидаються в ставок-накопичувач. Для цього розглянемо балансове рівняння, що містить концентрації мінеральних речовин:

$$m_1(C_1V_1 + C_2V_2 + \dots + C_nV_n) = mV, \quad (4)$$

де C_1, C_2, \dots, C_n – концентрації речовин, що скидаються підприємствами; m_1 – нормуючий множник $m_1 = \frac{mV}{\sum_{i=1}^n C_i V_i}$.

$$\sum_{i=1}^n C_i V_i$$

Підставивши m_1 у рівняння (4), одержимо тотожну рівність

$$m \left(\frac{C_1 V_1}{C_{\text{сум}}} + \frac{C_2 V_2}{C_{\text{сум}}} + \dots + \frac{C_n V_n}{C_{\text{сум}}} \right) = mV, \quad (5)$$

де концентрація суміші $C_{\text{сум}}$ акумульованих вод визначається за формулою:

$$C_{\text{сум}} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i V_i}{V}. \quad (6)$$

Поділивши обидві частини рівності (1) на mV , одержимо балансову рівність у частках одиниці:

$$\left(\frac{C_1 V_1}{C_{\text{сум}} V} + \frac{C_2 V_2}{C_{\text{сум}} V} + \dots + \frac{C_n V_n}{C_{\text{сум}} V} \right) = 1, \quad (7)$$

в якій відношення

$$k_i = \frac{C_i V_i}{C_{\text{сум}} V} \quad (8)$$

є часткою мінеральних речовин, яку вносить i -те підприємство при акумуляції стоків відносно загальної кількості мінеральних речовин в об'ємі V .

Як і у випадку відношення об'ємів, візьмемо частку відношення мінеральних речовин (8) як величину пайової участі гірничорудних підприємств за показником мінералізації стоків.

1.3 Інтегроване управління водовідведенням за об'ємами та мінералізацією вод

Нами запропоновано інтегрований підхід, за яким формалізується математична балансова модель, в якій підрахування частки участі підприємств у водовідведенні шахтних вод визначається сумісно за об'ємами та мінералізацією вод. В основу методу балансу покладено балансове рівняння за об'ємами (3) та балансове рівняння за часткою мінеральних речовин, що вносяться цим підприємством (7). Як і в методах двокритеріальної оптимізації [19], розглянемо лінійну згортку цих балансових рівнянь.

Для цього позначимо через λ , $0 \leq \lambda \leq 1 < \lambda < 1$ який ваговий коефіцієнт участі підприємств за величиною об'ємів, а $1-\lambda$ – коефіцієнт участі за величиною мінералізації.

Тоді, помноживши рівність (3) на λ , а рівність (7) на $1-\lambda$, та додаючи ці рівності, одержимо балансове рівняння

$$\begin{aligned} & \left(\left(\lambda + (1-\lambda) \frac{C_1}{C_{\text{сум}}} \right) \frac{V_1}{V} + \right. \\ & \left. + \left(\lambda + (1-\lambda) \frac{C_2}{C_{\text{сум}}} \right) \frac{V_2}{V} + \dots + \right. \\ & \left. + \left(\lambda + (1-\lambda) \frac{C_n}{C_{\text{сум}}} \right) \frac{V_n}{V} \right) = 1, \end{aligned} \quad (9)$$

в якому величина

$$k_i(\lambda) = \left(\lambda + (1-\lambda) \frac{C_i}{C_{\text{сум}}} \right) \frac{V_i}{V} \quad (10)$$

або

$$k_i(\lambda) = \lambda \frac{V_i}{V} + (1-\lambda) \frac{C_i}{C_{\text{сум}}} \frac{V_i}{V} \quad (11)$$

виражає пайову участь i -го гірничорудного підприємства за двома зваженими критеріями: часткою об'ємів води та мінералізацією вод.

2. Алгоритм розрахунку та результати досліджень

2.1. Алгоритм розрахунку пайової участі у водовідведенні шахтних вод підприємств за зваженими критеріями на основі лінійної згортки

Розглянемо основні кроки алгоритму розрахунків пайової участі гірничорудних підприємств Кривбасу сумісно за об'ємами та мінералізацією скидів, використовуючи запропоновані як проміжні підходи: за об'ємами скидів; за мінералізацією надлишкових зворотних вод.

Коефіцієнт λ визначається в (11) залежно від ваги кожного фактору: об'єму чи показника мінералізації вод. При $\lambda=1$ одержуємо крайній випадок – пайова участь визначається за величиною об'єму відведених вод; при $\lambda=0$ – інший крайній випадок – пайова участь підприємств здійснюється за показником мінералізації відведених вод. Оскільки зараз немає підстав вважати один із підходів (за відношенням об'ємів чи відношенням мінеральних речовин) більш актуальним, то обидва критерії визначення пайової участі (за об'ємами та мінералізацією) слід вважати рівноправними, при цьому $\lambda=0,5$. При $\lambda=0,5$ встановлюється певна лінійна комбінація однакового вагового впливу різних методичних підходів: за відношенням об'ємів або мінеральних речовин. Це і покладено в основу алгоритму.

В методиці запропонований підхід, що використовує відношення скидів кожного підприємства до загального об'єму акумульованих вод та відношення мінеральних речовин, скинутих кожним підприємством, до об'єму їх скидів усіма підприємствами при рівноправності цих підходів, тобто при $\lambda=0,5$.

Крок 1. Проводиться збір даних для розрахунку, визначаються обсяги скидів підприємствами, середньозважені за рік (або за розрахунковий період) концентрації акумульованих надлишків зворотних вод за показником мінералізації. Дані по кожному підприємству заносяться в таблицю 1.

Крок 2. Визначається концентрація суміші за показником мінералізації акумульованих стоків підприємств за формулою:

$$C_{\text{сум}} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i V_i}{\sum_{i=1}^n V_i} \quad (12)$$

Дані розрахунку $C_{\text{сум}}$ заносяться в таблицю 1.

Крок 3. Проводиться розрахунок відношення зворотних вод за об'ємами $\frac{V_i}{V}$ $i=1, \dots, n$ для всіх підприємств. Дані розрахунків заносяться (у відсотках) у таблицю 1.

Крок 4. Проводиться розрахунок відношення концентрацій C_i кидів підприємств до концентрації суміші $C_{\text{сум}}$. Згідно з методичним підходом визначення пайової участі за мінералізацією вод проводиться розрахунок відношення:

$$\frac{C_i}{C_{\text{сум}}} \frac{V_i}{V} \quad i=1, \dots, n, \quad (13)$$

де $C_i V_i$ сума мінеральних речовин, що скидається i -м підприємством; $C_{\text{сум}} V$ сума мінеральних речовин, що скидається всіма підприємствами в об'ємі V .

Дані розрахунків (у відсотках) заносяться в таблицю 1.

Крок 5. Використовуючи проміжні розрахунки за відношенням об'ємів та відношенням мінеральних речовин, розраховується сумісно за об'ємами та мінералізацією скидних вод частка пайової участі підприємств за виразом (табл. 1):

$$0,5 \left(\frac{V_i}{V} + \frac{C_i V_i}{C_{\text{сум}} V} \right) * 100\% \quad (14)$$

або

$$0,5 \left(1 + \frac{C_i}{C_{\text{сум}}} \right) \frac{V_i}{V} * 100\%. \quad (15)$$

Блок-схема розрахунку пайової участі гірничорудних підприємств Кривбасу при акумуляції надлишків зворотних вод в ставку-накопичувачі наведена на рис. 2.

Для розрахунків пайової участі гірничорудних підприємств Кривбасу при акумуляції надлишкових зворотних вод в ставку-накопичувачі балки Свистунова були вибрані вихідні дані за об'ємами скидів та мінералізацією цих вод у 2019 р. Результати розрахунків наведені в таблиці 1.

2.2. Результати досліджень

Наводиться приклад розрахунку пайової участі південної групи шахт Кривбасу за різними методичними підходами (табл. 1).

Дослідження показали, що в рівності (10) важливу роль відіграє зважена за згорткою критеріїв ціна за водовідведення 1 м^3 води (в частках 1, тобто при $m=1$):

Таблиця 1

Вихідні дані та результати розрахунків пайової участі гірничорудних підприємств Кривбасу при акумуляції надлишкових зворотних вод в ставку-накопичувачу балки Свистунова за об'ємами та мінералізацією в 2019 році

№ п/п	Назва підприємств	Вихідні дані		$\frac{C_i}{C_{\text{сум}}}$	Пайова участь		
		Обсяги відкачок, V_i ,	Концентрації, C_i , мг/дм ³		$\frac{V_i}{V} \times 100\%$	$\frac{C_i V_i}{C_{\text{сум}} V} \times 100\%$	$0,5 \left(\frac{V_i}{V} + \frac{C_i V_i}{C_{\text{сум}} V} \right) \times 100\%$
	ПАТ «Кривбасзалізрудком», в т.ч.	5086779					
1	ш. «Жовтнева»	830378	52824	1,66	9,47	11,84	7,11
2	ш. «Родіна»	4256401	37818	1,19	39,95	43,45	36,45
3	ПрАТ «Суша балка» ш. ім. Фрунзе	1810308	24945	0,78	13,84	12,19	15,52
4	ШУПАТ «Арселор Міттал Кривий Ріг»	2249850	29627	0,93	18,65	18,01	19,26
5	ПРАТ «ЦГЗК»	2530011	21259	0,67	18,09	14,51	21,66
	РАЗОМ	11676948	$C_{\text{сум}} = 31723$		100	100	100

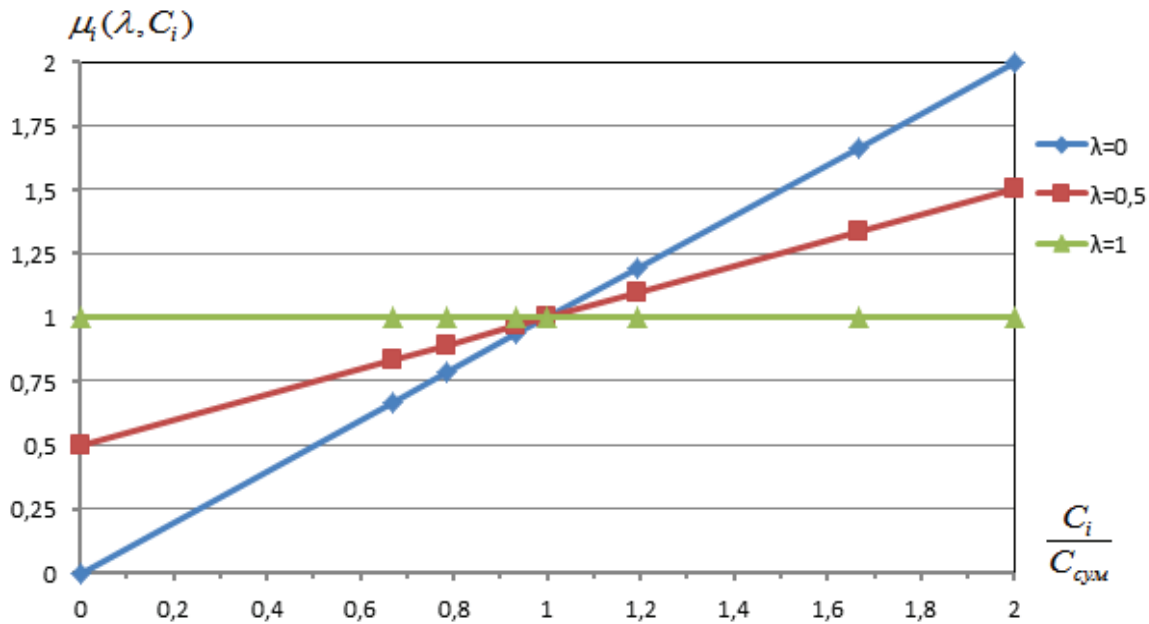


Рис. 2. Залежність зваженої за згорткою критеріїв ціни за водовідведення 1 м³ води від відношення концентрації C_i до концентрації суміші мінеральних речовин $C_{\text{сум}}$, кумульованих різними підприємствами

$$\mu_i(\lambda, C_i) = \lambda + (1 - \lambda) \frac{C_i}{C_{\text{сум}}} \quad (16)$$

Вона може бути меншою одиниці (при $C_i < C_{\text{сум}}$), рівною одиниці (при $C_i = C_{\text{сум}}$) та більшою одиниці (при $C_i > C_{\text{сум}}$). Побудовані графічні залежності зваженої ціни від концентрації $\frac{C_i}{C_{\text{сум}}}$ мінеральних речовин при різних

параметрах λ (рис. 2) відображають лінійні зв'язки. При цьому зважена ціна, як правило, збільшується при збільшенні показника мінералізації.

Тому пайова частка підприємств, які мають підвищену у скидній воді порівняно з $C_{\text{сум}}$ мінералізацію, збільшується (табл. 1). Навпаки, зменшується частка пайової участі для підприємств і є зниженою, порівняно

з $C_{\text{сум}}$, мінералізацією. Якщо всі підприємства мають однакову мінералізацію, тобто $\frac{C_i}{C_{\text{сум}}}$, розподіл пайової участі відбувається фактично за часткою об'ємів скидних вод.

Залежність (16) показує, що при параметрах λ близьких до одиниці стимулюється водовідведення в ставки-накопичувачі за об'ємами вод. При λ близьких до нуля перевагу одержують підприємства, технологічні та організаційні заходи яких націлені на зменшення концентрації мінеральних речовин у стічних водах.

Перспективи подальших досліджень. В перспективі необхідно розробити теорію платного водокористування та водовідведення в умовах незадовільної якості води. Невирішеним завданням у басейні р. Інгулець залишається розробка технологічної системи управління розбавленням високомінералізованих шахтних вод, щорічне визначення об'ємів води для розбавлення, промивання та екологічного оздоровлення річки.

Висновки. Запропонований балансний метод дозволяє визначити пайову участь гірничорудних підприємств Кривбасу в управ-

лінні водовідведенням шахтних вод в ставок-накопичувач. Інтегрований підхід за згортокою двох балансних рівнянь, за часткою об'ємів та часткою мінеральних речовин, забезпечує управління сумісно за екологічними та економічними критеріями. Це стимулює підприємства до зменшення об'ємів скидів зворотних вод в ставок-накопичувач, а за екологічним критерієм – до запровадження технологій, що знижують мінералізацію цих вод.

Ми рекомендуємо зважений метод, за яким 50% плати за водовідведення надлишкових шахтних вод здійснюється за об'ємами та 50% за показником мінералізації ($\lambda=0,5$). Проте надалі необхідно враховувати також інші показники якості води, як окремо, так і при їх взаємодії.

На основі лінійної згортки балансних рівнянь обґрунтовано алгоритм розрахунку пайової участі підприємств, що базується на рівноправному врахуванні критерію частки об'ємів та критерію частки мінеральних речовин. Це дозволило провести практичні розрахунки пайової участі підприємств південної групи шахт Кривбасу сумісно за об'ємами та мінералізацією вод, що акумулюються в ставку-накопичувачу балки Свистунова.

Бібліографія

1. Розпорядження Кабінету Міністрів України №1670-р від 28.12.2020 року «Про запобігання виникненню аварійної ситуації на ставку-накопичувачу, розташованому на території Криворізького району Дніпропетровської області».
2. Системна модель інтегрованого управління водними ресурсами р. Інгулець за басейновим принципом / Kovalchuk, V., Kovalchuk, P., Yatsyuk, M., Kovalenko, R., Demchuk, O., & Balykhina, H. // *Меліорація і водне господарство*, 2020. (1), 37–48. <https://doi.org/10.31073/mivg202001-219>
3. Dukhovny, V., Sokolov, V., Manthrililake, H.: *Integrated Water Resources Management: Putting Good Theory into Real Practice. Central Asian Experience. SIC ICWC, Tashkent (2009)*.
4. Сташук В., Яцик А. Україна на шляху до басейнового принципу управління водними ресурсами // *Водне господарство України*, 2007. № 4. С. 6–10.
5. Климчик О.М., Пінкіна Т.В., Пінкін А.А. Впровадження системи інтегрованого управління водними ресурсами за басейновим принципом // *Scientific Journal «ScienceRise»*. 2018. №4(45). С. 36–40.
6. Закон України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо впровадження інтегрованих підходів в управлінні водними ресурсами за басейновим принципом» від 4 жовтня 2016 року № 1641-VIII.
7. Ковальчук П.І., Ковальчук В.П. Системне управління як розвиток інтегрованого управління водним режимом меліорованих територій // *Вісник НУВГП*. 2015. Вип. 3(71). Сер. Технічні науки.
8. Ковальчук П.І., Коваленко Р.Ю., Балихіна Г.А. Методологічні особливості концепції системного управління водними ресурсами за басейновим принципом // *Меліорація і водне господарство*. Київ : Аграрна наука. 2018. № 1(107). С. 17–23. DOI : <https://doi.org/10.31073/mivg201801-115>
9. Системне моделювання і управління водо- і землекористуванням : монографія. / Ковальчук П.І., Матяш Т.В., Ковальчук В.П., Демчук О.С., Балихіна Г.А., Герус А.В., Пендак Н.В. Київ : Аграрна наука, 2019. 608 с.

10. Kovalchuk P., Kovalenko R., Kovalchuk V., Demchuk O., Balykhina H. (2021) Integrated Water Management and Environmental Rehabilitation of River Basins Using a System of Non-linear Criteria. In : Hu Z., Petoukhov S., Dychka I., He M. (eds) *Advances in Computer Science for Engineering and Education III. ICCSEEA 2020. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 1247. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-55506-1_4
11. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy // *Official Journal of the European Communities*. 22.12.2000, ENL327/1.
12. Національна парадигма сталого розвитку України ; за заг. ред. акад. НАН України, д-ра техн. наук, проф. Б.Є. Патона. Вид. 2-ге, перероб. і доп. Київ : Державна установа «Інститут економіки природокористування та сталого розвитку Національної академії наук України», 2016. 72 с.
13. Бурлака В.О. Промивка р. Інгулець у 2011 році // *Водне господарство України*. 2011. № 5. С.17–18.
14. Бабій П.О., Лисюк О.Г. Рукотворна повінь на р. Рось // *Водне господарство України*. 2010. № 5. С. 4–6.
15. Kovalchuk, P., Rozhko, V., Kovalchuk, V., Balykhina, H., & Demchuk, O. (2019, September). Optimization of integrated water exchange management technologies in territorial systems for conditions of sustainable development. In 2019 IEEE 14th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT) (Vol. 1, pp. 80–83). IEEE.
16. Keller I., Schwartz R. “Instrument of the integrated pollutant/sediment management in the Elbe catchment area”, International Conference RIVER BASINS 2015. Monitoring, Modelling & Management of Pollutants. June 24th and 25th 2015. Germany, Karlsruhe – 2015, pp. 67–74.
17. «Investigation of Options to increase the flood mitigation performance of Wivenhoe Dam», Final Report. Brisben: GHD, pp. 146 (2011).
18. «Environmental assessment accelerated Mahaweli development program» in US Agency for International Development, New York : TAMS, pp. 389, (1980).
19. Подиновский В.В., Ногин В.Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. Москва : Наука, 1982. 253 с.

References

1. Rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy «Pro zapobihannia vynyknenniu avariinoi situatsii na stavku-nakopychuvachu, roztashovanomu na terytorii Kryvorizkoho raionu Dnipropetrovskoi oblasti» vid 28.12.2020 roky №1670-r. [Ordinance of the Cabinet of Ministers of Ukraine «About accident prevention within storage pond is on Kryvyi Rih district of the Dnipropetrovsk region» of December 28, 2020, №1670-r]. [in Ukrainian]
2. Kovalchuk, V., Kovalchuk, P., Yatsyuk, M., Kovalenko, R., Demchuk, O., & Balykhina, H. (2020). System model of integrated management of the water resources of the Ingulets River by a basin principal. *Land Reclamation and Water Management*, (1), 37–48. <https://doi.org/10.31073/mivg202001-219>
3. Dukhovny, V., Sokolov, V., & Manthritilake, H. (2009). *Integrated Water Resources Management: Putting Good Theory into Real Practice. Central Asian Experience*. Tashkent: SIC ICWC.
4. Stashuk, V.A., & Yatsyk, A.V. (2007). Ukraine na shlyahu do baseynovoho pryntsyupu upravlinnia vodnymy resursamy [Ukraine is on the way toward the basin principle of water resources management]. *Vodne gospodarstvo Ukrainy*, 4, 6–10. [in Ukrainian]
5. Klymchuk, O.M., Pinkina, T.V., & Pinkin, A.A. (2018). Vprovadzhennia systemy integrovanooho upravlinnia vodnymy resursamy za baseinovym pryntsepom [Adaptation of the integrated water resources management system based on the basin principle]. *Scientific Journal Science Rise*, 4(45), 36–40. [in Ukrainian]
6. Zakon Ukrainy «Pro vnesennia zmin do deiakyh zakonodavchyh aktiv Ukrainy shchodo vprovadzhennia integrovanyh pidhodiv v upravlinni vodnymy resursamy za baseinovym pryntsepom» vid 4 zhovtnia 2016 roky № 1641-VIII. [The Law of Ukraine «On Amendments to Certain Legislative Acts of Ukraine on Implementation of Integrated approaches to the of Water Resources Management based on basin principle» of October 4, 2016, No. 1641-VIII]. [in Ukrainian]
7. Kovalchuk, P.I., & Kovalchuk V.P. (2015). Systemne upravlinnia yak rozvytok integrovanooho upravlinnia vodnym rezhytom meliorovanyh terytorii [System management as the integrated management development of the water regime of the reclaimed area]. *Visnyk NUVGP*, 3(71), 19–23. [in Ukrainian]

8. Kovalchuk, P., Kovalenko, R., & Balykhina, H. (2018). Methodological features of the concept of water use system management using basin principle. *Land Reclamation and Water Management*, 107(1), 17–23. <https://doi.org/10.31073/mivg201801-115>. [in Ukrainian]
9. Kovalchuk, P.I., Matiash, T.V., Kovalchuk, V.P., Demchuk, O.S., Balykhina, H.A., Gerus, A.V., & Pendak, N.V. (2019). *Systemne modeliuвання i upravlinnia vodo- i zemlekorystuvanniam : monohrafiia*. Kyiv : Ahrarna nauka. [in Ukrainian]
10. Kovalchuk P., Kovalenko R., Kovalchuk V., Demchuk O., & Balykhina H. (2021) Integrated Water Management and Environmental Rehabilitation of River Basins Using a System of Non-linear Criteria. In: Hu Z., Petoukhov S., Dychka I., He M. (eds) *Advances in Computer Science for Engineering and Education III. ICCSEE 2020. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 1247. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-55506-1_4
11. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. (2000). *Official Journal of the European Communities*, ENL327/1.
12. Institute of Environmental Economics and Sustainable Development of the National Academy of Sciences of Ukraine» (2016). *National paradigm of sustainable development for Ukraine*. Kyiv. [in Ukrainian]
13. Burlaka, B. (2011). The flushing Inhulets river in 2011. *Water Management of Ukraine*, 5, 17–18. [in Ukrainian]
14. Babiy, P.O., & Lisyuk, O.G. (2010). Man-made flood on the river Ros. *Water management of Ukraine*, 5, 4–6. [in Ukrainian]
15. Kovalchuk, P., Rozhko, V., Kovalchuk, V., Balykhina, H., & Demchuk, O. (2019, September). Optimization of integrated water exchange management technologies in territorial systems for conditions of sustainable development. 14th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies, Vol. 1, 80–83.
16. Keller I., & Schwartz R. (2015) Instrument of the integrated pollutant/sediment management in the Elbe catchment area. *International Conference RIVER BASINS 2015: Monitoring, Modelling & Management of Pollutants*. Germany, Karlsruhe, 67–74.
17. Investigation of Options to increase the flood mitigation performance of Wivenhoe Dam. (2011). *Final Report*. Brisbane: GHD, pp. 146.
18. Environmental assessment accelerated Mahaweli development program. (1980). US Agency for International Development. New York : TAMS.
19. Podinovskiy, V., Noghin, V. (1982). Pareto optimal solution for multicriterion problems. Moscow : Nauka. [in Russian]

**П.И. Ковальчук, В.В. Стеценко, А.А. Балыхина,
В.П. Ковальчук, Е.С. Демчук**

**Балансовый метод интегрированного управления водоотведением
по объемам и минерализацией шахтных вод в бассейне р. Ингулец**

Аннотация. Рассмотрен балансовый метод определения долевого участия предприятий Кривбасса по объемам аккумуляции шахтных вод в пруде-накопителе. Формализован балансовый метод участия горнорудных предприятий с учетом доли минеральных веществ. Разработан интегрированный подход к управлению водоотведением в пруд-накопитель на основе линейной свертки двух балансовых уравнений, который учитывает совместно долю объемов вод и величину минерализации в сбросах предприятий, а также включает выбор долевого участия в водоотведении шахтных вод по экономическим и экологическим критериям. Обоснован алгоритм долевого участия горнорудных предприятий Кривбасса на принципах равноправия двух критериев. Проведены практические расчеты доли аккумуляции сбросных вод в пруде-накопителе балки Свистунова. Рассмотрена взвешенная по двум критериям цена за водоотведение 1 м³ воды в пруд-накопитель. Критериями являются объемы откачанной воды и величина минерализации. Построены графические зависимости взвешенной цены, которые учитывают отношение концентрации сбросов различных предприятий к концентрации смеси. Используются различные коэффициенты взвешивания: платное водоотведение по доле объемов вод; оценка водоотведения только по величине минерализации вод; равноправный подход по доле объемов (50%) и минеральных веществ (50%). Расчеты показали работоспособность алгоритма, возможность его использования предприятиями для интегрированного управления водоотведением шахтных вод по критериям объемов и минерализации. Предложенный балансовый метод легко обобщить и на другие показатели качества воды (хлориды, сульфаты и др.), которые

являются в определенной задаче наиболее актуальными для определения долевого участия предприятий. В перспективе необходимо разработать теорию платного водопользования и водоотведения на фоне неудовлетворительного качества воды с учетом интегрированного подхода при различных показателях и их совокупности, то есть многокритериальную оценку водоотведения и аккумуляции шахтных вод.

Ключевые слова: балансовые методы, экологические и экономические критерии, интегрированное управление, минерализация шахтных вод, разбавление шахтных вод, линейная свертка критериев

P.I. Kovalchuk, V.V. Stetsenko, H.A. Balykhina,
V.P. Kovalchuk, O.S. Demchuk

**Balance method of integrated control of mine water removal
by the volumes and mineralization rate within the Ingulets river basin**

Abstract. The balance method of determining the share of Kryvyi Rig Basin enterprises by the accumulated volume of mine water in the storage pond was considered. The balance method of participation of mining enterprises by the shares of mineral substances was formalized. An integrated approach of the control of water removal into the storage pond when using linear convolution of two balance equations by both the share of water volumes and the mineralization rate in the water discharges of enterprises was developed. It takes into account the choice of equity participation in mine water removal by economic and environmental criteria. The algorithm of equity participation of mining enterprises of Kryvyi Rih Basin on the principles of equality of two criteria was substantiated. The calculations of the share of discharge water accumulation in the storage pond of the Svistunov gully were carried out. The estimated price for water removal of one cubic meter of water into the storage pond by two criteria was considered. The estimation criteria are the volumes of pumped water and mineralization rate. Graphical dependences of the estimated price on the ratio of discharges concentration of different enterprises to the mixture concentration were built. Different estimation coefficients were used: paid water removal by water volumes; assessment of water removal only by mineralization rate; equal approach by the volumes (50%) and mineralization rate (50%). The calculations showed the efficiency of the algorithm, the applicability of its use by enterprises for integrated control of mine water removal by the criteria of volume and mineralization rate. The proposed balance method can be easily generalized when using other indicators of water quality (chlorides, sulfates, etc.), which are considered to be the most relevant for determining the equity participation of enterprises. In the future it is necessary to develop a theory of paid water use and water removal in conditions of unsatisfactory water quality, taking into account the integrated approach by different indicators that means multi-criteria assessment of water removal and accumulation of mine water.

Key words: balance methods, ecological and economic criteria, integrated control, mineralization of mine water; dilution of mine water; linear convolution of criteria

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202101-271>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/271>

УДК 556.53 (282.247.32)

УТОЧНЕННЯ ПАРАМЕТРІВ КАМ'ЯНСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА

В.І. Вишневський¹, докт. геогр. наук, В.В. Дем'янов², гідролог

¹ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-4459-6331>; e-mail: vishnev.v@gmail.com;

² ДРПВІ «Дніпродіпроводгосп», Дніпро, Україна;
dem@giprovod.biz

Анотація. За сучасною Річковою навігаційною картою Дніпра та супутниковими знімками уточнено основні параметри Кам'янського водосховища – складову Дніпровського каскаду. Встановлено, що ці параметри істотно різняться від тих, що отримані раніше і, зокрема, наведені у Правилах експлуатації водосховищ Дніпровського каскаду. Найважливіші параметри Кам'янського водосховища для умов НПП такі: площа акваторії (водного дзеркала) – 537 км², об'єм повний – 2636 млн м³, об'єм корисний – 495 млн м³. висловлено думку про те, що невелике збільшення повного об'єму, порівняно з проектним, зумовлено значним видобутком будівельної сировини з dna водосховища. Довжина водосховища, залежно від підходів її визначення, перебуває в межах 119–137 км. Зазначено, що максимальна глибина водосховища (23 м) істотно більша, ніж у довідкових джерелах. Істотно більшою, ніж вважається, є також середня глибина – 5,8 м. Наведено параметри водосховища, які раніше залишалися поза увагою дослідників. Таким параметром, зокрема, є площа островів, яку визначено величиною 48,9 км². Площа мілководь із глибинами менше 2 м становить 152,4 км². Переважно вони зосереджені у верхній та середній частинах водосховища – насамперед біля лівого берега. Важливим параметром є також поперечний переріз головного плеса водосховища, у межах якого відбувається основний рух води. Залежно від того, якою вважають довжину водосховища, цей переріз у середньому становить 17,9–20,6 тис. м². Найменший переріз характерний для верхньої частини водосховища, що визначає можливість швидкості течії понад 1,0 м/с. Зроблено висновок про те, що наявні Правила експлуатації водосховищ Дніпровського каскаду не відповідають сьогоденню і потребують докорінної переробки. Обов'язковою вимогою до нових правил є уточнення параметрів водосховищ Дніпровського каскаду.

Ключові слова: Кам'янське водосховище, параметри, навігаційна карта, правила експлуатації

Актуальність дослідження. Каскад дніпровських водосховищ – найважливіша складова водогосподарського комплексу України, який використовується у багатьох сферах: водному господарстві, гідроенергетиці, річковому транспорті, рибному господарстві, рекреації. Саме з Дніпровського каскаду беруть початок найбільші канали України: Північнокримський, Головний Каховський магістральний та ін. Зокрема з Кам'янського водосховища бере початок канал Дніпро–Донбас. Незважаючи на таке важливе значення, параметри дніпровських водосховищ практично ніколи не уточнювалися. Відомо лише кілька ініціативних праць [1; 2; 4; 10; 11], результати яких не стали нормативними. Нині розпочато підготовчу роботу з розробки нових правил експлуатації дніпровських водосховищ, за якими вони мають експлуатуватися в найближчі десятиліття. Потреба в уточненні параметрів Кам'янського водосховища полягає ще й у тому, що найближчим часом в його верхній частині має розпочатися будівництво нового

мосту в м. Кременчук. У будь-якому разі уточнені параметри Кам'янського водосховища мають враховуватися в оперативній роботі Державного агентства водних ресурсів, при складанні водного балансу водосховища та ін.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Існує кілька відомих і важливих праць, які стосуються порушеного питання. Насамперед потребують згадки видання «Каскад Днепровских водохранилищ» [7] та «Правила експлуатації водосховищ Дніпровського каскаду» [8]. Варто звернути увагу на рік виходу у світ цих видань: 1976-й і 2003-й. Важливим є також той факт, що у згаданих виданнях наведено проектні параметри водосховищ, яким, за винятком Канівського, понад півстоліття. Зокрема Кам'янське водосховище було запроектовано у 1950-х роках, а заповнене в середині 1960-х. В обох цих документах не зазначено, чи врахована площа островів. Для Кам'янського водосховища це дуже важливий показник, адже площа островів в його межах (насамперед у верхній частині) дуже значна.

Увага до розмірів Кам'янського водосховища приділена також у праці [4], яка спирається на використання супутникових знімків. Дослідження виконано щодо площі акваторії без островів. Крім того, у праці не враховано площу лиманного господарства біля с. Успенка, що відокремлено дамбою від основної акваторії. Шукана площа акваторії (водного дзеркала) за умов НПР (64,0 м) становить 526 км² (рис. 1).

Окремо може бути згадана також стаття [2], яка містить результати досліджень площі Дніпровського і Каховського водосховищ. Встановлено, що площа Дніпровського водосховища істотно менша від даних видань [7; 8] і водночас близька до наведених у праці [4]. Додамо, що увага до площі водосховищ (зокрема Київського) приділена також у працях [1; 10; 11]. Встановлено, що, порівняно з первісною, ця площа істотно зменшилася. Щодо Київського водосховища це не викликає сумніву, адже внаслідок надходження великого обсягу наносів разом зі стоком Верхнього Дніпра та Прип'яті, воно інтенсивно замулюється і заростає.

Метою дослідження є уточнення параметрів Кам'янського водосховища, як важливої складової Дніпровського каскаду.

Матеріал і методика досліджень. Основним джерелом стали результати вишукувань, за якими було укладено «Річкову навігаційну карту Дніпродзержинського водосховища та гирлової частини р. Ворскла» [9].

Після оприлюднення цієї карти назву водосховища було змінено на Кам'янське. Додамо, що ця карта міститься на 17 окремих аркушах. У статті також використано супутникові знімки та раніше видані праці.

Спираючись на згадану карту [9], у межах Кам'янського водосховища виділено три частини: верхню – від Кременчуцької ГЕС до о-ва Стрілецький, середню – від о-ва Стрілецький до Орликівського кар'єру і нижню – від Орликівського кар'єру до Середньодніпровської ГЕС. Кожна з цих частин частин поділялася ще на кілька ділянок, у межах яких визначались їх довжина, площа водного дзеркала, островів, мілководь, об'єм води, довжина берегової лінії, ширина водного дзеркала. За цим розраховувалися результуючі дані для всього водосховища. Усі величини було приведено до НПР водосховища.

Межі водосховища в місцях впадіння найбільших приток прийнято такими: Псел – до верхньої околиці с. Потоки, Ворскла – до автодорожнього мосту між селами Вільховатка і Лучки. Як і у праці [4], площа лиманного господарства біля с. Успенка не враховувалась.

У дослідженні використано програми AutoCad, SAS.Planet, Microsoft Excel.

Результати дослідження та їх обговорення. Основна увага в дослідженні приділена найважливішим параметрам Кам'янського водосховища: довжині, площі акваторії, об'єму та ін.

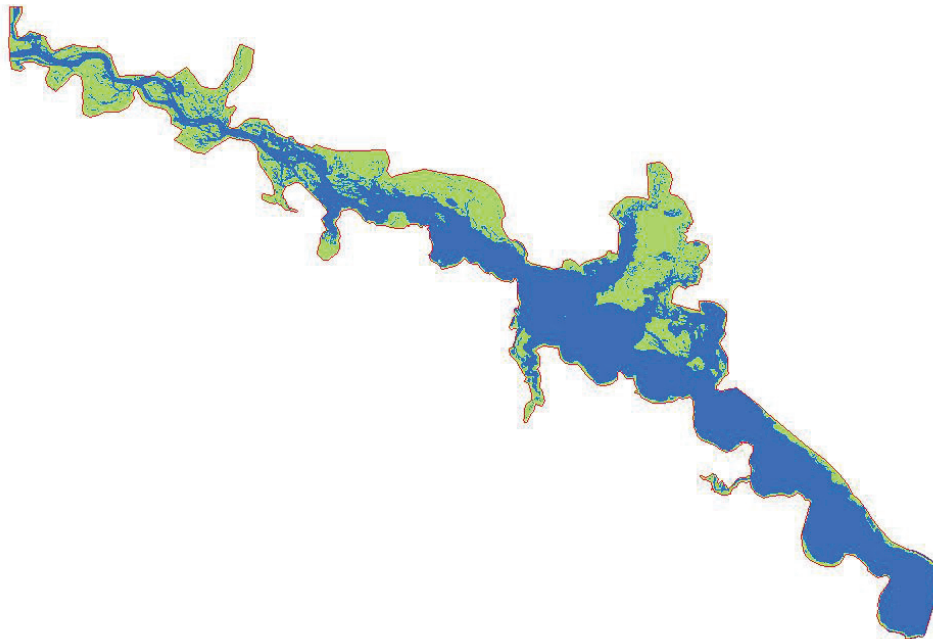


Рис. 1. Акваторія Кам'янського водосховища (виділено синім), врахована при визначенні його площі [4]

Довжина. Може здатися, що визначення цього параметра належить до найпростіших. Проте тут неодмінно виникає питання за якою лінією її визначати. Ця лінія може відповідати судноплавному ходу, проходити по середині акваторії, відповідати затопленому руслу Дніпра. Польові дослідження, виконані автoрами на Кам'янському водосховищі, показали, що рух води у ньому тяжіє до затопленого русла Дніпра. Зрозуміло, що довжина цієї лінії найбільша і в дослідженому водосховищі становить 137 км. Водночас лінія, що приблизно відповідає судноплавному ходу, дещо коротша – 119 км. Ще меншою (114 км) є довжина по осі водосховища, наведена у працях [3; 7] (табл. 1).

Площа акваторії. Цей параметр визначено не лише в межах виділених ділянок, а й для основної частини (головного плеса) водосховища та його заток. Більшу площу мають лівобережні затоки водосховища, оскільки його лівий берег пологіший за правий. Найбільшу площу має лівобережна Ворсклянська затока. Значно меншою є правобережна затока біля с. Мишуриг. Шукана площа акваторії водосховища становить 536 км², що майже збігається з результатом (526 км²), отриманим у праці [4] за супутниковими знімками.

Водночас отриману площу складно порівнювати з тією, що наведена у джерелах [3; 6–8], оскільки невідомо чи врахована в них площа островів. Додамо, що протягом періоду існування водосховища окремі його ділянки було штучно відокремлено, інші, навпаки, зазнали розмиву.

Площа островів. Характерною особливістю Кам'янського водосховища є велика площа островів, яких найбільше в його верхній частині. Найбільшими з них є Стрілецький, Крячковський, Москаль. Сумарна площа островів за умов НПП становить 48,9 км², або приблизно 9% від площі водосховища.

Площа мілководь. Площа мілководь, тобто акваторії з глибинами менше 2 м, становить 152,4 км², або понад 28% всієї акваторії. Переважно мілководдя зосереджені у верхній і середній частинах водосховища – насамперед біля лівого берега.

Об'єм повний і корисний. Повний об'єм водосховища, визначений за річковою навігаційною картою, становить 2636 млн м³. Цей об'єм складається з об'єму головного плеса та об'єму заток: відповідно 2451 і 185 млн м³. Найбільшою є Ворсклянська затока, об'єм якої 47,5 млн м³. Загалом об'єм заток у водосховищі порівняно незначний, адже невеликими є й глибини в їх межах.

Зазначимо, що отриманий повний об'єм водосховища (2636 млн м³) дещо більший, ніж у часто згаданих працях [7; 8]. На цей об'єм могло вплинути замулення водосховища і водночас видобуток алювію. Щодо замулення, то воно не може бути значним, адже дещо раніше за Кам'янське водосховище вище за течією було створено велике Кременчуцьке, яке практично перехопило всі наноси. Дуже зарегульованими є й притоки, зокрема Псел і Ворскла. З іншого боку, Кам'янське водосховище відоме своїми

1. Основні параметри Кам'янського водосховища для умов НПП

Параметр	[7]	[8]	За цими дослідженнями
Довжина по осі, км	114	–	–
по середній лінії, км	–	–	119
по затопленому руслу Дніпра, км	–	–	137
Середня ширина, км	5,1	–	3,1
Максимальна ширина, км	8,0	–	8,5
Площа, км ²	567 (?)	567 (?)	585
Площа островів, км ²	–	–	48,9
Площа акваторії, км ²	–	–	536
Площа мілководь, км ²	–	–	152,4
Середня площа водного перерізу головного плеса, м ²	–	–	17900 / 20600
Глибина середня, м	4,3	4,3	5,8
Глибина максимальна, м	16	14	23,2
Об'єм, млрд м ³	2,45	2,40	2,636
Корисний об'єм, млн м ³	–	–	495
Довжина берегової лінії, загалом, км	–	–	1819
головного плеса, км	–	360	301

значними родовищами будівельної сировини. За даними Публічної кадастрової карти України, найбільшими є Крячнівське і Верхньодніпровське, загальний об'єм яких перевищує 200 млн м³. Важливо, що ці родовища інтенсивно розробляються. Зокрема лише в 2017 р. видобуток сировини у згаданих родовищах становив: Крячнівське – 323, Верхньодніпровське – 110 тис. м³ (разом – 433 тис. м³). Зрозуміло, що за десятиліття розробки цих та інших родовищ об'єм видобутку сировини з дна водосховища становить багато мільйонів кубічних метрів.

Щодо корисного об'єму, то у «Правилах...» [8] він не зазначений. Щоправда, на стор. 17 можна знайти такі слова: «спрацювання водосховища на 1 м призводить до можливості використання лише 0,52 км³ води». Водночас на рисунку, вміщеному на стор. 68 «Правил...», показано, що НПП становить 63,5 м. Як видно, одне положення документа суперечить іншому.

Додамо, що у праці [4] з посиланням на дані ПАТ «Укргідропроєкт» вказано, що РМО водосховища становить 63,0 м, а корисний об'єм 0,53 км³.

За нашими даними корисний об'єм Кам'янського водосховища в діапазоні рівнів від 63,0 до 64,0 м становить 495 млн м³.

Глибина середня і максимальна. Середня глибина Кам'янського водосховища (5,8 м) визначена шляхом ділення його об'єму (2636 млн м³) на площу акваторії (537 км²). Що ж до максимальної глибини, то її чітко показано на навігаційній карті у верхньому б'єфі Середньодніпровської ГЕС – 23 м. Це значно більше, ніж зазначено у виданнях «Каскад...» – 16 м [7] і «Правилах...» [8] – 14 м. Власне, малоімовірно є те, що підняття рівня води у водосховищі на 12 м могло спричинити появу максимальних глибин лише 14 чи 16 м. У природних умовах до створення водосховища глибина Дніпра тут сягала близько 10 м.

Довжина берегової лінії. Визначаючи цей параметр, основну увагу звичайно зосереджують на довжині берегів без заток та островів. У Кам'янському водосховищі ця довжина стано-

вить: лівого берега – 149 км, правого – 152 км. Це близько до відомостей (сумарно – 360 км), наведених у [8]. Проте, вочевидь, що водосховище має ще затоки та острови, які також мають береги. Їх довжина становить відповідно 729 і 790 км. Загальна довжина берегів Кам'янського водосховища сягає 1819 км.

Поперечний переріз. Цей параметр у жодній з відомих авторам праць не наведений. Його встановлено шляхом ділення об'єму головного плеса водосховища (2451 млн м³) на його довжину. У разі прийняття довжини водосховища залінією затопленого русла Дніпра (137 км) цей переріз дорівнює 17,9 тис. м², за коротшою лінією (119 км) – 20,6 тис. м². За цими даними можна встановити якою є середня швидкість течії у водосховищі. Загалом вона більша, ніж в інших водосховищах каскаду. При мінімальній витраті води у створі Середньодніпровської ГЕС (400 м³/с) вона становить 0,02 м/с, при звичайних максимальних витратах – на порядок більше. Найбільша швидкість, що часто перевищує 1 м/с, спостерігається біля м. Кременчук, дещо вище Крюківського мосту. Ширина акваторії тут лише 500 м, що й визначає велику швидкість течії.

Додамо, що уважний аналіз «Правил...» свідчить про велику кількість недоліків цього документа – причому навіть більшу, ніж зазначено у праці [5].

Висновки. Параметри Кам'янського водосховища, визначені за сучасною «Річковою навігаційною картою...» та супутниковими знімками, істотно різняться від тих, що наведені у «Правилах...» [8] та інших виданнях, яким кілька десятиліть. Найважливіші параметри для умов НПП такі: площа акваторії (водного дзеркала) – 537 км², площа островів – 48,9 км², об'єм повний – 2636 млн м³, об'єм корисий – 495 млн м³.

Наявні «Правила...» [8] потребують докорінних змін – фактично розробки нового документа.

Неодмінною вимогою до нових правил має бути встановлення сучасних розмірів дніпровських водосховищ, можливо шляхом нових вишукувань.

Бібліографія

1. Бабин А.Ю. Дослідження зміни площі Київського водосховища за даними ДЗЗ. *Часопис картографії*. 2014. Вип. 10. С. 71–80.
2. Визначення актуальних екологічних параметрів дніпровських водосховищ за допомогою геоінформаційних технологій / Шапар А.Г. та ін. *Екологія і природокористування*. 2014. Вип. 18. С. 139–146.
3. Вишневський В.І. Ріка Дніпро. Київ : Інтерпрес ЛТД, 2011. 384 с.
4. Вишневський В.І., Шевчук С.А. Використання даних дистанційного зондування Землі у дослідженнях водних об'єктів України. Київ : Інтерпрес ЛТД, 2018. 116 с.

5. Вишневський В.І., Шевчук С.А., Яцюк М.В. Актуальність нових правил експлуатації каскаду дніпровських водосховищ. *Вісник аграрної науки*. 2018. № 9. С. 57–63.
6. Водний фонд України: Штучні водойми – водосховища і ставки : довідник / за ред. В.К. Хільчевського, В.В. Гребеня. Київ : Інтерпрес, 2014. 164 с.
7. Каскад днепровских водохранилищ / под ред. М.С. Каганера. Ленинград : Гидрометеоздат, 1976. 348 с.
8. Правила експлуатації водосховищ Дніпровського каскаду / А.В. Яцик, А.І. Томільцева та ін. Київ : Генеза, 2003. 176 с.
9. Річкова навігаційна карта Дніпродзержинського водосховища та гирлової частини річки Ворскла. ФДУ «Укрморкартографія», Київ, 2011.
10. Стародубцев В.М. Формування Прип'ятсько-Дніпровської дельти у Київському водосховищі. *Географія, економіка, екологія, туризм. Регіональні студії*. 2011. Вип. 5. С. 214–221.
11. Томченко О.В. Аналіз динаміки заростання макрофітами верхів'я Київського водосховища на основі ГІС/ДЗЗ-технологій. *Ученые записки Таврического национального университета имени В.И. Вернадского. Серия: География*. 2013. Т. 26, № 1. С. 156–164.

References

1. Babyn, A.Yu. (2014). Doslidzhennia zminy ploshchi Kyivskoho vodoshovyshcha za danymy DZZ [Research of change of the area of the Kyiv Reservoir according to remote sensing data]. *Chasopys kartographii*, 10, 71–80 [in Ukrainian]
2. Shapar, A.G. (2014). Vyznachennia aktualnykh ekolohychnykh parametriv dniproviskykh vodoshovyshch za dopomohoiy geoinformatsiinykh tekhnolohiy [Determination of actual ecological parameters of the Dnipro Reservoirs with the help of geoinformation technologies]. *Ekolohiya i pryrodokorystuvannia*, 18, 139–146 [in Ukrainian]
3. Vyshnevskiy, V.I. (2011). Rika Dnipro [The Dnipro River]. Kyiv : Interpress LTD. [in Ukrainian]
4. Vyshnevskiy, V.I., & Shevchuk, S.A. (2018). Vykoristannia danykh distantsiinoho zonduvannia Zemli v doslidzhenniakh vodnykh ob'ektiv Ukrainy [Use of remote sensing data for the researches of water objects of Ukraine]. Kyiv : Interpress LTD. [in Ukrainian]
5. Vyshnevskiy, V., Shevchuk, S., & Yatsyuk, M. (2018). Aktualnist novykh pravyl ekspluatatsii kaskadu Dniproviskykh vodoshovyshch [Relevance of new operation rules of the cascade of the Dnipro Reservoirs]. *Visnik agrarnoi nauki*, 9, 57–63. [in Ukrainian]
6. Khilchevskoho, V.K. & Grebenia, V.V. (Ed.) (2014). Vodnyi fond of Ukraine: Shtuchni vodoiimy – vodoshovyshcha i stavky : dovidnyk [Water Fund of Ukraine: Artificial reservoirs – reservoirs and ponds : handbook]. Kyiv : Interpres. [in Ukrainian].
7. Kaganer M.S. (Ed.) (1976). Kaskad Dneprovskykh vodoshovyshch [Cascade of the Dnipro Reservoirs]. Leningrad : Hydrometeoizdat. [in Russian]
8. Yatsyk, A.V., Tomiltseva, A.I., & Tomiltsev, M.G. (2003). Pravyla ekspluatatsii vodoshovyshch Dniproviskoho kaskadu [Operation rules of the Dnipro Cascade of reservoirs. Kyiv : Geneza. [in Ukrainian]
9. Richkova navihatsiina karta Dnipodzerzhinskoho vodoshovyshcha ta hyrlovoi chastyny richky Vorskla [Riverine navigational map of the Dniprodzerzhynsk Reservoir and the mouth of the Vorskla River]. (2011). Kyiv : FDU Ukrmorkartographia. [in Ukrainian]
10. Starodubtsev, V.M. (2011). Formuvannia Prypiatsko-Dniproviskoi delty u Kyivskomy vodoshovyshchi [Formation of the Pripyat-Dnieper Delta in the Kyivskoe reservoir]. *Georaphia, ekonomika, ekolohiia, turizm. Rehionalny studii*, 5, 214–221. [in Ukrainian]
11. Tomchenko, O.V. (2013). Analiz dynamiki zarostannia makrofitamy verhiv'ia Kyivskoho vodoshovyshcha na osnovi GIS/DZZ tekhnologii [Analysis of macrophyte overgrowth dynamics of the upper Kyiv Reservoir on the basis of GIS / RST]. *Uchenye zapiski Tavricheskoho universiteta imeni V.I. Vernadskoho, Seriya Geographiia*, 26, 1, 156–164. [in Ukrainian]

В.И. Вишневский, В.В. Демьянов

Уточнение параметров Каменского водохранилища

Аннотация. На основе современной речной навигационной карты Днепра и спутниковых снимков уточнены основные параметры Каменского водохранилища – составляющую Днепровского каскада. Установлено, что эти параметры существенно отличаются от тех, что получены ранее и, в частности, приведены в Правилах эксплуатации водохранилищ Днепровского каскада. Важнейшие параметры Каменского водохранилища для условий НПП такие: площадь акватории

(водного зеркала) – 537 км², об'єм повний – 2636 млн м³, об'єм полезний – 495 млн м³. Выказано мнение о том, что небольшое увеличение полного объема по сравнению с проектным, обусловлено значительным добычей строительного сырья со дна водохранилища. Длина водохранилища, в зависимости от подходов ее определения, находится в пределах 119–137 км. Установлено, что максимальная глубина водохранилища (23 м) существенно больше, чем в справочных источниках. Существенно больше, чем считается, также средняя глубина – 5,8 м. Приведены параметры водохранилища, которые ранее оставались вне поля зрения исследователей. Таким параметром, в частности, является площадь островов – 48,9 км². Площадь мелководий глубиной менее 2 м составляет 152,4 км². В основном они сосредоточены в верхней и средней частях водохранилища – преимущественно возле левого берега. Важным параметром является также поперечное сечение главного плеса водохранилища, в пределах которого происходит основное движение воды. В зависимости от того, какой считать длину водохранилища, это сечение в среднем составляет 17,9–20,6 тыс. м². Минимальное сечение характерно для верхней части водохранилища, где скорость течения может превышать 1,0 м/с. Сделан вывод о том, что имеющиеся Правила эксплуатации водохранилищ Днепровского каскада не соответствуют настоящему времени и нуждаются в коренной переработке. Обязательным требованием к новым правилам является уточнение параметров водохранилищ Днепровского каскада.

Ключевые слова: Каменское водохранилище, параметры, навигационная карта, правила эксплуатации

V.I. Vyshnevskiy, V.V. Demianov

Specifying the parameters of the Kamianske Reservoir

Abstract. Based on the modern navigation map of the Dnipro River and the satellite images the main parameters of the Kamianske Reservoir, a part of the Dnipro Cascade, were inventoried. It was found out that these parameters significantly differ from those obtained earlier, in particular, which are given in the operation rules of the Dnipro Cascade. The most important parameters of the Kamianske Reservoir for the conditions of the normal retention level are as follows: water area (water surface) – 537 km², total volume – 2636 million m³, useful storage capacity – 495 million m³. A small increase in the total volume compared to the project one is supposed to be the result of significant extraction of construction raw materials from the bottom of the reservoir. The reservoir length, depending on the ways of measuring, varies from 119 to 137 km. It was determined that the actual maximum depth of the reservoir (23 m) is significantly larger than it is indicated in reference books. The actual average depth of 5.8 m is significantly larger as well. Some parameters of the reservoir, which were previously ignored by researchers, are given as a result of the study. This parameter, in particular, is the area of the islands, which is 48.9 km². The area of shallow water with depths less than 2 m is 152.4 km². This area is mainly located in the upper and middle parts of the reservoir – mainly near the left bank. An important parameter is the cross section of the central reach of the reservoir, where the main movement of water is observed. Depending on the length of the reservoir, this cross-section varies in the range of 17,900–20,600 m². The smallest cross-section is a characteristic feature of the upper part of the reservoir that causes the increase in flow velocity above 1.0 m/sec. It was concluded that the existing operation rules of the Dnipro Cascade does not correspond to the present and require the radical improvement. A mandatory requirement for the new rules is specifying the modern parameters of the reservoirs, built on the Dnipro River.

Key words: Kamianske Reservoir, parameters, navigation map, operation rules

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202101-283>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/283>

УДК 631.6; 626.8

СУЧАСНІ АСПЕКТИ НАУКОВОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВІДНОВЛЕННЯ ДРЕНАЖНИХ СИСТЕМ ГУМІДНОЇ ЗОНИ УКРАЇНИ

Г.В. Воропай, канд. техн. наук,

Інститут водних проблем і меліорації НААН, 03022, м.Київ, Україна;

<https://orcid.org/0000-0002-5004-0727>, e-mail: voropaig@ukr.net

Анотація. Визначено сучасні аспекти наукового забезпечення відновлення (реконструкції та модернізації) дренажних систем гумідної зони України, які встановлено за результатами аналізу сучасного стану та особливостей функціонування дренажних систем. Одним із пріоритетних напрямів є розроблення наукового обґрунтування підвищення водозабезпеченості дренажних систем. Найбільш ефективним та економічним технологічним прийомом підвищення водозабезпеченості меліорованих територій є акумуляція місцевого дренажного стоку. В умовах дефіциту місцевого дренажного та поверхневого стоку підвищення водозабезпеченості меліорованих територій здійснюється за рахунок забору та подачі до меліоративних систем додаткових об'ємів води з існуючих водосховищ, річок, ставків, озер, розташованих як у межах, так і за межами систем. Сучасна структура сільськогосподарського використання осушуваних земель гумідної зони підпорядкована як кліматичним змінам, так і кон'юнктурі експортного ринку. В агровиробництві має місце вирощування таких культур: зернової кукурудзи, соняшнику, ріпаку, сої. Зміни напрямів використання осушуваних угідь мають бути враховані при обґрунтуванні реконструкції або модернізації дренажних систем. Це дозволить відповідно до вимог агровиробництва розробити і впровадити комплекс заходів із технічного переоснащення і реконструкції конкретної дренажної системи, запровадити прогресивні ресурсозберігаючі технології вирощування економічно привабливих для агровиробників культур та забезпечити ефективне водорегулювання на осушуваних землях. Технічний стан сучасних дренажних систем гумідної зони характеризується переважно двома станами: задовільним, за якого системи перебувають у робочому (працездатному) стані і можуть виконувати свої функції в проектному режимі, і незадовільним, за якого відновлення працездатності дренажних систем є можливим лише завдяки здійсненню заходів із модернізації. Враховуючи кліматичні зміни, до першочергових заходів із модернізації дренажних систем мають бути віднесені і роботи з розширення їх функціональних можливостей здатністю регулювати водний режим ґрунту протягом всього періоду вегетації. Зважаючи на те, що вартість модернізації з розширення можливостей різних типів систем (осушувальні, осушувально-зволожувальні, польдерні та водооборотні) шляхом будівництва на них зрошувальних систем є значно нижчою порівняно з модернізацією їх до рівня осушувально-зволожувальних з використанням технології шлюзування, перевага має надаватись саме будівництву систем зрошення.

Ключові слова: гумідна зона, осушувальні меліорації, дренажна система, водозабезпеченість меліорованих територій, технічний стан дренажних систем, відновлення дренажних систем

Актуальність. Меліоративне землеробство в зоні осушувальних меліорацій є важливим чинником ведення сталого сільськогосподарського виробництва, а від ефективності використання дренажних систем залежить економічна, екологічна та соціальна стабільність регіону [1]. У гумідній зоні на більшій частині земель меліоративного фонду (60,5%) проведено меліоративні заходи. У Закарпатській області осушено майже 99% земель, Чернівецькій – 76%, Рівненській – 84% [2]. Показник меліорованості земель гумідної зони України є достатньо високим і відповідає рівню таких країн, як США (60%), Німеччина (66%), Нідерланди (81%) [3].

У гумідній зоні України створено потужний за обсягами, надзвичайно складний за змістом та інженерно-технічною будовою водогосподарсько-меліоративний комплекс сумарною вартістю основних фондів близько 20 млрд грн [2]. Завдяки вищому рівню продуктивності та можливостям забезпечення стабільності сільськогосподарського виробництва меліоровані землі розглядаються як страховий фонд продовольчої безпеки України. Дренажні системи, переважна кількість яких знаходиться в зоні Полісся України, мають загальну площу 3,2 млн га і включають 1671 дренажну меліоративну систему [4].

Сучасні глобальні та регіональні кліматичні зміни, які характеризуються переважно

стійким підвищенням температурного режиму, вже сьогодні відобразилися на вологозабезпеченні України, зонування території якої за річним кліматичним водним балансом свідчить, що частка площ із надмірним та достатнім атмосферним зволоженням за останні 25 років зменшилась на 10% і займає лише 22,5% або 7,6 млн га ріллі [5].

Одночасно саме завдяки змінам кліматичних умов у гумідній зоні зростає цінність та значення земель сільськогосподарського призначення [6]. Поряд із цим кліматичні зміни супроводжуються зміною умов вирощування сільськогосподарських культур та, відповідно, трансформують роль дренажних систем. І якщо в 60–80-х рр. ХХ сторіччя дренажні системи переважно виконували функцію відведення надлишкових вод у весняний період, то на даний час ефективно землеробство на осушуваних землях вимагає розширення їх можливостей здатністю покращувати вологозабезпечення вирощуваних культур впродовж усього періоду вегетації.

Одним із важливих засобів мінімізації впливу сучасних кліматичних змін на ведення агровиробництва в гумідній зоні є ефективно використання наявного потенціалу дренажних систем. На сьогодні відновлення ефективного їх функціонування стає визначальною складовою не тільки сучасних інтенсивних технологій вирощування сільськогосподарських культур, але і створення сприятливих умов проживання та захисту сільського населення і сільських територій від шкідливої дії вод.

Враховуючи те, що в Україні існує потужна водогосподарсько-меліоративна дренажна інфраструктура, яка використовується вкрай незадовільно, відновлення ефективного використання дренажних систем та підвищення продуктивності осушуваних земель належить до числа пріоритетних завдань, що вимагає наукового обґрунтування заходів з їх відновлення (модернізації та реконструкції) [7].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Досвід закордонних держав щодо розвитку осушувальних меліорацій свідчить, що у більшості розвинених країн (Англія, Бельгія, Нідерланди, Німеччина, Франція, Данія та ін.) проводиться перманентна реконструкція осушувальних систем.

В Англії всі перезволожені землі, включаючи болота, давно осушені (збереглися лише біля 1% антропогенно незачеплених земель) і їх частка становить більше половини всіх сільськогосподарських угідь країни. Осушувальні меліорації, на широкому розповсюджену серед фермерів Англії думку,

є однією з вигідних форм капіталовкладень, які дозволяє переходити від однієї системи землеробства до іншої, більш вигідної. Досвід Англії свідчить, що в країні постійно проводиться оцінка меліоративного фонду, а модернізація та реконструкція осушувальних систем визначається залежно від часу їх проектування та технічного стану. До того ж землі, які економічно недоцільно використовувати (якщо вони понад 10 років не задіяні у агровиробництві), вилучаються з меліоративного фонду [8–11].

Науковцями розроблено також рекомендації з вибору економічно найбільш вигідних технічних варіантів реконструкції осушувальних систем у Литві, які враховують напрямки їх використання та варіанти інвестицій на реконструкцію систем [12].

За свідченням вітчизняних дослідників комплексна реконструкція є радикальним технічним рішенням в удосконаленні і модернізації існуючих меліоративних систем. У розробках визначені основні критерії, якими слід керуватись при вирішенні завдань необхідності і доцільності реконструкції систем, та принципи, які включають технічну досконалість, економічну ефективність та екологічну надійність [3; 13–16].

Однак наявне наукове забезпечення реконструкції та модернізації дренажних систем гумідної зони України не в достатній мірі охоплює всі пріоритетні напрями з їх відновлення, які обумовлюються сучасним станом та особливостями їх функціонування в умовах змін клімату [4].

Метою досліджень є визначення сучасних аспектів наукового забезпечення відновлення (реконструкції та модернізації) дренажних систем гумідної зони України для підвищення ефективності використання їх наявного потенціалу та забезпечення стабільного сільськогосподарського виробництва на осушуваних землях.

Матеріали і методи досліджень. Методи досліджень базуються на системному аналізі, узагальненні знань і матеріалів наукових досліджень щодо сучасного стану та особливостей функціонування дренажних систем, експериментальних дослідженнях на виробничих ділянках Полісся та Лісостепу України та обробці і аналізі експериментальних даних.

Методика досліджень включає системний аналіз та узагальнення знань щодо сучасного стану і особливостей функціонування дренажних систем гумідної зони України.

Дослідження щодо наукового забезпечення відновлення дренажних систем за напрямками

підвищення водозабезпеченості меліорованих територій, розроблення технологічних параметрів водорегулювання при вирощуванні перспективних кормових культур проводили на меліоративних системах Сарненської дослідної станції Інституту водних проблем і меліорації Національної академії аграрних наук України (СДС ІВПіМ НААН) (торфоболотний масив «Чемерне», Рівненська обл.) та «Ромен» (Сумська обл.). Ці об'єкти з урахуванням природно-кліматичних умов та конструктивно-технологічних особливостей меліоративних систем є репрезентативними для території гумідної зони (Полісся та Лісостепу України).

Дослідження щодо підвищення водозабезпеченості меліорованих територій базуються на узагальненні наукових знань із питань водозабезпеченості, проведенні експериментальних досліджень на осушувально-зволожувальній системі «Ромен» (Сумська обл.) та включають визначення метеорологічних факторів, динаміки рівня ґрунтових вод (РГВ), рівня і об'єму води в джерелах акумулювання води для проведення зволоження.

Основою методики досліджень із розроблення технологічних параметрів водорегулювання при вирощуванні високопродуктивних кормових культур є проведення натурних досліджень із визначення метеорологічних параметрів (опадів, температури повітря), динаміки рівня ґрунтових вод (РГВ) та вологості в кореневому шарі ґрунту, біометричних характеристик вирощуваних культур, які проводили на меліорованих землях СДС (торфоболотний масив «Чемерне») та системи «Ромен».

Результати досліджень. Дослідженнями з визначення сучасного стану та особливостей функціонування дренажних систем, які базуються на системному аналізі, узагальненні знань і матеріалів наукових досліджень, встановлено, що основними чинниками, які визначають стан та впливають на функціонування дренажних систем в сучасних умовах, є:

– недостатня водозабезпеченість дренажних систем унаслідок змін клімату, скорочення об'ємів річкового стоку, погіршення технічного стану та недосконалість конструктивно-технологічних рішень щодо акумуляції, перерозподілу та повторного використання води для зволоження вирощуваних культур у посушливі періоди;

– трансформаційні зміни внаслідок розпаювання та приватизації осушуваних земель, передачі внутрішньогосподарської мережі на баланс місцевим органам самоврядування, що призвело до порушення техноло-

гічної цілісності дренажних систем та негативно впливає на ефективність використання осушуваних земель;

– погіршення технічного стану дренажних систем, яке проявляється у фізичному та моральному старінні основних меліоративних фондів; низький рівень експлуатації внутрішньогосподарської мережі; вихід із ладу, а в багатьох випадках відсутність гідромеханічного обладнання [4].

З урахуванням вказаних чинників визначено пріоритетні напрями розроблення наукового забезпечення відновлення (реконструкції та модернізації) дренажних систем, до яких належать: підвищення водозабезпеченості меліорованих територій; розроблення та впровадження науково обґрунтованих ресурсоощадливих технологій водорегулювання при вирощуванні економічно привабливих для агровиробників культур та конструктивно-технологічних рішень, які можуть задовольнити сучасні соціальні, еколого-економічні та агротехнічні вимоги.

Підвищення водозабезпеченості дренажних систем є одним із пріоритетних напрямів наукового забезпечення для обґрунтування відновлення дренажних систем, що дає можливість реалізувати оперативне та ефективне управління технологічними процесами водорегулювання на осушуваних землях, створювати гарантовані об'єми води для проведення зволоження вирощуваних культур упродовж вегетаційного періоду та гарантовано забезпечити оптимальний водний режим у кореневому шарі ґрунту.

Концептуальні напрями з підвищення водозабезпеченості дренажних систем, акумуляції вологи в періоди високої забезпеченості опадами базуються на використанні водоакумулюючої здатності їх територій та включають: використання акумулюючої здатності ґрунтів зони аерації; використання акумулюючої здатності мережі відкритих каналів; створення системи (каскаду) наливних водосховищ для акумулювання води з подальшим її використанням у посушливі періоди для регулювання водного режиму ґрунту на осушуваних землях; використання природних водойм, як джерел води для проведення зволожувальних заходів [17].

Встановлено що, в сучасних умовах найбільш ефективним та економічним технологічним прийомом підвищення водозабезпеченості дренажних систем є акумуляція місцевого поверхневого та дренажного стоку. Розроблена технологія накопичення водних ресурсів на меліорованих територіях, яка

апробована на пілотних об'єктах дренажних систем у Чернігівській і Рівненській (2011–2013 рр.) областях. Застосування цієї технології забезпечило акумуляцію води в ґрунті у вегетаційний період в об'ємах від 780 до 1600 м³/га та оптимальний водний режим осушуваних ґрунтів [1; 17].

Для підвищення водності дренажних систем за рахунок акумуляції місцевого дренажного стоку розроблено методологічні засади розрахунку параметрів водоакумулюючих ємкостей та розрахунку об'ємів води, необхідної для проведення зволоження. Основою для гідравлічних розрахунків параметрів водоакумулюючих ємкостей є визначення модуля дренажного стоку в найбільш напружені періоди роботи дренажу (весняний, передпосівний; літній паводковий) та площі водозбору (осушуваного модуля). Встановлено залежності для визначення модулів дренажного стоку для різних природно-кліматичних умов регіону Полісся України та розроблено алгоритм розрахунку параметрів водоакумулюючих ємкостей для років, які мають різну забезпеченість атмосферними опадами.

Дослідження з питань водозабезпеченості меліорованих територій на осушувально-зволожувальній системі «Ромен» (Сумська обл.) проводили у періоди 2014–2015 рр. (вирощувана культура – багаторічні трави) та 2019–2020 рр. (вирощувані культури пайза, амарант та кормові боби).

Меліоративна система «Ромен» включає русловий шлюз, акумулюючу ємкість, відкриту та закриту мережу. Наповнення акумулюючої ємкості здійснюється шляхом збору

дренажно-скидних вод та подачі самопливом із магістрального каналу (р. Ромен) (рис. 1).

Подача води на зволоження дослідних ділянок з акумулюючої ємкості на обидві пілотні ділянки проводиться також самопливом. Акумулююча ємкість побудована на місці староріччя, її довжина складає 500 м та ширина – 22 м. Об'єм ємкості становить 50 тис. м³, в тому числі об'єм відсіку для акумуляції дренажних вод – 12 тис. м³.

Апробація розроблених технологічних рішень із підвищення водозабезпеченості меліорованих територій показала, що в умовах середнього за кількістю опадів вегетаційного періоду 2015 р. (забезпеченість опадами 57%) при вирощуванні багаторічних трав першого та другого укосів потенційний об'єм акумулювання дренажного стоку з площі 14,9 га є достатнім для зволоження території пілотних ділянок і становить 46,3 тис. м³, при цьому фактичний об'єм води, поданої на зволоження, складає 21,45 тис. м³. Підвищення врожайності багаторічних трав на зелену масу в умовах підґрунтового зволоження подачею води в дренажну систему з акумулюючої ємкості становить понад 30% [17].

За результатами досліджень на осушувально-зволожувальній системі «Ромен» у період 2019–2020 рр. встановлено, що у вегетаційний період 2019 р. випало 219,9 мм опадів, що на 102,4 мм менше від багаторічної норми (забезпеченість опадами 87%), а їх кількість була меншою від норми в усі місяці вегетаційного періоду, окрім травня (більше за норму на 23,1 мм). Середньомісячні показники температури повітря були нижчими

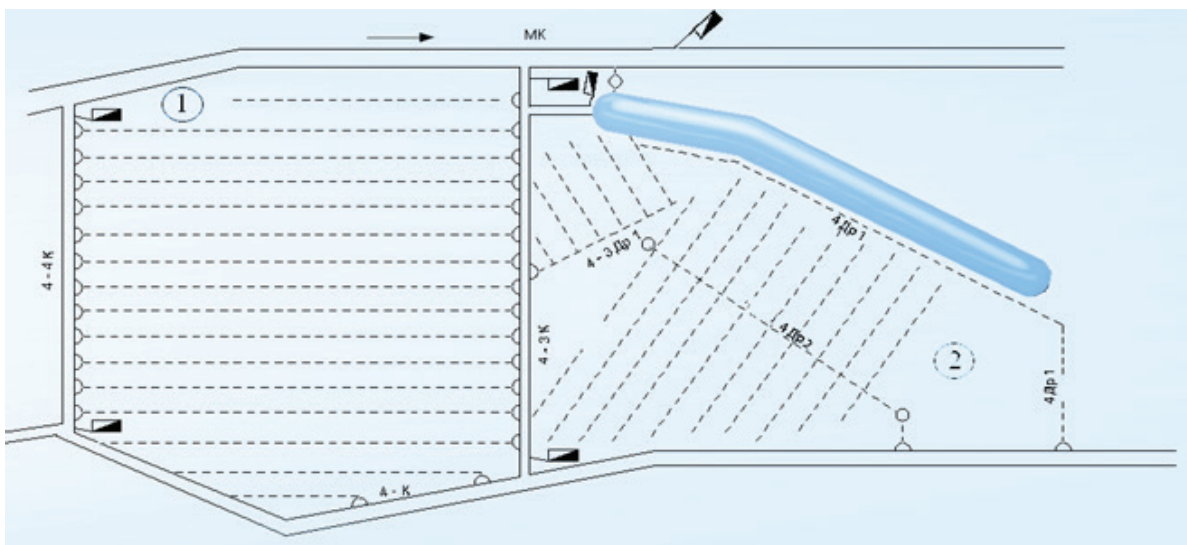


Рис. 1. Схема дослідних ділянок меліоративної системи «Ромен»: 1 – пілотна ділянка № 1; 2 – пілотна ділянка № 2

від норми в усі місяці, окрім червня (перевищення норми на $1,3^{\circ}\text{C}$). Середньомісячна температура повітря у вегетаційний період була нижчою на $1,0^{\circ}\text{C}$ порівняно з багаторічним показником та становила $+15,3^{\circ}\text{C}$.

У вегетаційний період 2020 р. випало 360,5 мм, що на 37,4 мм більше середньобогаторічної норми (забезпеченість опадами становить 35%). Кількість опадів взимку та на початку весни, коли формуються водні ресурси на меліорованій території, була незначною і становила 133 мм (грудень–березень). Кількість опадів у квітні, червні та липні була близькою до середньобогаторічної норми, однак їх розподіл був досить нерівномірним. У травні дощі випадали практично щодобово, загальна кількість їх становила 148,5 мм, що майже на 100 мм більше середньобогаторічних даних. Найменш дощовим був серпень із кількістю опадів 12,4 мм (25% від середньобогаторічної норми).

Середньомісячна температура повітря у вегетаційний період становила $15,8^{\circ}\text{C}$, що на $0,5^{\circ}\text{C}$ менше за середньобогаторічну норму. Вперше за всю історію метеоспостережень (з 1935 р.) зафіксовано відсутність метеорологічної зими, а навесні – відсутність повені.

Забезпечення оптимальної вологості та, відповідно, і вологозапасів, за фазами розвитку досліджуваних культур (пайзи, амаранту та кормових бобів) на меліорованих землях системи «Ромен» було реалізовано у критичні періоди їх вирощування (до кінця червня). Досягнення оптимальних показників реалізовано в основному за рахунок акумулювання опадів в кореновому шарі ґрунту. Через недостатні обсяги наповнення водними ресурсами наявних водних джерел (акумулююча ємкість, Карабутівське водосховище), які розташовані в зоні осушувально-зволожувальної системи «Ромен», подача води на зволоження вирощуваних культур не проводилася.

Результати досліджень свідчать, що в умовах відсутності весняного паводка та недостатніх обсягів дренажного стоку виявилось неможливим накопичення в акумулюючій ємкості достатньої кількості води для зволоження вирощуваних культур.

Можливості залучення водних ресурсів для зволоження вирощуваних культур із Карабутівського водосховища, яке влаштоване на системі «Ромен» та вирішує функціональні задачі з акумулювання води у багатоводні періоди і її подачі на зволоження у посушливі періоди, також не використовували.

Карабутівське водосховище має площу водного дзеркала при нормальному підпірному рівні (НПР) $5,02\text{ км}^2$ (відмітка НПР $145,5\text{ м}$), повну ємкість $12,97\text{ млн м}^3$ та корисну $11,97\text{ млн м}^3$. Об'єм води у водосховищі у 2019 р. знаходився в межах $10,93\text{--}8,24\text{ млн м}^3$, а у 2020 р. – $9,08\text{--}7,40\text{ млн м}^3$.

У період 2019–2020 рр. наповнення водосховища до рівня корисного об'єму не було досягнуто (рис. 2).

Спроба проведення зволожувальних заходів у вегетаційний період 2019 р. була здійснена у два періоди: з 26 по 29 червня та з 13 по 16 серпня. Об'єм води, поданої на зволоження, становив відповідно $0,24$ та $0,12\text{ млн м}^3$, однак ці обсяги були недостатніми для поповнення вологозапасів активного шару ґрунту та забезпечення необхідного водно-повітряного режиму для вирощуваних культур.

Результати досліджень свідчать, що в умовах дефіциту місцевого дренажного та поверхневого стоку для проведення підґрунтового зволоження та забезпечення оптимального водного режиму ґрунту при вирощуванні культур на осушуваних землях необхідно підвищувати водозабезпеченість меліорованих територій за рахунок забору та подачі до меліоративних систем додаткових об'ємів

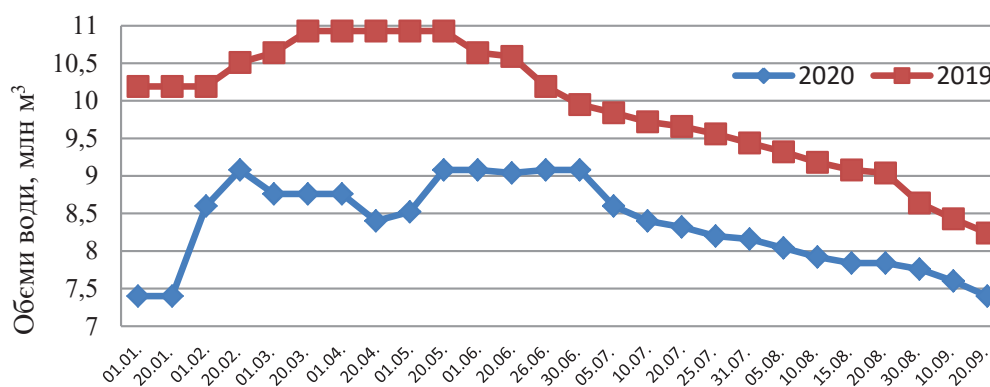


Рис. 2. Динаміка об'єму води в Карабутівському водосховищі в період 2019–2020 рр.

води з існуючих водосховищ, річок, ставків, озер, розташованих не тільки в межах, але і за межами систем.

З урахуванням конструктивних особливостей різних типів дренажних систем у гумідній зоні, існуючих технологій управління водним режимом, характеристик водних джерел та місця їх розташування по відношенню до систем розроблені технологічні схеми забору води з річок та водосховищ та її подачі для зволоження осушуваних ґрунтів.

Перша схема подачі води з водосховища в дренажну мережу меліоративної системи по транспортуючому каналу з акумулюючими ємкостями забезпечує створення гарантованих об'ємів води для проведення підґрунтового зволоження на значних площах осушуваних земель. Залежно від протяжності транспортуючого каналу, величини необхідних резервних об'ємів води та площі осушуваних земель, на яких передбачається проведення підґрунтового зволоження, по трасі каналу може розміщуватись одна або декілька акумулюючих ємкостей. Таке конструктивне рішення забезпечує мінімізацію забору води з водосховищ, не порушуючи технологічні потреби та вимоги водокористувачів водних об'єктів.

У другій технологічній схемі забору та акумуляції води з водних джерел, розташованих за межами меліоративної системи, транспортуючі канали виконують функцію накопичувачів резервних об'ємів води для подальшого використання на зволоження осушуваних ґрунтів в посушливі періоди [1].

Враховуючи вплив сучасних кліматичних змін на водозабезпеченість меліорованих територій при відновленні (реконструкції та модернізації) різних типів меліоративних систем (осушувальні, осушувально-зволожувальні, польдерні та водооборотні) перевага має надаватись саме будівництву систем зрошення та адаптації наявного досвіду використання ресурсозберігаючих технологій водорегулювання, в основу яких покладено доцільність застосування невеликих норм зрошення. Впровадження цих технологій на осушуваних землях Лісостепу України свідчить, що завдяки їх використанню можливо забезпечити зменшення витрат водних і енергетичних ресурсів на 25–35% та підвищити урожайність сільськогосподарських культур у середньому на 30% [18].

Враховуючи, що головною особливістю впливу сучасних кліматичних змін на водозабезпеченість дренажних систем є формування умов, які спричиняють дефіцит місцевого дренажного та поверхневого стоку, та

в умовах, коли прогнозується обумовлене змінами клімату зменшення доступних до використання водних ресурсів, для сучасного агровиробництва важливим є розробка та впровадження науково обґрунтованих ресурсоощадливих технологій водорегулювання при вирощуванні економічно привабливих на сьогодні культур.

За результатами досліджень встановлено, що особливостями сучасного сільськогосподарського використання осушуваних земель гумідної зони України в умовах реформування аграрного сектора і змін клімату є зміна структури посівних площ, яка підпорядкована як кліматичним змінам, так і кон'юктурі експортного ринку. В агровиробництві має місце вирощування зернової кукурудзи, соняшника, ріпака, сої. Основні культури традиційної спеціалізації (льон-довгунець, цукрові буряки, жито, овес та інші) перестали бути пріоритетними, однак завдяки натуральності вітчизняної продукції та унікально вигідній еколого-географічній позиції їх вирощування мають перспективу завоювати вітчизняний та світовий ринки.

Результатом реформування аграрного сектора є те, що переважна більшість осушуваних земель належить сільським домогосподарствам і лише третина з них підприємствам [19].

Важливим аспектом сучасного аграрного розвитку є розміри виробництва. По багатьох культурах спостерігається зростання концентрації агровиробництва, коли незначна частка підприємств фактично має суттєву питому вагу у формуванні пропозиції на ринку. До того ж простежується певна залежність між рівнем концентрації виробництва та його ефективністю, оскільки сучасне великотоварне виробництво має більше можливостей і доступу до фінансових ресурсів. З одного боку це свідчить про досить високу ефективність застосування інноваційних агротехнологій, а з іншого – про значні та недостатньо використані резерви в інших господарствах [20].

Характерним для сучасного агровиробництва на осушуваних землях є також неефективне використання наявного потенціалу дренажних систем, а їх водорегулююча здатність – невикористаним ресурсом підвищення урожайності та сталого ведення сільськогосподарського виробництва в умовах змін клімату.

Існуючі дренажні системи конструктивно і технологічно запроєктовані для експлуатації в цілісному комплексі, а меліоровані за їхньою допомогою землі – для використання у великих колективних або державних

господарствах. Реформування аграрного сектора, яке проведено без урахування технологічних умов експлуатації дренажних систем, призвело до порушення усталених технологій землекористування та управління дренажними системами. Через невідповідність між технологічною цілісністю, закладеною в існуючі системи на стадії їх проектування, та сучасною інфраструктурою користувачів меліорованих земель, на сьогодні процеси водорегулювання на осушуваних землях мають практично некерований характер.

Враховуючи формування нових умов вирощування сільськогосподарських культур та, відповідно, і функціональних задач дренажних систем, поряд з основними критеріями такими як технічний стан елементів інженерної інфраструктури, зміни еколого-меліоративних, гідрологічних та ґрунтових умов їх функціонування, які визначають неспроможність системи забезпечувати оперативне управління водно-повітряним режимом ґрунтів, при обґрунтуванні реконструкції або модернізації дренажних систем мають бути враховані також і зміни напрямів використання осушуваних угідь. Це дозволить на замовлення конкретного землекористувача розробити і впровадити комплекс заходів із технічного переоснащення і реконструкції конкретної дренажної системи, використовувати прогресивні ресурсозберігаючі і екологічно обґрунтовані технології вирощування економічно привабливих культур та забезпечити ефективне водорегулювання на осушуваних землях.

Для розроблення науково обґрунтованих ресурсоощадливих технологій водорегулювання при вирощуванні перспективних сільськогосподарських культур на осушуваних землях проводили дослідження впродовж 2016–2019 рр. на меліоративних системах СДС (торфоболотний масив «Чемерне») та «Ромен».

Враховуючи досвід досліджень попередніх років на меліорованих землях СДС та системи «Ромен» щодо вирощування високопродуктивних культур, які мають високу рентабельність та є перспективними для вирощування в гумідній зоні, проведено експериментальні дослідження з розроблення технологічних параметрів водорегулювання при вирощуванні високопродуктивних кормових культур.

Визначено, що перспективним напрямком у кормовиробництві є впровадження високопродуктивних та рентабельних сортів сільськогосподарських культур, які могли б доповнювати традиційні кормові культури

і які мають значний адаптивний потенціал при вирощуванні в складних агрокліматичних умовах гумідної зони (Полісся та Лісостепу) України. Це дасть змогу збільшити виробництво кормів, знизити собівартість рослинницької і тваринницької продукції. Оскільки зміни клімату призводять до загострення посушливих явищ, які є характерними і для зони Полісся та Лісостепу, актуальним є також раціональне використання водних ресурсів. Тому при формуванні структури кормової групи сільськогосподарських культур на основі асортименту їх сортів та гібридів важливо впроваджувати такі культури, які характеризуються не тільки високою продуктивністю, але і посухостійкістю [21].

Важливе місце серед малопоширених, однак високопродуктивних, кормових культур для вирощування на осушуваних землях займають пайза, амарант та кормові боби. Існуючий вітчизняний та світовий досвід свідчить, що впровадження у виробництво цих культур дозволяє не тільки забезпечити тваринництво високоякісними кормами, але і задовольнити також потреби харчової і фармацевтичної промисловості цінною сировиною [21].

Основою для розроблення технологічних параметрів водорегулювання при вирощуванні пайзи, амаранту та кормових бобів є результати натурних досліджень із визначення метеорологічних параметрів (опадів, температури повітря), динаміки рівня ґрунтових вод (РГВ) та вологості в кореновому шарі ґрунту.

За результатами досліджень визначено ресурсоощадливі технологічні параметри водорегулювання (норми рівня ґрунтових вод та вологості в кореновому шарі ґрунту) впродовж періоду вегетації при вирощуванні високопродуктивних кормових культур (пайзи, амаранту та кормових бобів) на торфових та мінеральних ґрунтах Полісся та Лісостепу України. Встановлено допустимі терміни, у які дренажна система має забезпечити відведення надлишкових вод та забезпечити своєчасне зниження РГВ до рекомендованих показників.

Апробацію технологічних параметрів водорегулювання при вирощуванні пайзи, амаранту та кормових бобів проводили на Селекційно-демонстраційному полігоні високопродуктивних кормових культур селекції установ НААН (меліоративна система Сарненської ДС, Рівненська обл.) та ДП ДГ «Надія» НААН (меліоративна система «Ромен», Сумська обл.), таблиця 1.

1. Апробація технологічних параметрів водорегулювання при вирощуванні пайзи, амаранту та кормових бобів

Назва розробки	Оптимальні меліоративні режими та технологічні параметри управління водним режимом при вирощуванні пайзи, амаранту та кормових бобів на осушуваних землях
Розробник:	Інститут водних проблем і меліорації НААН
Термін апробації	2020 рік
Найменування і адреса сільськогосподарського підприємства, де проводили апробацію	ДП ДГ «Надія» НААН, с. Ведмеже, Роменський р-н, Сумська обл. Площа, на якій проведено апробацію – 15 га Селекційно-демонстраційний полігон високопродуктивних кормових культур селекції установ НААН м. Сарни, Рівненська обл. Площа, на якій проведено апробацію – 0,3 га
Коротка характеристика розробки	Оптимальні меліоративні режими забезпечуються шляхом регулювання РГВ та вологості ґрунту. Для осушуваних ґрунтів (як мінеральних, так і органогенних) середня вологість у шарі 0–30 см на початок сівби становить 75–80% від повної вологості (ПВ). Рекомендовані норми вологості ґрунту протягом періоду активної вегетації становлять: – для торфових ґрунтів оптимальна – 65–75%, найменша допустима у літній період – 55–60%; – для мінеральних оптимальна – 65–80%, найменша допустима у літній період – 55–60% від ПВ.

У період апробації проводили дослідження динаміки РГВ та вологості ґрунту впродовж вегетаційного періоду. Оптимальні меліоративні режими на землях меліоративних систем Сарненської ДС та «Ромен» були забезпечені шляхом регулювання РГВ та вологості кореневого шару ґрунту за фазами розвитку пайзи, амаранту та кормових бобів та з урахуванням критичних періодів їх оптимального вологозабезпечення.

За результатами досліджень встановлено, що на меліорованих землях Сарненської ДС через мінімальну кількість опадів протягом осінньо-зимового періоду 2019–2020 рр. та весняного періоду 2020 р. на посівний період (друга половина квітня) РГВ знизився до глибини 114 см. Надалі завдяки закриттю шлюзів-регуляторів на меліоративній системі на початок травня (на період посіву пайзи, амаранту та кормових бобів) РГВ вдалось підняти до 84–87 см. В подальшому забезпечення оптимальної вологості та, відповідно, і вологозапасів, ґрунту за фазами розвитку досліджуваних культур досягнуто шляхом регулювання РГВ та з урахуванням додаткової вологи за рахунок акумулювання опадів в кореновому шарі.

Оптимальну вологість та, відповідно, і вологозапаси ґрунту за фазами розвитку досліджуваних культур на меліоративній системі «Ромен» було забезпечено у критичні періоди вирощування пайзи, амаранту та кормових

бобів та досягнуто в основному за рахунок акумулювання опадів в кореновому шарі. Через недостатнє наповнення водними ресурсами наявних водних джерел (акумулююча ємкість, Карабутівське водосховище), які розташовані в зоні меліорованих земель системи «Ромен», подачу води на зволоження вирощуваних культур не було здійснено.

1. Апробація технологічних параметрів водорегулювання при вирощуванні пайзи, амаранту та кормових бобів

Результати апробації оптимальних меліоративних режимів та технологічних параметрів регулювання водного режиму при вирощуванні пайзи, амаранту та кормових бобів на осушуваних землях свідчать, що отримано середні та вищі за середні показники урожайності цих культур. Вихід кормових одиниць на меліорованих землях Сарненської ДС при вирощуванні кормових бобів становить 67,5–86,2 ц/га, амаранту – 34,9–48,8 ц/га та пайзи – 39,6–54,0 ц/га; на меліоративній системі «Ромен» – при вирощуванні кормових бобів становить 56,8–49,3 ц/га, амаранту – 45,7–57,5 ц/га та пайзи – 65,8–77,5 ц/га.

Разом з тим, одним із основних чинників, який визначає можливості реалізації розроблених технологій водорегулювання, є *технічний стан інженерних споруд та обладнання дренажних систем*. На сьогодні склалася невідповідність між технологічною цілісністю, закладеною в існуючі системи на

стадії їх проектування, та сучасною інфраструктурою користувачів меліорованих земель, тому процеси водорегулювання носять практично некерований характер, а реалізація оптимальних режимів водорегулювання відповідно до вимог вирощування сільськогосподарських культур за наявності численних землекористувачів в межах меліорованого поля стає неможливою.

Загальна зношеність елементів інженерної інфраструктури внаслідок їх довготривалої експлуатації складає в середньому 60%, з них: на міжгосподарській мережі – 55%, внутрішньогосподарській – 65%.

Канали, гідротехнічні споруди (ГТС), насосні станції (НС) на міжгосподарській мережі, які обслуговуються водогосподарськими організаціями Держводагентства України, на 90% всієї площі меліорованих земель перебувають у задовільному стані. Технічний стан внутрішньогосподарської мережі дренажних систем лише на 50% всієї площі меліорованих земель є задовільним.

Технічний стан дренажних систем характеризується переважно двома станами: задовільним, за якого системи перебувають у робочому (працездатному) стані і можуть виконувати свої функції в проектному режимі, і незадовільним, за якого відновлення працездатності дренажних систем є можливим лише завдяки здійсненню заходів із модернізації.

Враховуючи кліматичні зміни, до першочергових заходів із модернізації дренажних систем мають бути віднесені і роботи з розширення їх функціональних можливостей здатністю регулювати водний режим ґрунту протягом всього періоду вегетації. Зважаючи, що вартість модернізаційних заходів із розширення можливостей різних типів систем (осушувальні, осушувально-зволожувальні, польдерні та водооборотні) шляхом будівництва на них зрошувальних систем, є значно нижчою порівняно з модернізацією їх до рівня осушувально-зволожувальних із використанням технології шлюзування, перевага має надаватися саме будівництву систем зрошення. Цей захід має передбачатись у межах працюючих систем різних типів, на яких ведеться вирощування сільськогосподарських культур.

Згідно зі «Стратегією зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 року», яка схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України (від 14 серпня 2019 р. № 688-р), відновлення меліоративних систем у зоні осушення має виконуватись за двома варіантами [7]:

– модернізація працюючих меліоративних систем;

– модернізація непрацюючих меліоративних систем.

Відновлення *працюючих меліоративних систем* має проводитись з урахуванням поділу наявних систем на осушувальні, осушувально-зволожувальні, польдерні та водооборотні і передбачати комплекс робіт із покращення їх параметрів шляхом доповнення здатністю регулювання вологості ґрунтів. Комплекс модернізаційних заходів буде визначатись на основі даних інвентаризації і на різних типах осушувальних систем буде включати різні види робіт.

На *осушувальних системах* (дренажні системи односторонньої дії), площа яких складає 567,9 тис. га, основу модернізаційних заходів будуть складати роботи з влаштування на них систем зрошення. На *осушувально-зволожувальних системах* загальною площею 431,2 тис. га модернізаційні заходи будуть спрямовані на забезпечення можливості здійснення гарантованого двобічного регулювання водного режиму осушуваних ґрунтів. *Польдерні системи* мають бути модернізовані до рівня осушувально-зрошувальних шляхом будівництва на них зрошувальних систем (системи краплинного зрошення або дощування). Завдяки цьому польдерні системи будуть мати здатність регулювати водний режим ґрунту впродовж усього періоду вегетації. Загальна площа польдерних систем, які можуть бути модернізованими, становить 190,6 тис. га. Модернізація *водооборотних систем* також має передбачати влаштування на них зрошувальних систем, а загальна площа водооборотних систем, в межах яких може бути здійснено будівництво систем зрошення, становить 106,6 тис. га.

За експертними оцінками загальна площа дренажних систем різних типів, на яких першочергово мають бути проведені модернізаційні заходи з розширення їх функціональних можливостей, може становити 350 тис. га.

Модернізація *непрацюючих меліоративних систем* буде здійснюватися з метою відновлення їх працездатності до проектного рівня шляхом виконання переважно ремонтно-відновлювальних робіт як на внутрішньогосподарській, так і на міжгосподарській мережі. Ці роботи мають визначатись за результатами технічної інвентаризації та будуть включати: очищення каналів і водопропускних споруд; відновлення водорегулюючих споруд (затвори, підйомники); промивку колекторів та дрен, часткове відновлення дренажу; облаштування колодязів-фільтрів

для відводу поверхневих вод; облаштування існуючих дамб, укріплення гирл дренажних колекторів тощо.

Загальна площа таких систем становить 1950,4 тис. га. В першу чергу модернізацію цих систем пропонується здійснити на площі 632,0 тис. га. Поряд із відновленням працездатності непрацюючих дренажних систем мають враховуватися можливості виконання цими системами функції захисту територій та населених пунктів від процесів підтоплення та затоплення.

Висновки. Визначено сучасні аспекти наукового забезпечення відновлення (реконструкції та модернізації) дренажних систем гумідної зони України, які встановлено за результатами аналізу сучасного стану та особливостей функціонування дренажних систем.

Одним із пріоритетних напрямів є розроблення наукового обґрунтування підвищення водозабезпеченості дренажних систем. Найбільш ефективним та економічним технологічним прийомом підвищення водозабезпеченості меліорованих територій є акумуляція місцевого дренажного стоку. В умовах дефіциту місцевого дренажного та поверхневого стоку підвищення водозабезпеченості меліорованих територій здійснюється за рахунок забору та подачі до меліоративних систем додаткових об'ємів води з існуючих водосховищ, річок, ставків, озер, розташованих як у межах, так і за межами систем.

Сучасна структура сільськогосподарського використання осушуваних земель гумідної зони підпорядкована як кліматичним змінам, так і кон'юнктурі експортного ринку. В агро-виробництві має місце вирощування таких

культур: зернової кукурудзи, соняшнику, ріпаку, сої. Зміни напрямів використання осушуваних угідь мають бути враховані при обґрунтуванні реконструкції або модернізації дренажних систем. Це дозволить відповідно до вимог агровиробництва розробити і впровадити комплекс заходів із технічного переоснащення і реконструкції конкретної дренажної системи, запровадити прогресивні ресурсозберігаючі технології вирощування економічно привабливих для агровиробників культур та забезпечити ефективне водорегулювання на осушуваних землях.

Технічний стан сучасних дренажних систем гумідної зони характеризується переважно двома станами: задовільним, за якого системи перебувають у робочому (працездатному) стані і можуть виконувати свої функції в проектному режимі, і незадовільним, за якого відновлення працездатності дренажних систем є можливим лише завдяки здійсненню заходів із модернізації.

Враховуючи кліматичні зміни, до першочергових заходів із модернізації дренажних систем мають бути віднесені і роботи з розширення їх функціональних можливостей здатністю регулювати водний режим ґрунту протягом всього періоду вегетації. Зважаючи на те, що вартість модернізації з розширення можливостей різних типів систем (осушувальні, осушувально-зволожувальні, польдерні та водооборотні) шляхом будівництва на них зрошувальних систем є значно нижчою порівняно з модернізацією їх до рівня осушувально-зволожувальних із використанням технології шлюзування, перевага має надаватись саме будівництву систем зрошення.

Бібліографія

1. Меліорація ґрунтів (систематика, перспективи, інновації) : колективна монографія. Херсон : Грінь Д.С., 2015. 668 с.
2. Кожушко Л.Ф., Велесик Т.А. Формування ринку осушених земель сільськогосподарського призначення : монографія. Рівне : НУВГП, 2015. 188 с.
3. Сучасний стан, основні проблеми водних меліорацій та шляхи їх вирішення / за ред. П.І. Коваленка. Київ : Аграрна наука, 2001. 214 с.
4. Воропай Г.В., Яцик М.В., Мозоль Н.В. Сучасний стан та перспективи розвитку осушувальних меліорацій в умовах змін клімату. *Меліорація і водне господарство*. 2019. № 2. С. 31–39.
5. Вплив сучасних кліматичних змін на водні ресурси та сільськогосподарське виробництво / Ромашенко М.І. та ін. *Меліорація і водне господарство*. 2020. № 1. С. 5–22.
6. Дацько Л.В. Сучасне сільськогосподарське використання земель гумідної зони України. *Меліорація і водне господарство*. 2016. Вип. 103. С. 41–47.
7. Стратегія зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 року. Схвалено Кабінетом Міністрів України від 14.08.2019 р., № 688-р.
8. Minaev, I.V.; Maslov, B.S. History of Land Improvement. In *Agricultural Land Improvement: Amelioration and Reclamation*; Maslov, B.S., Ed.; Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS); Eolss Publ. Co., Ltd.: Oxford, UK, 2009; Volume 1, pp. 95–116.
9. Маслов Б.С. По поводу одной информации. *Вестник Россельхозакадемии*. 1994. № 2. С. 70.

10. Маслов Б.С., Нестеров Е.А. Вопросы орошения и осушения в США. Москва, 1967. 320 с.
11. Маслов Б.С. Вопросы истории мелиорации торфяных болот и развитие науки. *Вестник ТГПУ*. Москва, 2008. Выпуск 4(78). С. 64–69.
12. Адамоните И. Исследование технических инвестиционных решений реконструкции осушительных систем в Литве. Доклады Медунар. научно-практ. конф. «Повышение эффективности мелиорации сельскохозяйственных земель». Минск, 2005. С. 19–23.
13. Мелиорация в Украине / под ред. Н.А. Гаркуши. Киев : Урожай. 1985. 376 с.
14. Модернізація та реконструкція осушувальних систем в умовах реформування власності у сільському господарстві. Посібник до ДБН В.2.4.-1-99 «Меліоративні системи і споруди». Київ, 2003. 31 с.
15. Меліорація та облаштування Українського Полісся : колективна монографія / за ред. д.с-г.н., професора, акад. НААН Я.М. Гадзала, д.т.н., професора, член.-кор. НААН В.А. Шашука, д.т.н., професора А.М. Рокочинського. Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2017. Т. 1. 932 с.
16. Фроленкова Н.А., Кожушко Л.Ф., Рокочинський А.М. Еколого-економічне оцінювання в управлінні меліоративними проектами : монографія. Рівне : НУВГП, 2007. 257 с.
17. Яцик М.В., Воропай Г.В., Молеца Н.Б. Підвищення водозабезпеченості меліоративних систем гумідної зони. *Меліорація і водне господарство*. 2016. Вип. 103. С. 63–68.
18. Ресурсоощадна технологія водорегулювання на меліорованих землях у зоні надлишкового зволоження / Яцик М.В., та ін. *Меліорація і водне господарство*. 2009. Вип. 97. С. 67–76.
19. Кузьменко С., Беляк М. Фінансові аспекти становлення аграрного підприємництва в зоні осушувальних меліорацій. *Економіст*. 2015. № 10. С. 36–38.
20. Кернасюк Ю.В. Сучасний агробізнес: чи впливає розмір на ефективність. *Агробізнес Сьогодні*. 2020. № 11(426). С. 14–17.
21. Яцик М.В., Воропай Г.В., Кіка С.М. Досвід та перспективи вирощування високопродуктивних кормових культур (пайзи, амаранту та кормових бобів) на осушуваних землях в умовах змін клімату. *Меліорація і водне господарство*. 2017. Вип. 105. С. 61–66.

References

1. Baljuk, S.A., Romashhenko, M.I., & Truskavetskyi, R.S. (2015). Melioratsiia gruntiv (systematyka, perspektyvy, innovatsiyi) : kolektyvna monografiia [Soil reclamation (systematics, perspectives, innovations) : collective monograph]. Kherson : Grin D.S. [in Ukrainian]
2. Kozhushko, L.F., & Velesyk, T.A. (2015). Formuvannya rynku osushenykh semel silskohospodarskogo prysnachennia [Formation of the market for agricultural agricultural land: Monograph]. Rivne : NUVHP. [in Ukrainian]
3. Romashhenko, M.I., Sobko, O.O., & Kalantynenko, I.I. (2001). Suchasnyi stan, osnovni problem vodnykh melioratsiy ta shliakhy yikh vyrishennia [Current status, major problems of water reclamation and ways of solving them]. P.I. Kovalenko (Ed). Kyiv : Agrarna nauka. [in Ukrainian]
4. Voropay, G.V., Yatsyk, M.B., & Mozol, N.V. (2019). Suchasnyy stan ta perspektyvy rozvytku osushuval'nykh melioratsiy v umovakh zmin klimatu [Current state and the prospects of development of drainage reclamation in a changing climate]. *Melioratsiia i vodne hospodarstvo*, 2, 31–39. [in Ukrainian]
5. Romashhenko, M., Husyev, Y., Shatkovskyi, A., Saidak, R., Yatsyuk, M., Shevchenko, A., & Matiash, T. (2020). Vplyv suchasnykh klimatychnykh zmin na vodni resursy ta silskohospodarske vyrobnytstvo [Impact of modern climate change on water resources and agricultural production]. *Melioratsiia i vodne hospodarstvo*, 1, 5–22. [in Ukrainian]
6. Datsko, L.V. (2016). Suchasne silskohospodarske vykorystannia semel humidnoyi sony Ukrayiny [Modern agricultural land use in the humid zone of Ukraine]. *Melioratsiia i vodne hospodarstvo*, 103, 41–47. [in Ukrainian]
7. Stratehia sroshennia ta drenazhu v Ukraini na perid do 2030 roku. (2019). Skhvaleno Kabinetom Ministriv Ukrainy 14.08.2019. № 688-r. [in Ukrainian]
8. Minaev, I.V., & Maslov, B.S. (2009). History of Land Improvement. In *Agricultural Land Improvement: Amelioration and Reclamation. Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*; Eolss Publ. Co. Ltd.: Oxford, UK, 1, 95–116. [in English]
9. Maslov, B.S. (1994). Po povodu odnoy informatsiyi [About one information]. *Vestnyk Rosselkhozakademii*, 2, 70. [in Russian]
10. Maslov, B.S., & Nesterov E.A. (1967). Voprosy orosheniia i osusheniia v SShA [Irrigation and drainage issues in the USA]. M., 320. [in Russian]

11. Maslov, B.S. (2008). Voprosy istoriyi melioratsiyi torfianykh bolot I rasvitiye nauki [Questions of the history of reclamation of peat bogs and the development of science]. Vestnyk TGPU, 4(78). 64–69. [in Russian]
12. Adamonite, I. (2005). Issledovaniye tekhnicheskikh investitsionnykh reshenii rekonstruktsii osushitelnykh system v Litve [Study of technical investment solutions for the reconstruction of drainage systems in Lithuania]. Povysheniye effektivnosti melioratsii selskokhoziaistvennykh zemel. Doklady mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. Minsk, 19–23. [in Russian]
13. Harkusha, N.A. (1985). Melioratsiia v Ukraine [Melioration in Ukraine]. Kyiv: Urozhai, 376. [in Russian]
14. Modernizatsiia ta rekonstruktsiia osushivalnykh system v umovakh reformuvannia vlasnosti u silskomu hospodarstvi [Modernization and reconstruction of drainage systems in the minds of the reform of power in the Silk state]. Posibnyk do DBN V.2.4.-1-99 „Melioratyvni systemy I sporudy “. Kyiv, 2003, 31. [in Ukrainian]
15. Hadzalo, Ia.M., Stashuk, V.A., & Rokochynskyi, A.M. (2017). Melioratsiia I oblashtuvannia Ukrainskoho Polissia [Land reclamation and arrangement of Ukrainian Polissya]. Kherson : OLDI-PLUS, 1, 923. [in Ukrainian]
16. Frolenkova, N.A., Kozhushko, L.F., & Rokochynskyi, A.M. (2007). Ekoloho-ekonomichne otsinjuvannia v upravlinni melioratyvnymy proektamy [Ecological and economic assessment in the management of reclamation projects]. Rivne : NUVHP, 257. [in Ukrainian]
17. Yatsyk, M.V., Voropaj, G.V., & Moleshha, N.B. (2016). Pidvyshhennia vodosabespechenosti melioratyvnykh system humidnoyi sony [Improvement of water supply of amelioration systems of humid zone]. Melioratsiia i vodne hospodarstvo, 103, 63–68. [in Ukrainian]
18. Yatsyk, M.V., Skrypnyk O.V., Voroshnova L.M., Voropay, G.V., & Mozol, N.V. (2009). Resursooshchadna tekhnolohiya vodorehulyuvannya na meliorovanykh zemlyakh u zoni nadlyshkovoho zvolozhennya [Resource-saving technology of water regulation on reclaimed lands in the zone of excess moisture]. Melioratsiia i vodne hospodarstvo, 97, 67–76. [in Ukrainian]
19. Kuzmenko, S., & Belyak, M. (2015). Finansovi aspekty stanovlennia agrarnoho pidpryyemnytstva v zoni osushivalnykh melioratsii [Financial aspects of the formation of agricultural entrepreneurship in the area of drainage reclamation]. Ekonomist, 10, 36–38. [in Ukrainian]
20. Kernasjuk, Ju.V. (2020). Suchasnyi agrobiznes: chy vplyvaye rozmir na efektyvnist [Modern agribusiness: does size affect efficiency]. Agrobiznes sohodni, 11(426), 14–17. [in Ukrainian]
21. Yatsyk, M.B., Voropai, H.V., & Kika, S.M. (2017). Dosvid ta perspektyvy vyroshhuvannia vysokoproduktyvnykh kormovykh kultur (paisy, amarantu ta kormovykh bobiv) na osushuvanykh zemliakh v umovakh zmin klymatu [Experiences and prospects for growing high-yield fodder crops (barnyard, amaranth and fodder beans) on drained lands under climate change]. Visnyk ahrararanoi nauky, 105, 61–66. [in Ukrainian]

Г.В. Воропай

Современные аспекты научного обеспечения

восстановления дренажных систем гумидной зоны Украины

***Аннотация.** Определены современные аспекты научного обеспечения восстановления (реконструкции и модернизации) дренажных систем гумидной зоны Украины, которые определены по результатам анализа современного состояния и особенностей функционирования дренажных систем. Одним из приоритетных направлений является разработка научного обоснования повышения водообеспеченности дренажных систем. Наиболее эффективным и экономным технологическим приемом повышения водообеспеченности мелиорируемых территорий является аккумуляция местного дренажного стока. В условиях дефицита местного дренажного и поверхностного стока повышение водообеспечения мелиорируемых территорий осуществляется за счет забора и подачи на территорию мелиоративной системы дополнительных объемов воды из существующих водохранилищ, рек, прудов, озер, которые находятся как в пределах, так и за пределами систем. Современная структура сельскохозяйственного использования осушаемых земель гумидной зоны зависит как от климатических изменений, так и от конъюнктуры экспортного рынка. В агропроизводстве имеет место выращивание таких культур: зерновой пшеницы, подсолнечника, рапса, сои. Изменения направлений использования осушаемых угодий должны быть учтены при обосновании реконструкции или модернизации дренажных систем. Это позволит в соответствии с требованиями агропроизводства разработать и осуществить комплекс мероприятий по техническому переоснащению и реконструкции конкретной дренажной системы, внедрить прогрессивные ресурсосберегающие технологии выращивания экономично выгодных для агропроизводителей*

и обеспечить эффективное водорегулирование на осушаемых землях. Техническое состояние современных дренажных систем гумидной зоны характеризуется в основном двумя состояниями: удовлетворительным, при котором системы находятся в рабочем состоянии и могут выполнять свои функции в проектном режиме, и неудовлетворительным, при котором восстановление работоспособности дренажных систем является возможным только при условии проведения модернизации. Учитывая климатические изменения, к первоочередным мероприятиям по модернизации дренажных систем принадлежат работы по расширению их функциональных возможностей по регулированию водного режима на протяжении всего периода вегетации. Учитывая то, что стоимость модернизации по расширению возможностей разных типов систем (осушительные, осушительно-увлажнительные, пolderные и водооборотные) путем строительства на них оросительных систем значительно ниже по сравнению с их модернизацией до уровня осушительно-увлажнительных с использованием технологии шлюзования, предпочтение должно отдаваться строительству систем орошения.

Ключевые слова: гумидная зона, осушительные мелиорации, дренажная система, водообеспеченность мелиорируемых территорий, техническое состояние дренажных систем, восстановление дренажных систем

G.V. Voropay

Modern aspects of scientific support for the restoration of drainage systems in the humid zone of Ukraine

Abstract. Modern aspects of scientific support for the restoration (reconstruction and modernization) of drainage systems in the humid zone of Ukraine were determined, which were established based on the results of the analysis of the current state and features of drainage systems functioning. One of the priority areas is the development of a scientific justification of improving water supply for drainage systems. The most effective and economical technological method of increasing the water supply in reclaimed areas is the accumulation of local drainage runoff. Given the shortage of local drainage and surface runoff, increasing the water supply in reclaimed areas is provided by withdrawing and supplying to reclamation systems extra water volumes from existing reservoirs, rivers, ponds, lakes, located both within and beyond the systems. The current structure of agricultural use of drained lands in the humid zone is subject to both climate change and export market conditions. In agricultural production such crops as grain corn, sunflower, rapeseed, soybeans are cultivated. Changes in the use of drained land should be taken into account when justifying the reconstruction or modernization of drainage systems. This will enable to develop and implement a set of measures for technical re-equipment and reconstruction of drainage systems, introduce advanced resource-saving technology for growing economically attractive crops and ensure effective water regulation on drained land in accordance with the requirements of agricultural production. The technical state of modern drainage systems in the humid zone is mainly characterized by two conditions: satisfactory, when the systems are under operation (operational) and can perform their functions keeping the design mode, and unsatisfactory, when the restoration of drainage systems is only possible provided modernization measures. Given climate change, the priority measures for the modernization of drainage systems should include work to expand their functionality to regulate soil water regime throughout the growing season. In view of the cost of modernization to expand the functionality of different types of systems (drainage, drainage and irrigation, polder and water circulation) by constructing irrigation systems on them is much lower compared to modernize them to drainage and irrigation ones when using sluice technology, preference should be given namely to the construction of irrigation systems.

Key words: humid zone, drainage reclamation, drainage system, water supply of reclaimed areas, technical state of drainage systems, restoration of drainage systems

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202101-272>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/272>

УДК 633.31:631.53.01(477.7)

ВОДОСПОЖИВАННЯ ТА РЕЖИМ ЗРОШЕННЯ НАСІННЄВОЇ ЛЮЦЕРНИ В УМОВАХ РЕГІОНАЛЬНОЇ ЗМІНИ КЛІМАТУ В ПІВДЕННОМУ СТЕПУ УКРАЇНИ

С.П. Голобородько¹, докт. с.-г. наук, О.М. Димов², канд. с.-г. наук

¹ Інститут зрошувального землеробства НААН, Херсон, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-6968-985X>; e-mail: goloborodko1939@gmail.com;

² Інститут зрошувального землеробства НААН, Херсон, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-7839-0956>; e-mail: lksndrdymov@gmail.com

Анотація. У статті викладено результати наукових досліджень із встановлення насіннєвої продуктивності люцерни, вирощуваної на зрошуваних і неполивних землях південного Степу України. Доведено, що отримання стабільно високих урожаїв кондиційного насіння люцерни в умовах регіональної зміни клімату можливе лише за оптимального запасу продуктивної вологи в ґрунті, оскільки протягом останніх років вирощування культури проводиться за підвищеного температурного режиму й недостатньої кількості атмосферних опадів. Встановлено, що зрошення насіннєвої люцерни протягом вегетаційного періоду, незалежно від сорту й укосу, слід проводити за двома міжфазними періодами: «початок відростання (сходи) – початок бутонізації» та «початок бутонізації – початок цвітіння». У першому міжфазному періоді необхідно створювати умови для нормального росту й розвитку рослин, що досягається шляхом підтримання на темно-каштанових ґрунтах рівня передполивної вологості 0–100 сантиметрового шару в межах 70–75 % НВ і на чорноземах супіщаних – 55–60 %. У другому міжфазному періоді необхідно забезпечувати оптимальні умови для проходження продукційних процесів і формування врожаю кондиційного насіння, що досягається шляхом гальмування ростових процесів, оскільки люцерна зростатиме. Тому рівень передполивної вологості розрахункового шару на середньо- та важкосуглинкових ґрунтах необхідно підтримувати в межах 60–65 % НВ і 45–50 % НВ – на чорноземах супіщаних. Аналіз зміни природно-кліматичних умов, проведений протягом останніх років, свідчить, що в підзоні південного Степу вирощування люцерни на насіння можливе лише за умов розвинутого зрошувального землеробства. Ліквідація дефіциту природного зволоження, у поєднанні з високою забезпеченістю тепловими ресурсами й родючими темно-каштановими ґрунтами та чорноземами південними, є об'єктивною природною передумовою подальшого зростання насіннєвої продуктивності люцерни та зменшення її залежності від екстремальних погодних умов і, передусім, у середньосухі (75 %) та сухі (95 %) за забезпеченістю опадами роки.

Ключові слова: люцерна, насіння, водоспоживання, режим зрошення, клімат, урожайність, укіс, енергоємність

Актуальність дослідження. Найпоширенішою кормовою культурою в землеробстві високорозвинених країн світу, яка на початку ХХІ століття вирішує проблему збільшення виробництва рослинного білка та підвищення родючості ґрунтів, є люцерна. Нині на всіх континентах земної кулі люцерна вирощується у 80 країнах світу на площі 34 млн га, зокрема в країнах Європи – 6,0; Північної Америки – 12,0 (з них 9,8 у США і 2,2 – Канаді); Південної Америки – 7,4; Австралії – 2,0 млн га [1].

Вирощують люцерну в одновидових посівах й у складі люцерно-злакових травосумішок на орних землях та природних кормових угіддях для використання на зелений корм та заготівлі сіна й сінажу. В 100 кг зеленої маси люцерни міститься 18–22 кг кормових

одиниць; 4,1–4,8 кг перетравного протеїну та 6–7 г каротину. Розвиваючись у симбіозі з бульбочковими бактеріями, люцерна впродовж трьох–чотирьох років використання залишає після себе до 150–200 кг/га симбіотичного азоту в ґрунті, а тому в польових, кормових та овочевих сівозмінах є добрим попередником для всіх зернових і овочевих культур [2–5]. Велике значення люцерна має в зрошувальному й неполивному землеробстві і як фіто-меліоруюча культура, насамперед, на ґрунтах, схильних до вітрової та водної ерозії [6–9].

Основним обмежуючим фактором подальшого розширення посівних площ люцерни в підзоні південного Степу є недостатня кількість її насіння [10–12]. Головною причиною істотного скорочення посівних площ люцерни в Україні є низка важливих чинників, а саме:

© Голобородько С.П., Димов О.М., 2021

ліквідація спеціалізованих господарств, які займалися насінництвом культури; розпаювання земельних ресурсів та істотне скорочення поголів'я великої рогатої худоби. Зумовлено зменшення посівних площ і недосконалою матеріально-технічною базою спеціалізованих господарств, що залишилися, та забезпеченням їх засобами захисту рослин від шкідників, хвороб та бур'янів, а також істотним впливом регіональної зміни клімату в зоні Степу. Внаслідок цього посівні площі люцерни, вирощуваної на насіння, зменшилися в Україні до мінімальних розмірів. Для доведення посівних площ люцерни до оптимізованої потреби необхідно щорічно виробляти 28,0–30,0 тис. тонн насіння культури. Разом з тим основна кількість насіння в сучасних умовах господарювання виробляється дрібнотоварними господарствами, які вирощують його лише для власних потреб. Через це товарність вирощеного насіння не перевищує 10–15% проти 55–86% у 1986–1990 рр. Останнє зумовлено відсутністю необхідних фінансових коштів у дрібнотоварних землекористувачів для закупівлі насіння люцерни високих репродукцій. З цієї ж причини в 3–7 разів скоротився попит на базове та добазове насіння вітчизняної селекції, що призвело до порушення системи сортооновлення та сортозаміни загалом.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Люцерна належить до вологовивагливих культур і для нормального функціонування всіх процесів життєдіяльності рослин та отримання високих урожаїв насіння споживає значну кількість ґрунтової вологи [13]. При цьому режим зрошення насінневої люцерни значною мірою відрізняється від поливного режиму люцерни, вирощуваної на кормові цілі. Тому правильне регулювання водного режиму ґрунту за допомогою проведення вологозарядкових і вегетаційних поливів має забезпечувати оптимальне протікання ростових процесів, закладення та розвиток репродуктивних органів і виключати вилягання й так зване стеблуння рослин.

Згідно з дослідженнями Інституту зрошувального землеробства НААН при розробці поливних режимів насінневої люцерни слід враховувати загальну потребу рослин у воді за фазами їх росту й розвитку. При цьому рекомендовані режими зрошення повинні повністю забезпечувати водою рослини, які вирощуються, з урахуванням запасів продуктивної вологи в ґрунті, створюваної за рахунок атмосферних опадів, що випадають у зимовий та вегетаційний періоди, а також вологозарядкових та вегетаційних поливів [14].

Для люцерни, вирощуваної на насіння, характерний високий ступінь використання запасів вологи з різних шарів ґрунту. На темно-каштановому середньосуглинковому ґрунті рослини люцерни другого року використання із загальної кількості вологи в триметровому шарі з першого метра споживають 47–66%, другого – 30–35, з третього метра – 10–23%. Тому при закладанні насінневих посівів люцерни на ґрунтах із високим рівнем залягання ґрунтових вод вказану біологічну особливість культури завжди необхідно враховувати. Розміщення насінневих посівів люцерни слід проводити тільки на земельних площах з глибоким, більше 3,5 м, рівнем залягання ґрунтових вод [15].

Поряд з цим при розробці режимів зрошення насінневої люцерни необхідно враховувати основні біологічні особливості культури, які обумовлені тим, що хоча вказана бобова рослина і є багаторічною та багатокісною, надземна її частина: стебла, листя та суцвіття – живе лише один рік. Коренева система з коронкою (зоною кушення), залежно від виду, проростає на одному місці протягом декількох років і має високу пластичність, а тому люцерна вирощується в різних ґрунтово-кліматичних умовах.

Основна маса кореневої системи люцерни на різних типах ґрунтів знаходиться в 0–25-сантиметровому шарі й становить до 60% всієї маси коренів, що розміщуються в метровому шарі. На бічних коренях другого й третього порядків у великій кількості розташовуються дрібні бічні корінці, які зосереджені в більш глибоких (0–70 см) шарах ґрунту [16]. На дрібних коренях розташовані кореневі волоски, що є найбільш активною частиною кореневої системи, на яких розвиваються бульбочкові бактерії, що вільно фіксують азот атмосфери. За даними Снігового й В.М. Важова (1989) загальна маса кореневої системи люцерни першого року використання в 0–100 сантиметровому шарі ґрунту в умовах природного зволоження (без зрошення) досягає 3,91 т/га, другого – 5,32, третього року – 6,04 т/га, відповідно, при зрошенні (65–70% НВ) – 7,07 т/га, 11,55 і 13,54 т/га [17].

Першою визначальною біологічною особливістю насінневої люцерни є те, що вона тісно пов'язана з біологією її плодоутворення, яка повинна бути спрямована на максимальний розвиток генеративних органів – китиць, квіток, бобів та насіння в бобах й обмеження переростання вегетативної маси. Тому за вирощування люцерни на насіння необхідно

використовувати такі генотипи культури, у яких в орному шарі формується добре розгалужена коренева система з бічним корінням і слабкорозвиненим стрижневим коренем. Зазначений тип кореневої системи добре забезпечує елементами мінерального живлення генеративні органи, внаслідок чого обмежене надходження вологи з глибоких шарів ґрунту перешкоджає її стеблунню [18].

Другою біологічною особливістю люцерни є будова її кореневої системи, яка відіграє важливу роль у системі її удобрення. В процесі свого філогенетичного розвитку люцерна формує кореневу систему в шарі ґрунту 3–4 метри, проте поглинання добрив з глибоких, малозабезпечених елементами мінерального живлення шарів ґрунту, є дуже слабким. Останнє обумовлено тим, що поглинальна здатність кореневої системи люцерни тісно пов'язана з її диханням. За обмеженого доступу кисню дихання коренів у глибоких шарах ґрунту сильно погіршується, що викликає зниження засвоєння поживних речовин протягом вегетаційного періоду рослин культури [19].

Третя, не менш важлива біологічна особливість люцерни, полягає в тому, що до 70–72% азоту, який міститься в урожаї її вегетативної й генеративної маси, припадає на частку фіксованого бульбочковими бактеріями симбіотичного азоту з атмосфери. Інша частина необхідного для формування врожаю як вегетативної маси, так і насіння культури азоту (28–30%), забезпечується за рахунок родючості ґрунту або внесення азотних добрив [20; 21].

За нормального росту й розвитку люцерна споживає значну кількість ґрунтової вологи й формує велику площу листової поверхні, що перевищує багаторічні злакові трави та зернові культури в 4–6 разів. Посіви, зайняті люцерною, випаровують води в 12 разів більше, порівняно з озимими зерновими культурами, й у 8 разів більше, ніж ранні ярі. Тому вегетаційні поливи в розрахунковому 0–100-сантиметровому шарі ґрунту для люцерни, вирощуваної на насіння, протягом її вегетації повинні проводитися за двома міжфазними періодами: «початок відростання (сходи) – початок бутонізації» та «початок бутонізації – початок цвітіння». У першому міжфазному періоді необхідно забезпечувати умови для нормального росту й розвитку рослин, що досягається шляхом підтримання на темно-каштанових ґрунтах та чорноземах південних рівня передполивної вологості 0–100-сантиметрового шару в межах 70–75% НВ і 55–60% – на чорноземах супіщаних. У другому міжфаз-

ному періоді необхідно створювати умови для проходження процесів запліднення й плодотворення, що досягається шляхом гальмування ростових процесів. Тому рівень передполивної вологості розрахункового шару на середньо- та важкосуглинкових ґрунтах необхідно підтримувати в межах 60–65% НВ, а на чорноземах супіщаних – 45–50% НВ. Проте, через відсутність у даний час довготривалих наукових досліджень щодо впливу регіональної зміни клімату на вирощування сільськогосподарських культур у різні за забезпеченістю опадами роки, ще неможливо планувати й проводити своєчасні агротехнічні заходи, які б забезпечували отримання високих урожаїв [22–24].

Метою дослідження є узагальнення результатів багаторічних польових дослідів, проведених на зрошуваних землях південного Степу по встановленню водоспоживання насінневої люцерни в різні за забезпеченістю опадами роки, та розробка режимів зрошення культури в умовах регіональної зміни клімату.

Матеріали і методи досліджень. Основними чинниками, які визначають насінневу продуктивність люцерни, є: вибір найбільш продуктивного й адаптованого до місцевих умов сорту; способу й строку його сівби; тривалості використання насінневих посівів; вибір укусу, з якого доцільно отримувати урожай насіння; застосування енергоощадного режиму зрошення та системи удобрення; інтегрованої системи захисту посівів від шкідників, хвороб та бур'янів; видовий склад та чисельність диких поодиноких запилювачів; спосіб і строк збирання врожаю; погодно-кліматичні умови.

Двофакторний польовий дослід зі встановлення насінневої продуктивності різних сортів люцерни, залежно від режимів зрошення, проводили на зрошуваних землях Чалбаської піщаної ари, Олешківський район, Херсонська область. Схемою польового дослідження передбачалося визначення водоспоживання та режиму зрошення двох сортів люцерни (Херсонська 7 та Надежда) залежно від кількості вегетаційних поливів, що проводили за основними фазами росту й розвитку культури. Площа посівної ділянки – 120 м², облікової – 100 м². Норма висіву насіння обох сортів люцерни за широкорядного способу сівби – 5 кг/га [25].

Метод закладки польового дослідження – розщеплені ділянки, повторність чотириразова, розміщення варіантів у повтореннях – рендомізоване. Ділянки першого порядку ($S_1 = 6048 \text{ м}^2$) – сорти люцерни, другого

($S_2 = 2016 \text{ м}^2$) – кількість вегетаційних поливів за фазами росту й розвитку насінневої люцерни.

Сумарне водоспоживання розраховували за рівнянням водного балансу, застосування якого в умовах степової зони України можливе за виключення підживлення ґрунтовими водами верхніх шарів ґрунту й просочування води в глибокі шари [26; 27]. Глибина розрахункового шару ґрунту – 0–100 см. Збирання врожаю насіння широкорядкових посівів люцерни проводили комбайном «Сампо-500». Польові досліді виконували спільно з В.М. Петіним.

Вплив погодних умов на насінневу продуктивність люцерни пов'язаний з її біологічними особливостями й зумовлений тим, що походить ця рослина з країн Близького Сходу й Середньої Азії, де в умовах посушливого напівпустельного клімату, майже за повної відсутності опадів у літній період, вона використовувала лише обмежену кількість ґрунтової вологи.

В Україні подібні кліматичні умови спостерігають в підзоні південного Степу (Одеська, Миколаївська, Херсонська та південні райони Запорізької області). За період травень–вересень у сухі (95%) за забезпеченістю опадами роки тут випадає незначна кількість опадів: Одеська область – 199 мм, Миколаївська – 190 і Херсонська – 186 мм. Середньодобова температура повітря у III декаді травня – I червня, з початком цвітіння та плодоутворення насіння люцерни, в умовах Херсонської області складає 21,1–22,8°C [28].

Тому метою досліджень було встановлення впливу регіональної зміни клімату на проходження продукційних процесів за міжфазними періодами й формування врожаю насіння люцерни загалом за вегетаційний період в різні за забезпеченістю опадами роки. Закладання польових дослідів проводили на середньосуглинковому темно-каштановому ґрунті ДП «ДГ «Копані» ІЗЗ НААН, згідно з існуючими методиками польового досліді [29; 30].

Результати досліджень та їхнє обговорення. Дослідження по встановленню впливу регіональної зміни клімату на формування врожаю насіння люцерни свідчить про те, що в умовах природного зволоження (без зрошення) у південній частині зони Степу в сухі (95%) за забезпеченістю опадами роки, як протягом вегетаційного періоду, так і загалом за рік, випадала майже однакова кількість атмосферних опадів.

Аналіз зміни середньодобової температури повітря в південній частині зони Степу, проведений нами за останні 75 років,

свідчить, що протягом 2012–2020 рр., порівняно із середньою багаторічною за 65 років (1945–2010 рр.), вона була суттєво різною. Підвищення середньої температури повітря протягом вегетаційного періоду 2012–2020 рр., за одночасно недостатньої кількості атмосферних опадів, порівняно з 1945–2010 рр., призводило до суттєвого збільшення випаровуваності й зростання дефіциту вологозабезпечення. Так, за середньої температури повітря в 2012 р., рівної 21,1°C, й відносної вологості повітря 60% протягом вегетаційного періоду випаровуваність зростала до 944,0 мм, а дефіцит вологозабезпеченості досягав 757,4 мм.

Одночасно з підвищенням температури повітря в літній період року істотно зростала й тривалість температури вище 30°C. При цьому підвищення середньомісячної температури повітря протягом вегетаційного періоду 2012–2020 рр. на 1,7–3,1°C, порівняно із середніми багаторічними показниками за 65 років (1945–2010 рр.), свідчить про істотну зміну водного режиму в південній частині зони Степу. Величини випаровуваності й дефіциту вологозабезпечення протягом 2012–2020 рр. суттєво змінювалися й залежали від середньомісячної температури й відносної вологості повітря, а також кількості опадів, що випадали протягом вегетаційного періоду (рис. 1).

Як свідчать проведені дослідження, підвищення середньомісячної температури повітря в сухі (95%) за забезпеченістю опадами 2012 та 2018 роки відбувалося навесні, влітку й восени. У весняні місяці (III–V) температура повітря, порівняно із середньою багаторічною за 65 років (1945–2010 рр.), була вищою на 2,7°C, або на 28,4%, відповідно, літні (VI–VIII) – 2,8°C, тобто на 12,9%, осінні (IX–XI) – на 3,3°C, або 32,3%.

У середньому за 65 років спостережень (1945–2010 рр.) випаровуваність, розрахована за Н.Н. Івановим [31], не перевищувала 722,0 мм, відповідно, дефіцит вологозабезпечення – 487,4 мм. У вологі (5%) за забезпеченістю опадами роки випаровуваність знижувалася до 608,6 мм, а дефіцит вологозабезпечення – до 243,6 мм. У середньовологі (25%) та середні (50%) за забезпеченістю опадами роки випаровуваність зростала до 645,7–746,3 мм, а дефіцит вологозабезпечення – відповідно до 406,7–507,7 мм (рис. 2).

Кількість атмосферних опадів, що випадали в зимовий період (грудень–лютий) у середньому за 65 років спостережень (1945–2010 рр.), не перевищувала 93,0 мм

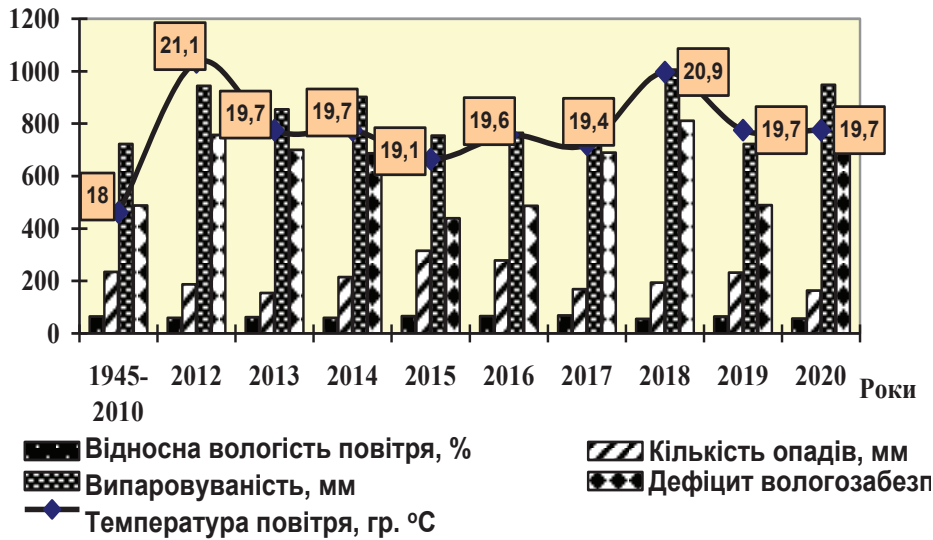


Рис. 1. Гідротермічні показники вегетаційного періоду (квітень–вересень) сільськогосподарських культур у різні за забезпеченістю опадами роки

Джерело: за даними метеорологічної станції м. Херсон

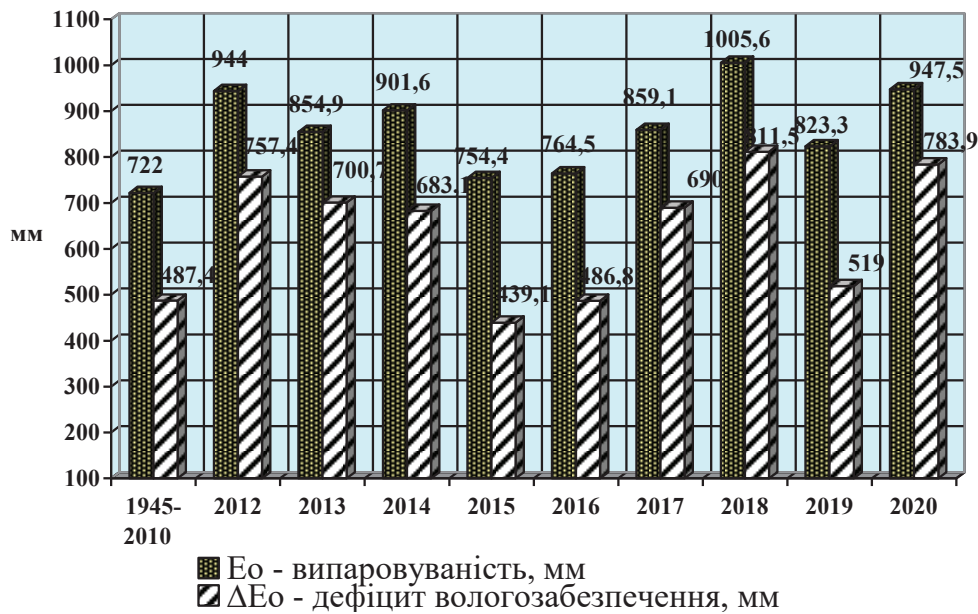


Рис. 2. Випаровуваність (Ео) і дефіцит вологозабезпечення (ΔЕо) протягом вегетаційного періоду сільськогосподарських культур у південному Степу України

Джерело: за даними метеорологічної станції м. Херсон

(22,4%), відповідно, у весняний (березень–травень) – 93,7 (22,5%); літній (червень–серпень) – 126,3 (30,4%) і осінній (вересень–листопад) – 102,7 мм (24,7%).

Усього за вказані пори року випало 415,7 мм, зокрема і за вегетаційний період (квітень–вересень) – 232,6 мм. У сухому (95%) за забезпеченістю опадами 2018 р. протягом зими випало 113,7 мм (27,8%), відповідно, весни – 98,3 (24,0%), літа – 113,9 мм (27,8%) і осені – 83,5 мм (20,4%), усього – 409,4 мм, із

яких 194,1 мм випало за вегетаційний період люцерни (квітень–вересень). При цьому зменшення кількості атмосферних опадів у сухому (95%) за забезпеченістю опадами 2018 р. спостерігалось лише протягом літнього й осіннього періодів вегетації сільськогосподарських культур.

Проте, поряд із дещо меншою кількістю опадів, що випадали у сухі (95%) за забезпеченістю опадами роки, відбувалося істотне підвищення середньодобової температури

й зниження відносної вологості повітря, внаслідок чого проходило зростання випаровуваності до 279,0 мм (38,4%) й дефіциту вологозабезпечення – до 317,5 мм (64,3%). При цьому найбільше підвищення середньодобової температури повітря в сухому (95%) за забезпеченістю опадами 2018 р. спостерігалось навесні, літом та восени, яке у середньому за вегетаційний період (квітень–вересень) досягло 3,0°C (рис. 3).

Загалом екстремальні гідротермічні умови за підвищеної температури повітря й незначної кількості опадів, що випадали протягом вегетаційного періоду, були вкрай несприятливими для росту й розвитку більшості сільськогосподарських культур, що вирощувалися, оскільки за вказаних умов кількість продуктивної вологи в ґрунті не збільшується [32]. Особливо вказане явище протягом останніх років спостерігається в сухі (95%) за забезпеченістю опадами роки і, насамперед у 2007, 2012, 2017, 2018 та 2020 роки.

Останнє потребує впровадження в сільськогосподарське виробництво удосконалених технологій вирощування сільськогосподарських культур, з використанням високоурожайних сортів, більш адаптованих до нових природно-кліматичних умов, зокрема і на зрошуваних землях південної частини зони Степу. Вказана вимога пов'язана, передусім, з істотно зростаючою вірогідністю прояву середньосухих (75%) та сухих (95%) за забезпеченістю опадами років, у які дефіцит вологозабезпечення, особливо протягом останніх десяти років, зростає до 757–811 мм.

Аналіз зміни гідротермічних умов при вирощуванні сільськогосподарських культур

у сухі (95%) за забезпеченістю опадами роки свідчить, що підвищення середньомісячної температури повітря відбувається навесні, влітку та восени. Так, у сухому (95%) за забезпеченістю опадами 2018 році середньомісячна температура повітря, порівняно з середньою багаторічною за 1945–2010 рр., у весняні місяці (IV–V) була вищою на 3,3–4,1°C, відповідно, у літні (VI–VIII) на 2,5–3,5°C (8,7%) і у вересні (IX) – на 2,2°C, або на 13,3%. Підвищення середньодобової температури й зниження відносної вологості повітря, за вкрай недостатньої кількості атмосферних опадів, що випадали в сухі (95%) за забезпеченістю опадами роки, суттєво сприяло зростанню випаровуваності й дефіциту вологозабезпечення.

Фактичні показники зміни гідротермічних умов і, передусім зростання середньомісячної температури повітря й зменшення кількості атмосферних опадів у різні за забезпеченістю опадами роки, свідчать про істотну нестабільність надходження природної вологи, що призводить до поступових змін існуючих агроландшафтів у південному Степу України й значного зниження продуктивності сільськогосподарських культур (табл. 1).

Так, підвищення середньомісячної температури повітря протягом вегетаційного періоду (IV–IX місяці) 2018 р., порівняно з 1945–2010 рр. на 3,0°C, за одночасно недостатньої кількості атмосферних опадів, призвело до істотного зростання випаровуваності й дефіциту вологозабезпечення. Загалом випаровуваність та дефіцит вологозабезпечення в сухому (95%) за забезпеченістю опадами 2018 р. протягом вегетаційного періоду насінневої люцерни істотно змінювалися й залежали

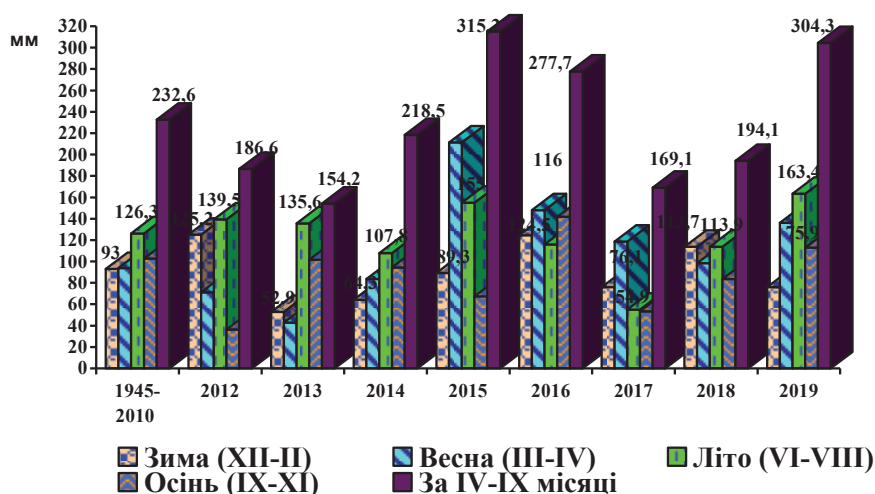


Рис. 3. Кількість атмосферних опадів за сезонами року та протягом вегетаційного періоду (квітень–вересень) у південному Степу України
Джерело: за даними метеорологічної станції м. Херсон

1. Забезпеченість років атмосферними опадами протягом вегетаційного періоду (квітень–вересень) сільськогосподарських культур у південному Степу України

Роки за забезпеченістю опадами														
вологі (5%)			середньовологі (25%)			середні (50%)			середньосухі (75%)			сухі (95%)		
рік	опадів, мм	забезпеченість, %	рік	опадів, мм	забезпеченість, %	рік	опадів, мм	забезпеченість, %	рік	опадів, мм	забезпеченість, %	рік	опадів, мм	забезпеченість, %
1980	279,0	9,8	1982	286,3	18,3	1979	273,1	45,7	1986	163,9	83,4	2002	177,4	80,0
1985	361,0	6,3	1987	221,9	20,0	1981	221,4	52,6	1992	168,0	67,9	2007	143,5	96,4
1988	369,1	8,0	1989	196,2	32,0	1983	268,8	42,3	2003	226,8	74,8	2012	186,6	93,4
1997	426,6	2,9	1990	248,3	16,6	1984	204,8	49,1	2006	182,2	77,7	2014	215,2	89,1
2004	407,2	8,5	1991	230,1	28,6	1994	227,9	61,1	2009	205,6	77,6	2017	169,1	89,5
			1993	179,8	37,1	1995	275,3	40,6	2011	185,5	72,0	2018	194,1	96,4
			2000	371,3	14,9	1996	213,1	56,0	2013	154,2	86,2			
			2008	270,0	15,2	1998	299,1	44,0						
			2010	285,9	32,2	1999	216,4	57,7						
			2015	315,3	24,8	2001	244,2	50,8						
			2019	304,3	30,1	2005	216,8	49,9						
						2016	277,7	38,3						
\bar{x}_0	368,6	7,1		264,5	24,5		244,9	49,0		183,7	77,1		181,0	90,8

Джерело: за даними метеорологічної станції м. Херсон

від середньомісячної температури й відносної вологості повітря та кількості атмосферних опадів. Загалом середньодобова температура за вегетаційний період насінневої люцерни досягла 20,9°C, й відносна вологість повітря –

56,0%, через що випаровуваність зростала до 1005,6 мм, тобто більше середньої багаторічної на 283,6 мм, або на 39,2%, а дефіцит вологозабезпеченості, відповідно, до 811,5 мм, або більше на 324,1 мм, або 66,5% (табл. 2).

2. Гідротермічні показники в сухому (95%) за забезпеченістю опадами 2018 р. у порівнянні із середніми багаторічними показниками за 1945–2010 рр.

Місяць	Показники					
	середня температура повітря, °C	відносна вологість повітря, %	сума опадів, мм	випаровуваність, мм	дефіцит вологозабезпечення, мм	коефіцієнт зволоження
Сухий (95%) за забезпеченістю опадами 2018 р.						
Квітень	14,1	58	1,6	115,6	114,0	0,01
Травень	19,5	59	35,7	146,1	110,4	0,24
Червень	22,9	51	23,1	202,4	179,3	0,11
Липень	24,2	61	90,8	169,9	79,1	0,53
Серпень	25,5	46	0,1	247,9	247,8	0,01
Вересень	18,7	64	42,8	123,7	80,9	0,34
За IV–IX	20,9	56	194,1	1005,6	811,5	0,19
Середні багаторічні показники за 1945–2010 рр.						
Квітень	10,0	68	27,5	70,6	43,1	0,39
Травень	16,2	65	41,8	106,9	65,1	0,39
Червень	20,4	64	50,4	133,6	83,2	0,38
Липень	22,7	61	42,6	159,7	117,1	0,27
Серпень	22,0	61	34,2	155,1	120,9	0,22
Вересень	16,5	69	38,1	96,1	58,0	0,40
За IV–IX	18,0	65	234,6	722,0	487,4	0,32

Джерело: за даними метеорологічної станції м. Херсон

Протягом вегетаційного періоду 1945–2010 рр. середня температура повітря у квітні–травні досягала 10,0–16,2 °С, у червні–серпні – 20,4–22,6 °С, відповідно, відносна вологість повітря у квітні–травні складала 65–68%, червні – 64% і липні та серпні – 61%. За таких гідротермічних умов випаровуваність у середньому за шістьдесят п'ять років спостережень (1945–2010 рр.) складала 722,0 мм, кількість атмосферних опадів не перевищувала 234,6 мм, а дефіцит вологозабезпечення досягав 487,4 мм.

Аналіз впливу гідротермічних умов, як основних нерегульованих факторів, на формування урожаю насіння люцерни свідчить про те, що в умовах підзони південного Степу в сухому (95%) за забезпеченістю опадами 2018 р. у весняні, літні та осінні місяці спостерігалось істотне зростання дефіциту вологозабезпечення, насамперед, у квітні, травні, червні, серпні та вересні. Поряд зі зростанням дефіциту вологозабезпечення, в літній період року суттєво зростала й тривалість літньої спеки з максимальною температурою повітря до 36,8–38,2 °С, що в незрошуваних умовах призводило до зниження врожаю більшості сільськогосподарських культур. Тому при проведенні поливних режимів враховували як загальну потребу насінневої люцерни у воді за фазами її росту й розвитку, так і вплив гідротермічних умов на ріст і розвиток культури. При цьому рекомендовані режими зрошення повинні були повністю забезпечувати водою рослини, з визначенням запасів продуктивної вологи в ґрунті, створюваної за рахунок

опадів, що випадали у зимовий та вегетаційний періоди, а також урахуванням вологозарядкових та вегетаційних поливів.

Режим зрошення насінневих посівів люцерни другого й третього років використання, за отримання насіння з першого й другого укусу, складається з вегетаційних та освіжаючих поливів. При цьому слід враховувати й те, що основні фази росту й розвитку люцерни, незалежно від укусу, проходять у літні місяці, тобто в умовах високих температур й пониженої відносної вологості повітря. Тому планування поливного режиму насінневої люцерни повинно базуватися на встановленні запасів продуктивної вологи в 0–100 сантиметровому шарі ґрунту з урахуванням прогнозних погодних умов, які можуть бути протягом літнього періоду вегетації культури.

Встановлено, що найбільше сумарне водоспоживання насінневої люцерни спостерігається в міжфазному періоді «масове цвітіння–дозрівання насіння», яке у середньовологі (25%) за забезпеченістю опадами роки, незалежно від укусу, з якого отримують насіння, досягає 2090–2270 м³/га, відповідно, у середні (50%) – 2150–2210, середньосухі (75%) – 2440–2500 і сухі (95%) за забезпеченістю опадами роки – 2590–2620 м³/га (табл. 3).

За отримання насіння з першого укусу сумарне водоспоживання насінневих посівів люцерни другого–третього років використання в середньовологі (25%) за забезпеченістю опадами роки становить 4430 м³/га, відповідно, середні (50%) – 4580, середньосухі (75%) – 5150 і в сухі (95%) – 5470 м³/га.

3. Сумарне водоспоживання насінневої люцерни другого року використання залежно від укусу й року забезпеченості опадами

Укіс	Міжфазні періоди	Календарні дати	Тривалість, діб	Сумарне водоспоживання в різні за забезпеченістю опадами роки, м ³ /га			
				середньовологі (25%)	середні (50%)	середньосухі (75%)	сухі (95%)
I	Пв–Пб	23.03–15.05	54	840	970	1150	1210
	Пб–Пц	16.05–31.05	16	840	920	910	990
	Пц–Мц	01.06–12.06	12	480	540	590	680
	Мц–Дн	13.06–10.08	61	2270	2150	2500	2590
Усього			143	4430	4580	5150	5470
II	Пв–Пб	12.05–13.06	32	610	730	740	600
	Пб–Пц	14.06–23.06	10	990	980	1210	1220
	Пц–Мц	24.06–01.07	8	540	580	630	690
	Мц–Дн	02.07–25.08	55	2090	2210	2440	2620
Усього			105	4230	4500	5020	5130

Примітка: Пв – початок відростання; Пб – початок бутонізації; Пц – початок цвітіння; Мц – масове цвітіння; Дн – дозрівання насіння

Джерело: за даними метеорологічної станції м. Херсон

Тому в умовах регіональної зміни клімату в південній частині зони Степу в середньосухі (75%) та сухі (95%) за забезпеченістю опадами роки необхідно було проводити осінній вологозарядковий полив нормою 500–600 м³/га. На фоні вологозарядкового поливу до масової бутонізації потрібне проведення, здебільшого, одного вегетаційного поливу нормою 500–600 м³/га. Якщо під час цвітіння рослин настає повітряна посуха (мінімальна відносна вологість нижче 30%), то поряд із вегетаційними поливами необхідно проводити й освіжаючі поливи нормою 50–200 м³/га через кожні 2–3 доби протягом суховійного періоду. Комплексне проведення вегетаційних і освіжаючих поливів у посушливих умовах другої половини вегетації люцерни забезпечує формування врожайності кондиційного насіння до 500–560 кг/га.

Ріст і розвиток рослин люцерни в другому укосі суттєво залежить від терміну скошування насінневого травостою, оскільки проходження ростових процесів і формування врожаю насіння культури проходить у літні місяці в умовах високих температур та низької відносної вологості повітря. За отримання насіння люцерни з другого укосу сумарне водоспоживання насінневих посівів культури другого–третього року життя в середньовологі (25%) за забезпеченістю опадами роки становить – 4230 м³/га, середні (50%) – 4500, середньосухі (75%) – 5020 і в сухі (95%) – 5130 м³/га. При цьому одразу ж після скошування й прибирання зеленої маси з поля необхідно проводити вегетаційний полив на відростання насінневої люцерни нормою 500–600 м³/га. Тому режим зрошення насінневої люцерни за отримання врожаю з другого укосу повинен базуватися на врахуванні вмісту запасу продуктивної вологи в ґрунті, погодних умов, що складаються, та біологічних особливостей сортів люцерни, що вирощуються.

У середньовологі (25%) та середні (50%) за забезпеченістю опадами роки максимальний врожай кондиційного насіння люцерни, за отримання врожаю з другого укосу, забезпечується за проведення одного вегетаційного поливу нормою 500–600 м³/га в період масової бутонізації культури. У середньосухі (75%) та сухі (95%) за забезпеченістю опадами роки для отримання високих урожаїв насіння люцерни з другого укосу в підзоні південного Степу України, окрім вегетаційного поливу на відростання, необхідне проведення двох–трьох вегетаційних поливів нормою 500–600 м³/га. Залежно від погодних умов, що складаються до масової бутонізації, здебільшого, потрібно

проведення одного вегетаційного поливу, а в міжфазний період «початок цвітіння–масове цвітіння» – одного–двох поливів. Так само, як і в першому укосі, ефективно проведення освіжаючих поливів, особливо за наявності суховіїв під час цвітіння рослин люцерни.

Основні економічні показники режимів зрошення насінневої люцерни другого–третього року використання за отримання врожаю на чорноземі супіщаному з першого укосу найбільшою мірою залежали від величини врожайності, вартості 1 тонни насіння й суми прямих витрат на її вирощування.

У контрольному варіанті (без вегетаційних поливів) витрати грошових коштів на вирощування насіння люцерни на 1 га становили 752,5 грн. За проведення одного вегетаційного поливу нормою 600 м³/га вони збільшуються до 940,2 грн/га, відповідно, двох – 1214,0 і трьох – 1324,4 грн/га. Собівартість 1 кг кондиційного насіння у варіанті без поливів виявилася найвищою й становила 13,68 грн сорту Херсонська 7 і 10,91 грн – сорту Надежда. За вирощування насінневої люцерни без зрошення умовно чистий прибуток обох сортів не перевищував 3097,5–4077,5 грн/га, оскільки врожайність кондиційного насіння їх була низькою й складала 55–69 кг/га. Проведення одного вегетаційного поливу в міжфазний період «початок відростання–початок бутонізації» сприяло зростанню врожаю насіння культури й зниженню його собівартості до 3,06–3,81 грн/кг та отриманню умовно чистого прибутку з 1 га до 16349,8–20549,8 грн (табл. 4).

Два вегетаційних поливи, які проводили за міжфазними періодами «початок відростання–початок бутонізації» та «початок бутонізації–початок цвітіння», сприяли зниженню собівартості 1 кг насіння люцерни сорту Херсонська 7 до 3,19 грн і 2,09 грн – сорту Надежда й зростанню умовно чистого прибутку з 1 га до 25456–39386 грн.

Проведення трьох вегетаційних поливів у вищезазначені міжфазні періоди насінневої люцерни сприяло подальшому зниженню собівартості 1 кг кондиційного насіння. При затратах на 1 га, незалежно від сорту, рівних 1324,4 грн, і врожайності кондиційного насіння сорту Херсонська 7–422 кг/га, собівартість 1 кг насіння досягала 3,14 грн, відповідно, сорту Надежда – 703 кг/га та 1,88 грн. До того ж умовно чистий прибуток за вищевказаної врожайності кондиційного насіння зростав до 28216–47886 грн/га.

Витрати сукупної енергії на вирощування й збір врожаю насіння люцерни першого року використання без проведення вегетаційних

4. Економічна та енергетична ефективність вирощування люцерни на насіння за різних режимів зрошення в південному Степу України (в середньому за 3 роки)

Кількість вегетаційних поливів за міжфазними періодами (В)				Урожайність насіння, кг/га	Затрати на 1 га		Умовно чистий прибуток, грн/га	Собівартість 1 кг насіння, грн	Затрати енергії на 1 кг насіння, МДж
Пв-Пб	Пб-Пц	Пц-Мц	Мц-Дн		МДж	грн			
Сорти люцерни (А)									
Сорт Херсонська 7 (А1)									
Без поливів (контроль)				55	11144	752,5	3097,5	13,68	202,62
1	0	0	0	247	13399	940,2	16349,8	3,81	54,25
1	1	0	0	381	15986	1214,0	25456,0	3,19	41,96
1	1	1	0	422	18574	1324,4	28215,6	3,14	44,01
Сорт Надежда (А2)									
Без поливів (контроль)				69	11144	752,5	4077,5	10,91	161,51
1	0	0	0	307	13399	940,2	20549,8	3,06	43,64
1	1	0	0	580	15986	1214,0	39386,0	2,09	27,56
1	1	1	0	703	18574	1324,4	47885,6	1,88	26,42

Примітка: Оцінка істотності часткових відмінностей: НР05 сорт – 168 кг/га; НР05 зрошення – 93 кг/га. Пв–Пб – початок відростання–початок бутонізації; Пб–Пц – початок бутонізації–початок цвітіння; Пц–Мц – початок цвітіння – масове цвітіння; Мц–Дн – масове цвітіння–дозрівання насіння

поливів (контроль) у південній частині зони Степу України складають 11144 МДж/га. За отримання врожайності кондиційного насіння в зазначеному варіанті, рівної 55–69 кг/га, вирощування насіння культури без проведення вегетаційних поливів було енерговитратним, оскільки енергоємність виробництва 1 кг насіння досягала 161,51–202,62 МДж.

Проведення на насінневі люцерні в міжфазний період «початок відростання–початок бутонізації» одного вегетаційного поливу й освіжаючих поливів сприяло підвищенню врожайності насіння сортів люцерни до 247–307 кг/га, й за енергетичних витрат 13399 МДж/га сприяло зниженню затрат енергії на виробництво 1 кг насіння до 43,64–54,25 МДж.

Два вегетаційних поливи, які проводили на насінневі люцерні в міжфазні періоди «початок відростання–початок бутонізації» та «початок бутонізації–початок цвітіння», за врожайності кондиційного насіння, рівної 381–580 кг/га, сприяли зниженню енергоємності 1 кг насіння до 27,56–41,96 МДж.

Три вегетаційних поливи, проведені у зазначені міжфазні періоди росту й розвитку насінневої люцерни, призводили до підвищення енергетичних витрат до 18574 МДж на 1 га. Проте, за найбільш високої врожайності кондиційного насіння, отриманої в даному варіанті, рівної 422 кг/га по сорту Херсонська 7 і 703 кг/га – сорту Надежда, сприяли зниженню енергетичних витрат на виробництво 1 кг насіння до 26,42–44,01 МДж.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Основним лімітуючим фактором отримання стабільно високих урожаїв кондиційного насіння люцерни в південній частині зони Степу є дефіцит продуктивної вологи в ґрунті, оскільки вирощування культури, як і більшості сільськогосподарських культур, у сучасних умовах господарювання проводиться в умовах недостатнього природного зволоження. Зрошення насінневої люцерни протягом її вегетаційного періоду, незалежно від укосу, слід проводити за двома міжфазними періодами: «початок відростання (сходи) – початок бутонізації» та «початок бутонізації – початок цвітіння». У першому міжфазному періоді необхідно забезпечувати умови для нормального росту й розвитку рослин, що досягається шляхом підтримання на темно-каштанових ґрунтах рівня передполивної вологості 0–100 сантиметрового шару в межах 70–75% НВ і 55–60% – на чорноземах супіщаних. У другому міжфазному періоді необхідно створювати умови для проходження процесів запліднення й плодоутворення, що досягається шляхом гальмування ростових процесів. Тому рівень передполивної вологості розрахункового шару на середньо- та важкосуглинкових ґрунтах необхідно підтримувати в межах 60–65% НВ й 45–50% НВ – на чорноземах супіщаних.

Для отримання високих урожаїв кондиційного насіння люцерни в першому укосі найбільш ефективним в умовах південної частини зони Степу є проведення двох

вегетаційних поливів у міжфазні періоди: «початок відростання–початок бутонізації» та «початок бутонізації–початок цвітіння». Третій вегетаційний полив у міжфазний період «початок цвітіння–масове цвітіння» доцільно проводити лише в сухі (95%) за забезпеченістю опадами роки. За тривалого прояву в міжфазний період «масове цвітіння–формування бобів» літньої спеки, з максимальною температурою повітря до 36–38°C, на насінневих посівах люцерни другого та третього років використання необхідно проводити також і освіжаючі поливи нормою 50–200 м³/га, особливо за наявності суховіїв під час цвітіння рослин.

Режим зрошення насінневої люцерни при отриманні врожаю з другого укосі істотно залежить від терміну скошування зеленої маси насінневого травостою, а також вмісту запасу продуктивної вологи в ґрунті та погодних умов, що складаються. Тому основною задачею, за вирощування насінневої люцерни в другому укосі, є своєчасне збирання врожаю зеленої маси, яка сформувалася в першому укосі, та проведення вегетаційного поливу на відростання поливною нормою 500–600 м³/га, що значною мірою залежить від року забезпеченості опадами та строків скошування культури.

Окрім вегетаційного поливу на відростання, для отримання високих урожаїв насіння люцерни в другому укосі, особливо у середньосухі (75%) та сухі (95%) за забезпеченістю опадами роки, необхідне проведення одного–двох вегетаційних поливів у міжфазні періоди

«початок бутонізації – початок цвітіння» та «початок цвітіння–масове цвітіння» тією ж нормою. Якщо в міжфазний період «початок цвітіння–масове цвітіння», як і в першому укосі, наступають тривалі суховії, ефективно проведення на насінневій люцерні другого та третього років використання також і освіжаючих поливів, особливо за наявності суховіїв під час цвітіння рослин культури.

Аналіз зміни природно-кліматичних умов протягом останніх років у підзоні південного Степу свідчить, що вирощування люцерни на насіння за регіональної зміни клімату можливе лише за розвинутого зрошувального землеробства. Тому ліквідація дефіциту вологозабезпечення, у поєднанні з високими тепловими ресурсами й родючими чорноземними та темно-каштановими ґрунтами, є об'єктивною природною передумовою подальшого розвитку зрошувального землеробства. Вказане слід розглядати як фактор істотного впливу на зростання продуктивності сільськогосподарських культур та зменшення їх залежності від екстремальних погодних умов і, передусім, у середньосухі (75%) та сухі (95%) за забезпеченістю опадами роки.

Природно-кліматична зона Степу характеризується різними ґрунтово-кліматичними умовами, через що впроваджені оптимізовані режими зрошення насінневої люцерни, за основними фазами росту й розвитку культури, повинні проводитись під постійним контролем за вмістом продуктивної вологи в 0–100 сантиметровому шарі ґрунту.

Бібліографія

1. Иванов А.И. Люцерна. Москва : Колос, 1980. 322 с.
2. Бурнашева М.А. Вопросы селекции и семеноводства люцерны. Ташкент : ФАН, 1977. 120 с.
3. Важов В.М. Эффективность орошения и удобрения семенных посевов люцерны. *Селекция и семеноводство*. 1983. № 3. С. 33–34.
4. Василько В. Урожайность семян люцерны во втором укосе при орошении в зависимости от сроков скашивания первого укоса. *Труды Кубанского СХИ*. 1986. Вып. 223. С. 13–19.
5. Вербицкая Л.П. Люцерна на семена в Краснодарском крае. Краснодар : Краснодарское книжное издательство, 1981. С. 3–61.
6. Бутми Т.К. Возделывание семенной люцерны в Калифорнии. *Сельское хозяйство за рубежом*. 1979. № 7. С. 22–23.
7. Валиев В., Харитонов И. Люцерна и органическое вещество почвы / Возделывание сельскохозяйственных культур. Ашхабад : Госиздат, 1979. С. 47–49.
8. Вошинин П. Семеноводство люцерны в штате Вашингтон. *РЖ «Кормовые культуры»*. 1987. № 2. С. 23.
9. Лозовіцький П.С. Поповнення гумусу у ґрунтах Інгулецької зрошувальної системи за рахунок кореневих залишків сільськогосподарських культур / *Зрошуване землеробство : зб. наук. праць*. 2010. Вып. 54. С. 198–210.
10. Наукові основи вирощування насіння багаторічних трав у степовій зоні України : науково-методичні рекомендації [Текст] / Вожегова Р.А. та ін. / Херсон : Грінь Д.С., 2015. 187 с.
11. Вожегова Р.А., Голобородько С.П., Нестерчук В.В. Агробіологічні основи консервації деградованих земель у південному Степу України : монографія. Херсон : Олді-плюс, 2016. 261 с.

12. Голобородько С.П., Погинайко О.А. Люцерна... на корм, на насіння. *Агро Перспектива*. 2014. № 4(166). С. 60–65.
13. Шевель І.В. Сумарне водоспоживання люцерни при зрошенні. *Вісник аграрної науки*. 2002. № 9. С. 67–69.
14. Писаренко В.А. Водопотребление и режим орошения семенной люцерны / Возделывание семенной люцерны на орошаемых землях юга Украины. Київ : Наукова думка, 1984. С. 18–20.
15. Писаренко В.А. Водопотребление и режим орошения кормовых культур / Интенсивное кормопроизводство на орошаемых землях. Київ : Урожай, 1989. С. 76–81.
16. Важов В.М. Развитие корневой системы люцерны при поливе. *Земледелие*. 1979. № 7. С. 37.
17. Снеговой В.С., Важов В.М. Продуктивность люцерны в агроценозе. Кишинев : Штиинца, 1989. 186 с.
18. Бернгердт И.И. Особенности формирования семян люцерны и ее урожай при разных способах посева и орошения. *Селекция и семеноводство*. 1988. № 3. С. 45–47.
19. Голодковский В.Л., Голодковская Л.Л. Корневая система люцерны и плодородие почвы / Биология семенной люцерны. Ташкент : СоюзНИХИ УзССР, 1937. 76 с.
20. Адамень Ф.Ф. Азотфіксація та основні напрямки поліпшення азотного балансу ґрунтів. *Вісник аграрної науки*. 1999. № 2. С. 9–16.
21. Мильто Н.И. Клубеньковые бактерии и продуктивность бобовых растений. Минск : Наука и техника, 1982. 220 с.
22. Клімат України: у минулому... і майбутньому? : монографія / Кульбіда М.І. та ін. / за ред. Кульбіди М.І., Барабаш М.Б. Київ : Сталь, 2009. 234 с.
23. Мартазинова В.Ф., Иванова Е.К., Чайка Д.Ю. Изменения крупномасштабной атмосферной циркуляции воздуха на протяжении XX века и ее влияние на погодные условия и региональную циркуляцию воздуха в Украине. *Геофізичний журнал*. 2006. Т. 28. № 1. С. 51–60.
24. Семёнова И.Г. Метеорологические и синоптические условия засухи в Украине осенью 2011 г. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2012. № 10. С. 58–64.
25. Голобородько С.П., Петин В.Н. Режим орошения и водопотребления семенной люцерны на песчаных землях Нижнего Днепра. *Доклады ВАСХНИЛ*. 1983. № 7. С. 24–26.
26. Костяков А.Н. Основы мелиорации. Москва : Сельхозгиз, 1951. 752 с.
27. Горянский М.М. Методика полевых опытов на орошаемых землях. Киев : Урожай, 1970. 82 с.
28. Агrometeorологічний бюлетень по території Херсонської області. Херсон : Херсонський обласний центр з гідрометеорології, 1976–2019 рр.
29. Методика польового дослідження : навчальний посібник / Ушкаренко В.О. та ін. Херсон : Грінь Д.С., 2014. 445 с.
30. Медведовський О.К., Іваненко П.І. Енергетичний аналіз інтенсивних технологій в сільськогосподарському виробництві. Київ : Урожай, 1988. 205 с.
31. Иванов Н.Н. Показатель биологической эффективности климата. *Известия Всесоюзного географического общества*. 1962. Т. 94. Вып. 1. С. 65–70.
32. Негіс І.Т. Чи висохнуть наші Степи? *Пропозиція*. 2009. № 8. С.62–64.

References

1. Ivanov, A.I. (1980). Liutserna [Alfalfa]. Moskwa : Kolos. [in Russian]
2. Burnasheva, M.A. (1977). Voprosy selektsyi i semenovodstva liutserny [Issues of alfalfa breeding and seed production]. Tashkent : FAN. [in Russian]
3. Vazhov, V.M. (1983). Effektivnost orosheniia i udobreniia semennykh posevov liutserny [Efficiency of irrigation and fertilization of alfalfa seed crops]. Selektysia i semenovodstvo – Selection and seed production, 3, 33–34. [in Russian]
4. Vasylyko, V. (1986). Urozhainnost semian liutserny vo vtorom ukose pri oroshenii v zavisimosti ot srokov skashyvaniia pervoho ukosa [Yield of alfalfa seeds in the second mowing during irrigation, depending on the mowing time of the first mowing]. Trudy Kubanskoho SKHI – Works of the Kuban Agricultural Institute, 223, 13–19. [in Russian]
5. Verbitskaia, L.P. (1981). Liutserna na semena v Krasnodarskom kraie [Alfalfa for seeds in the Krasnodar territory]. Krasnodar : Krasnodarskoie knizhnoie izdatelstvo. [in Russian]
6. Butmi, T.K. (1979). Vozdelyvaniie semennoi liutserny v Kalifornii [Cultivation of seed alfalfa in California]. Selskoie khoziaistvo za rubezhom – Agriculture abroad, 7, 22–23. [in Russian]

7. Valiev, V., & Kharitonova, I. (1979). Alfalfa and soil organic matter. Cultivation of agricultural crops. Ashhabad : Gosizdat. [in Russian]
8. Voshchinin, P. (1987). Semenovodstvo liutserny v shtate Vashynhton [Alfalfa seed production in Washington state]. Ref. zhurnal "Kormovyye kultury" – Abstract magazine "Forage crops", 2, 23. [in Russian]
9. Lozovitskyi, P.C. (2010). Popovnennia humusu u hruntakh Inhuletskoi zroshuvainoi systemy za rakhunok korenevnykh zalyshkiv silskohospodarskykh kultur [Replenishment of humus in the soils of the Ingulets irrigation system at the expense of root residues of agricultural crops]. Zroshuvane zemlerobstvo : zb. nauk. prats – Irrigated agriculture: col. of scient. works, 54, 198–210. [in Ukrainian]
10. Vozhehova, R.A., Holoborodko, S.P., Tyshchenko, O.D., Tyshchenko, A.V., & Antypova, L.K. et al. (2015). Naukovi osnovy vyroshchuvannia nasinnia bahatorichnykh trav u stepovii zoni Ukrainy : naukovo-metodychni rekomendatsii [Scientific bases of growing seeds of perennial grasses in the steppe zone of Ukraine : scientific and methodological recommendations]. Kherson : Hrin D.S. [in Ukrainian]
11. Vozhehova, R.A., Holoborodko, S.P., & Nesterchuk, V.V. (2016). Ahrobiolohichni osnovy konservatsii dehradovanykh zemel u pivdennomu Stepu Ukrainy : monograph [Agrobiological foundations of conservation of degraded land in the southern steppe of Ukraine : monograph]. Kherson : Oldi-plus. [in Ukrainian]
12. Holoborodko, S.P., & Pohynaiko, O.A. (2014). Liutsern na korm, na nasinnia [Alfalfa for feed, for seeds]. Ahro Perspektyva – Agrarian Perspective, 4(166), 60–65. [in Ukrainian]
13. Shevel, I.V. (2002). Sumarne vodospozhyvannia liutserny pry zroshenni [Total water consumption of alfalfa during irrigation]. Visnyk ahrarynoi nauky – Bulletin of Agrarian science, 9, 67–69. [in Ukrainian]
14. Pisarenko, V.A. (1984). Water consumption and irrigation regime for seed alfalfa. Cultivation of seed alfalfa on irrigated lands in the South of Ukraine. Kyiv : Naukova dumka. [in Russian]
15. Pisarenko, V.A. (1989). Water consumption and irrigation mode of forage crops. Intensive forage production on irrigated lands. Kyiv : Urozhai. [in Russian]
16. Vazhov, V.M. (1979). Razvitiie kornevoi systemy liutserny pri polive [Development of the alfalfa root system during irrigation]. Zemledeliie – Agriculture 7, 37. [in Russian]
17. Snehovoi, V.S. & Vazhov, V.M. (1989). Produktivnost liutserny v ahrotsenoze [Productivity of alfalfa in agrocenosis]. Kishynev : Shtiintsa. [in Russian]
18. Berngerdt, I.I. (1988). Osobennosti formirovaniia semian liutserny i yeie urozhai pri raznykh sposobakh poseva i orosheniia [Features of alfalfa seed formation and its yield under different methods of sowing and irrigation]. Selektysia i semenovodstvo – Breeding and seed production, 3, 45–47. [in Russian]
19. Golodkovskii, V.L. & Golodkovskaia, L.L. (1937). Alfalfa root system and soil fertility [Biology of seed alfalfa]. Tashkent : SoiuzNIKHI UzSSR. [in Russian]
20. Adamen, F.F. (1999). Azotfiksatsiia ta osnovni napriamky polipshenniia azotnoho balansu gruntiv [Nitrogen fixation and main directions for improving the nitrogen balance of soils]. Visnyk ahrarynoi nauky – Bulletin of Agrarian science, 2, 9–16. [in Ukrainian]
21. Milto, N.I. (1982). Klubenkovyie bakterii i produktivnost bobovykh rastenii [Root nodule bacteria and leguminous plants productivity]. Minsk : Nauka i tekhnika. [in Russian]
22. Kulbida, M.I., Barabash, M.B., Yelistratova, L.O., Adamenko, T.I., Hrebenuk, N.P., & Tatarchuk, O.H. et al. (2009). Klimat Ukrainy u mynulomu i maibutniomu? : monograph [Climate of Ukraine in the past and in the future? : monograph]. Kulbida, M.I., Barabash, M.B. (Eds). Kyiv : Stal. [in Ukrainian]
23. Martazinova, V.F., Ivanova, Ye.K., & Chaika, D.Yu. (2006). Izmeneniia krupnomasshtabnoi atmosfery tserkuliatsyi vozdukh na protiazhenii XX veka i yeie vliianiie na pogodnyie usloviia i regionalnuyu tserkuliatsyiu vozdukh v Ukraine [Changes in large-scale atmospheric air circulation during the twentieth century and its impact on weather conditions and regional air circulation in Ukraine]. Heofizychnyi zhurnal – Geophysical Journal, V. 28, 1, 51–60. [in Russian]
24. Semenova, I.G. (2012). Meteorologicheskiie i sinopticheskiie usloviia zasukhi v Ukraine oseniu 2011 g. [Meteorological and SYNOPTIC conditions of drought in Ukraine in autumn 2011]. Ukrainskyi hidrometeorolohichniy zhurnal – Ukrainian hydrometeorological Journal, 10, 58–64. [in Russian]

25. Holoborodko, S.P., & Petin, V.N. (1983). Rezhym orosheniia i vodopotrebleniia semennoi liutserny na peschanykh zemliakh Nizhneho Dnepra [Regime of irrigation and water consumption of seed alfalfa on the sandy lands of the Lower Dnieper]. Doklady VASKhNIL – Reports of the AULAS, 7, 24–26. [in Russian]
26. Kostiaikov, A.N. (1951). Osnovy melioratsyi [Basics of land reclamation]. M. : Selkhozgiz [in Russian]
27. Horianskii M.M. (1970). Metodika polevykh opytov na oroshaiemykh zemliakh [Methods of field experiments on irrigated lands]. K. : Urozhai. [in Russian]
28. Agrometeorological bulletin for the territory of the Kherson region (1976–2019). Kherson : Khersonskiyi oblasnyi tsentr z meteorolohii. [in Ukrainian]
29. Ushkarenko V.O., Vozhehova, R.A., Holoborodko, S.P., Kokovikhin, S.V. (2014). Metodyka poliovoho doslidu [Field experiment methodology]. Kherson : Hrin D.S. [in Ukrainian]
30. Medvedovskiyi, O.K., Ivanenko, P.I. (1988). Enerhetychnyi analiz intensyvnykh tekhnolohii v silskohospodarskomu vyrobnytstvi [Energy analysis of intensive technologies in agricultural production]. K. : Urozhai. [in Ukrainian]
31. Ivanov, N.N. (1962). Pokazatel biolohicheskoi effektivnosti klimata [The index of biological effectiveness of climate]. Izvestiia Vsesoiuznogo geograficheskogo obshchestva – News of the all-Union geographical society, V. 94, 1, 65–70. [in Russian]
32. Netis, I.T. (2009). Chy vysokhnut nashi Stepy [Will our Steppes dry up?]. Propozytsiia – Propozition, 8, 62–64. [in Ukrainian]

С.П. Голобородько, А.Н. Дымов

Водопотребление и режим орошения семенной люцерны

в условиях регионального изменения климата в южной Степи Украины

Аннотация. Вследствие современных климатических изменений фактически вся территория Аннотация. В статье изложены результаты научных исследований по установлению семенной продуктивности люцерны, выращиваемой на орошаемых и неполивных землях южной Степи Украины. Доказано, что получение стабильно высоких урожаев кондиционных семян люцерны в условиях регионального изменения климата возможно лишь при оптимальном запасе продуктивной влаги в почве, поскольку на протяжении последних лет выращивание культуры проводится при повышенном температурном режиме и недостаточном количестве атмосферных осадков. Установлено, что орошение семенной люцерны на протяжении вегетационного периода, независимо от сорта и укоса, следует проводить по двум межфазным периодам: «начало отрастания (всходы) – начало бутонизации» и «начало бутонизации – начало цветения». В первом межфазном периоде необходимо создавать условия для нормального роста и развития растений, что достигается путем поддержания на темно каштановых почвах уровня предполивной влажности 0–100 см слоя в пределах 70–75% НВ и на черноземах супесчаных – 55–60%. Во втором межфазном периоде необходимо обеспечивать оптимальные условия для прохождения продукционных процессов и формирования урожая кондиционных семян, что достигается путем торможения ростовых процессов, поскольку люцерна будет произрастать. Поэтому уровень предполивной влажности расчетного слоя на средне и тяжелосуглинистых почвах необходимо поддерживать в пределах 60–65% НВ и 45–50% НВ – на черноземах супесчаных. Анализ изменения природно климатических условий, проведенный на протяжении последних лет, свидетельствует, что в подзоне южной Степи выращивание люцерны на семена возможно лишь в условиях развитого орошаемого земледелия. Ликвидация дефицита природного увлажнения, в сочетании с высокой обеспеченностью тепловыми ресурсами и плодородными темно каштановыми почвами и черноземами южными, является объективной природной предпосылкой дальнейшего роста семенной продуктивности люцерны и уменьшения её зависимости от экстремальных погодных условий и, прежде всего, в среднесухие (75%) и сухие (95%) по обеспеченности осадками годы.

Ключевые слова: люцерна, семена, водопотребление, режим орошения, климат, урожайность, укос, энергоёмкость

S.P. Holoborodko, O.M. Dymov

Water consumption and irrigation regime of seed alfalfa under the conditions of regional climate change in the southern Steppe of Ukraine

Abstract. The article presents the results of scientific research to specify the seed productivity of alfalfa grown on irrigated and rainfed lands of the southern Steppe of Ukraine. It is proved that obtaining stably high yields of conditioned alfalfa seeds under the conditions of regional climate change is possible only providing an optimal supply of productive moisture in the soil, since in recent years the crop has been

grown under high temperature conditions and insufficient precipitation. It was established that irrigation of seed alfalfa throughout the growing season regardless of cultivar and mowing, should be conducted in two interphase periods: “the beginning of regrowth (shoots) – early budding” and “the beginning of budding – beginning of flowering”. In the first interphase period, it is necessary to create conditions for optimal growth and development of plants that is achieved by maintaining the level of pre-irrigation humidity in 0–100 cm layer in the range of 70–75% MMHC on dark chestnut soils and 55–60% – on sandy loam chernozems. In the second interphase period, it is necessary to provide optimal conditions for the development of production processes and the formation of conditioned seed yields that is achieved by inhibiting growth processes, since alfalfa tends to grow up. Therefore, the level of pre-irrigation humidity of the calculated layer on medium and heavy loamy soils should be maintained within 60–65% MMHC and 45–50% MMHC – on sandy loam chernozems. The analysis of changes in natural and climatic conditions carried out over the past years show that in the subzone of the southern Steppe, alfalfa cultivation for seeds is possible only providing the developed irrigated agriculture. Getting the deficit of natural moisture solved, combined with high availability of heat resources and fertile dark chestnut soils and southern chernozems, is an objective natural prerequisite for further growth of seed productivity of alfalfa and reducing its dependence on extreme weather conditions and, above all, in medium dry (75%) and dry (95%) precipitation years.

Key words: alfalfa, seeds, water consumption, irrigation regime, climate, yield, mowing, energy intensity

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202101-270>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/270>

УДК 631.674.6:504.53.062.4

ВПЛИВ УДОБРЕННЯ ЗА КРАПЛИННОГО ЗРОШЕННЯ НА ВРОЖАЙНІСТЬ ТА ЯКІСТЬ ПЛОДІВ БАГАТОРІЧНИХ НАСАДЖЕНЬ

С.В. Рябков, канд. с.-г. наук

Інститут водних проблем і меліорації НААН,
вул. Васильківська, 37, м. Київ, 03022, Україна;
<https://orcid.org/0000-0001-8219-9065>, e-mail: srabkov@gmail.com

Анотація. У статті представлено результати власних багаторічних досліджень впливу різних систем удобрення за краплинного зрошення водою різної якості на врожайність персика і яблуні та якісні показники плодів за традиційних технологій вирощування на півдні України. Органо-мінеральні («Рост-концентрат»), мінеральні ($N_{120}P_{30-90}K_{75-120}$) і органічні («Гумоплант») добрива, внесені з поливною водою різної якості за краплинного зрошення за зволоження ґрунтів у шарі 0–60 см із підтриманням вологості в діапазоні 75–90% НВ, залежно від гранулометричного складу ґрунтів, позитивно вплинули на рівень врожайності багаторічних насаджень. Найвищу прибавку врожайності плодів персика, порівняно з контролем, фіксували на дернових супіщаних ґрунтах у ДП «ДАФ ім. Солодухіна» Херсонської області за мінерального удобрення (33%), за цього варіанту мали вищі показники вмісту сухої речовини у плодах (на 2,6%) та нітратів (на 29%). Яблуневі насадження мали найвищу прибавку за внесення орґано-мінеральних добрив: до 21,16 т/га на темно-каштанових середньосуглинкових ґрунтах у ПАТ «Радсад» Миколаївської області за поливу водою обмежено придатною для зрошення; до 26,81 т/га на чорноземі південному важкосуглинковому у ПАТ «Кам'янський» Херсонської області за поливу водою придатною для зрошення та до 32,62 т/га на темно-каштановому середньосуглинковому у АР «Білозерський» Херсонської області за поливу водою придатною для зрошення. Вищі показники сухої речовини фіксували за мінерального добрива, вміст цукрів за орґано-мінерального та мінерального удобрення, вміст нітратів за орґанічного удобрення. Вміст нітратів за різних систем удобрення у плодах персика та яблуневих насаджень не перевищував рівень ГДК (60 мг/кг). Також було встановлено, що найвищий вплив на врожайність багаторічних насаджень мали орґано-мінеральні удобрення з коефіцієнтом кореляції 0,75.

Ключові слова: удобрення, краплинне зрошення, врожайність, якість плодів, багаторічні насадження, нітрати, вміст сухої речовини

Актуальність досліджень. Під час планування системи удобрення інтенсивних садів слід враховувати вимоги рослин до біогенних елементів у відповідні фенофази їхнього росту та специфіку ґрунтових умов, що формуються за тривалого вирощування плодів насаджень на одному місці.

За результатами попередніх досліджень встановлено, що ґрунти дослідних об'єктів не забезпечені оптимальним вмістом поживних речовин для нормального росту і розвитку плодів культур в умовах півдня України. Саме тому було закладено багаторічний польовий дослід, що мав на меті підвищити показники родючості ґрунту, врожайності та, відповідно, якості плодів інтенсивних насаджень в умовах краплинного зрошення та сприяти вдосконаленню принципів управління ґрунтовими ресурсами.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Система удобрення має велику вагу у підвищенні родючості зрошуваних ґрунтів

на рівні, необхідному для формування сільськогосподарськими культурами максимально можливих врожаїв високої якості [1–4].

На сучасному етапі розвитку ринкових відносин значно зросли вимоги до якості плодів [5]. Нині важливо передбачати фактори, які можуть знижувати рухомість та засвоєння елементів живлення [6–7].

Проведено низку досліджень, де встановлено, що за поєднання краплинного зрошення та удобрення збільшується врожайність плодів культур і покращуються якісні характеристики плоду (його маса, вміст цукрів і сухої речовини тощо). Так, наприклад, у ході 35-річних досліджень на різних сортах персика визначено, що на бідних ґрунтах можна отримати до 10 кг/дерева, на родючих – більше 30 кг/дерева [8], при цьому азотовмісні добрива є найважливіші, бо обумовлюють високі врожаї [9].

За орґано-мінеральних добрив забезпечується отримання високої врожайності

яблуні сорту Айдаред на підщепі М 4 на рівні 20,2 т/га [10] з приростом 3,4 т/га; за внесення добрив у вигляді аміачної чи кальцієвої селітри, нітрату калію чи магнеїю збільшується врожайність, при цьому прибавка складає 7,4–8,7 т/га порівняно з контролем для сортів Айдаред, Голден Делішес, Ренет Симиренко, Грані Сміт [11]; внесення аміачної селітри невеликими дозами N_{30} не менше шести разів за вегетацію сприяє отриманню максимального врожаю яблуні на рівні 24,9–25,2 т/га [12].

Хімічний склад плодів багаторічних культур значною мірою залежить від біологічних особливостей сорту, строків досягання, кліматичних умов, ґрунтів і системи їх утримування, водного режиму, внесення добрив, підщепи, формування крони, ступеня стиглості тощо [6].

Внесення азотних добрив у ґрунт у складі повного мінерального добрива сприяло значному збільшенню вмісту сухих речовин у яблуні сорту Айдаред у межах 0,9–1,8% [13]. Внесення добрив у ґрунт з позакореневим підживленням на насадженнях сорту Айдаред збільшило вміст сухих речовин до 1,4–2,3%. У порівнянні з подвійними та потрійними нормами внесення азоту фіксували підвищення вмісту сухих речовин у межах 1,1–2,5% та 1,6–2,0% відповідно [14].

Дослідженнями встановлено, що основними причинами надмірного поглинання нітратів рослинами є: використання екологічно шкідливих технологій вирощування культур; надмірне застосування мінеральних, в основному азотних, і органічних добрив [15]; незбалансоване живлення рослин макро- і мікроелементами впродовж вегетаційного періоду; внесення азотних добрив без урахування біологічних вимог рослин; недосконалість техніки внесення азотних добрив у ґрунт тощо [13]. Тож, щоб запобігти надлишковому нагромадженню нітратів у рослинах необхідно, з одного боку, регулювати кількість мінерального азоту в ґрунті, з другого – створювати умови найбільш продуктивного використання азоту, який потрібен для формування органічної маси рослин.

Метою досліджень є оцінка впливу органо-мінеральних, мінеральних, органічних добрив за краплинного способу поливу багаторічних насаджень персика і яблуні на врожайність і якість плодів на дослідних ділянках півдня України.

Матеріали і методи дослідження. Польовий дослід закладено у 2009 р. на багаторічних насадженнях півдня України за принципом логічної відміни, доцільності та

типовості. Розташування варіантів у досліді рандомізоване, трикратне повторення. Ділянки розміщені на дослідно-виробничих об'єктах у Херсонській та Миколаївській областях, які відрізняються між собою ґрунтовими умовами та якістю поливної води.

Схема розміщення персика на підщепі абрикос (ДП «ДАФ ім. Солодухіна» Новокаховського району Херсонської області) $5,0 \times 2,0$ м. Ґрунт об'єкта дослідження – дерновий супіщаний на давньо-альювіальних відкладах, вода для зрошення І класу (придатна для зрошення [16]). Схема розміщення яблуні на підщепі М 9 (АР «Білозерський» Білозерського району Херсонської області) – $4,5 \times 1,5$ м. Ґрунт на ділянці темно-каштановий середньосуглинковий на лесовій породі, вода І класу. Схема розміщення яблуні на підщепі М 9 (ПАТ «Радсад» Миколаївського району Миколаївської області) – $4,0 \times 1,5$ м. Ґрунт на ділянці – чорнозем південний важкосуглинковий на лесовій породі, вода для зрошення II класу (обмежено придатна для зрошення). Схема розміщення яблуні на підщепі М 9 (ПАТ «Кам'янський» Бериславського району Херсонської області) – $5,0 \times 2,0$ м, вода І класу. Технології вирощування багаторічних насаджень загальноприйняті для умов Степу України.

Зволоження ґрунтів у шарі 0–60 см підтримували на рівні 75–90% НВ, залежно від гранулометричного складу дослідних ґрунтів, із використанням системи краплинного зрошення. Внесення добрив відбувалось із поливною водою (фертигація). Досліджували дію трьох систем удобрення: органо-мінерального «Рост-концентрат» нормою 9 $дм^3/га$, органічного «Гумоплант» нормою 7 $дм^3/дерево$ і мінерального $N_{120}P_{30-90}K_{75-120}$.

Використано такі методи досліджень: польовий, лабораторний, розрахунково-порівняльний, системний аналіз. Визначали вміст сухої речовини [17], цукрів [18], нітратів [19], врожайність плодів культур отримали суцільним підрахунком врожаю плодів на деревах кожного варіанту.

Дисперсійний аналіз проведено з використанням програмного комплексу SAS9.1® [20]. Аналізування відібраних зразків ґрунту і поливної води проводили за загальноприйнятими методиками [21] у державному підприємстві «Центральна лабораторія якості води і ґрунту» Інституту водних проблем і меліорації НААН України.

Результати дослідження та їх обговорення. У ході досліджень було доведено, що крім фактора зволоження за краплинного

способу поливу вагомим впливом мала практика господарювання, кліматичні умови, рівень забезпеченості ґрунтів елементами живлення у фазі найбільшого їх поглинання рослинами, необхідними для закладання генеративних бруньок майбутнього врожаю і підвищення зимостійкості культур.

Врожайність персика за різних систем удобрення коливалась у межах 15,79–31,18 т/га. Найвищу прибавку врожаю порівняно з контролем на 50% фіксували за мінерального удобрення (рис. 1).

Вміст сухої речовини у плодах персика протягом років дослідження залежно від різних систем удобрення змінювався в межах 7,49–13,96%. За мінерального удобрення фіксували вищі показники порівняно з контролем на 4,4%. Кількість нітратів за роки досліджень у плодах персика за варіантами коливалася в діапазоні від 22,79 мг/кг до 36,79 мг/кг, але не перевищувала рівень ГДК (60 мг/кг). Найвищий вміст нітратів фіксували за мінерального живлення, що був у 1,4 рази вищий порівняно з контролем.

Врожайність яблук у дослідних господарствах за різних систем удобрення коливалася у широких межах за роки дослідження: 10,57–31,21 т/га у ПАТ «Радсад»; 1,53–51,62 т/га у ПАТ «Кам'янський»; 2,76–63,8 т/га у АР «Білозерський».

Найвищих рівнів врожайності яблуневих насаджень досягли за органо-мінерального удобрення на темно-каштанових середньосуглинкових ґрунтах (ПАТ «Радсад»), чорноземі південному важкосуглинковому (ПАТ «Кам'янський») та темно-каштановому середньосуглинковому (АР «Білозерський») (рис. 2).

Хімічний склад плодів яблук на удобрених варіантах за краплинного зрошення змінювався залежно від сорту та умов вирощування. Вміст сухої речовини у плодах яблуні коли-

вався в межах 15,08–19,57% (ПАТ «Радсад»), 12,90–19,42% (ПАТ «Кам'янський»), 12,54–16,21% (АР «Білозерський»). Найвищий вміст сухої речовини в яблуневих насадженнях фіксували за мінерального живлення, що на 2,6–4,5% вище порівняно з контролем. Подібні результати щодо впливу мінерального живлення на вміст сухої речовини плодів було представлено в роботах інших дослідників [22–25].

Вміст цукрів в яблуневих насадженнях за роки дослідження змінювався в межах 12,6–18,3% (ПАТ «Радсад»), 12,5–16,9% (ПАТ «Кам'янський»), 10,8–13,2% (АР «Білозерський»). Вищі показники вмісту цукрів фіксували за органо-мінерального удобрення, що пояснюється комплексним складом хімічних елементів. Подібні твердження щодо вищих показників вмісту цукрів за застосування добрив у поєднанні з комплексом мікро- і макроелементів розкривались в інших роботах [26–27].

Кількість нітратів у плодах яблуні за варіантами удобрення зростає протягом років дослідження: у 2,0 рази за внесення органо-мінеральних добрив, 2,1 рази за мінеральних, 2,2 рази за органічних.

Встановлено вплив усіх систем удобрення на врожайність плодів культур, про що свідчить коефіцієнт детермінації (R^2): за органо-мінерального удобрення – 0,75 (рис. 3 а), за мінерального – 0,62 (рис. 3 б), за органічного – 0,51 (рис. 3 в).

Такі зміни на фоні оптимального водозабезпечення пояснюються лімітованим впливом інших факторів (кліматичні умови, система удобрення, практика господарювання) у період розвитку культур, недостатня кількість яких може сприяти можливому зниженню врожайності плодів.

Висновки. У ході власних багаторічних досліджень було встановлено, що насадження персика найкраще реагували на мінеральне удобрення, прибавка врожаю склала 50,0%

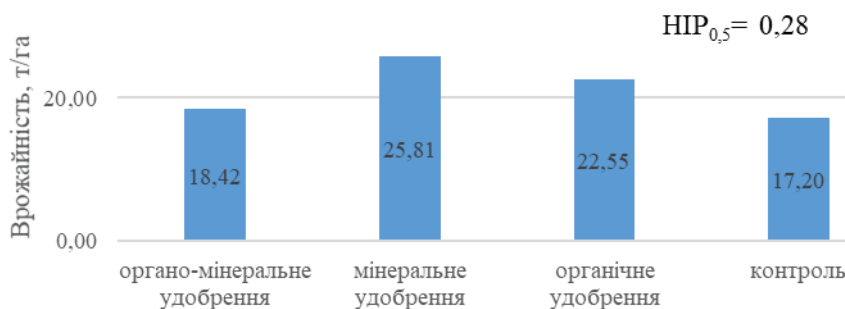


Рис. 1. Середня врожайність персика за різних систем удобрення у ДП «ДАФ ім. Солодухіна» Херсонської області за 2010–2014 рр.

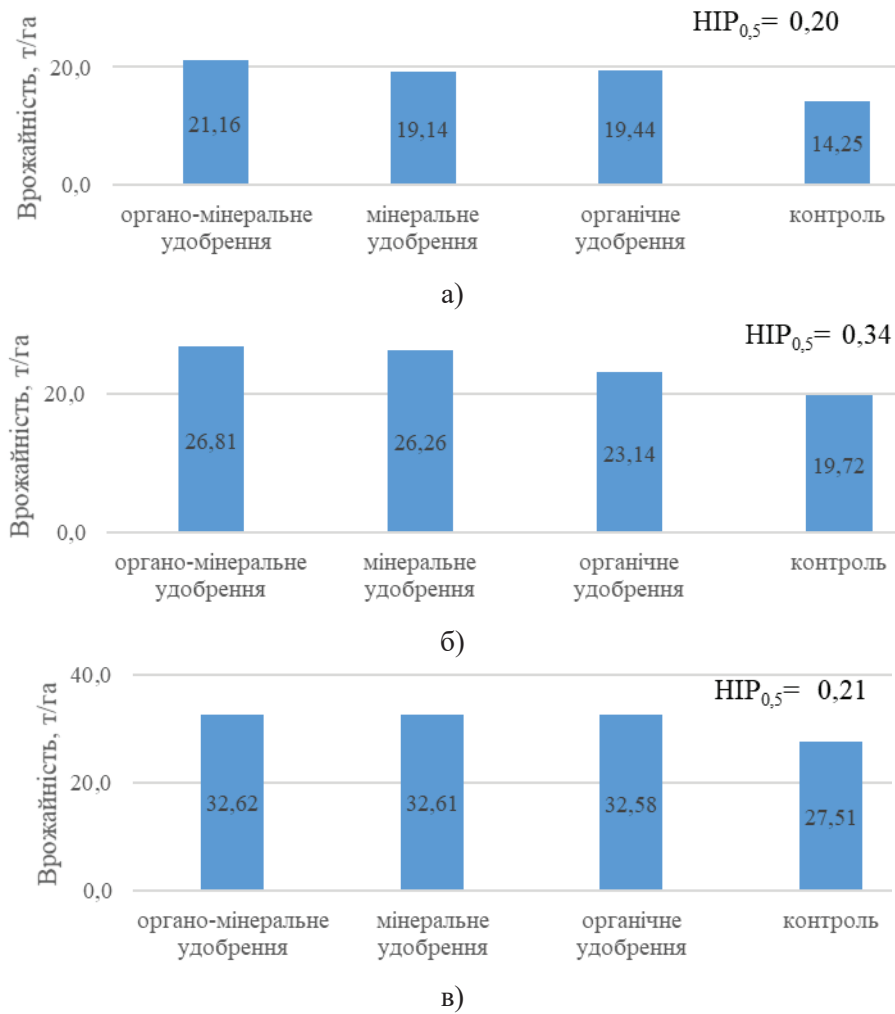


Рис. 2. Середня врожайність яблук за різних систем удобрення у дослідних господарствах за 2010–2014 рр.:

а) ПАТ «Радсад» Миколаївської області, чорнозем південний важкосуглинковий, вода обмежено придатна для зрошення; б) ПАТ «Кам'янський» Херсонської області, чорнозем південний важкосуглинковий, вода придатна для зрошення; в) АР «Білозерський» Херсонської області, темно-каштановий середньосуглинковий ґрунт, вода придатна для зрошення

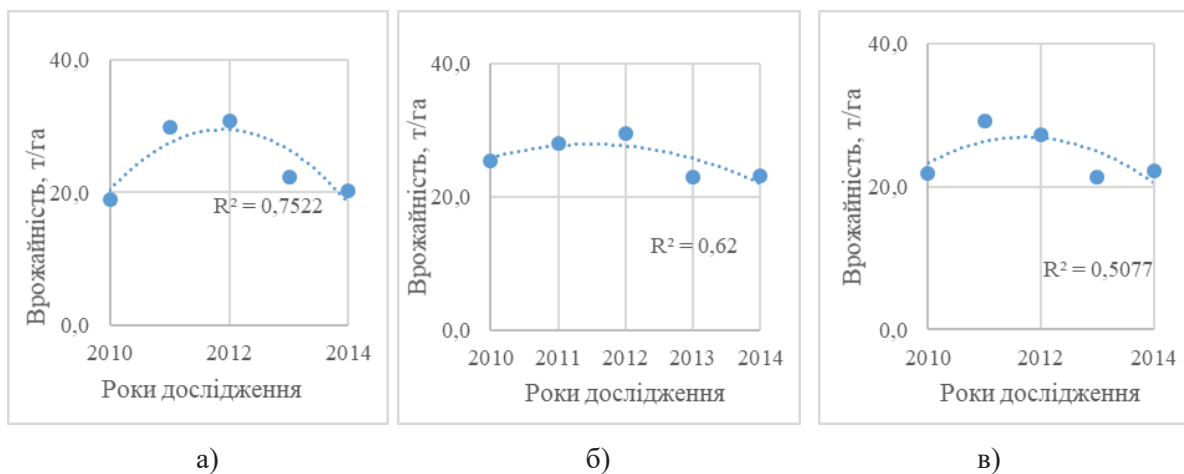


Рис. 3. Вплив різних систем удобрення на врожайність плодових культур: а – органічно-мінеральні добрива; б – мінеральні добрива; в – органічні добрива

порівняно з контролем. За органо-мінерального удобрення прибавка склала 8,8%, за органічного – 31,1%. За мінерального удобрення порівняно з контролем у плодах персика фіксували вищі показники вмісту сухої речовини на 2,6%. Вміст нітратів був найнижчим за органо-мінерального удобрення.

Яблуневі насадження мали найвищу прибавку врожаю на 23,7% за органо-мінеральних добрив порівняно з контролем. Також фіксували прибавку врожаю порівняно з контролем за мінерального удобрення на

рівні 21,2% та органічного – 18,2%. Порівняно з контролем вищі показники вмісту сухої речовини фіксували за мінерального добрива на 3,4%; вміст цукрів за органо-мінерального удобрення на 7,4%; вміст нітратів за органічного удобрення на 8,6%.

Отримані результати в ході математичної обробки даних засвідчують, що досліджувані добрива, внесені способом фертигації краплинним способом поливу, позитивно вплинули на рівень врожайності персика і яблук та якість їх плодів..

Бібліографія

1. Бутило А.П. Динаміка вмісту гумусу в ґрунті садового агрофітоценозу за різних систем утримання. *Вісник Уманської ДАА*. 2001. № 1–2. С.10–12.
2. Копитко П.Г. Удобрення плодкових і ягідних культур : навчальний посібник. Київ : Вища школа, 2001. 206 с.
3. Шляхи підвищення родючості ґрунтів у сучасних умовах сільськогосподарського виробництва / за ред. Б.С. Носка. Київ : Аграрна наука, 1999. 112 с.
4. Awad M., De Jager A. Formation of flavonoids, especially anthocyanin and chlorogenic acid in Jonagold apple skin: influences of growth regulators and fruit maturity // *Sci Hortic.*, 2002. Vol. 93 P. 257–266.
5. Галузева програма розвитку садівництва України на період до 2025 року. URL: <http://www.minagro.gov.ua> (дата звернення 01.05.2021).
6. The future of food and agriculture – Trends and challenges. FAO. Rome, 2017. P. 46–56.
7. Heimler D., Romani A., Ieri F. Plant polyphenol content, soil fertilization and agricultural management: a review // *Eur Food Res Technol.*, 2017. Vol. 243. P. 1107–1115.
8. Milatovid D., Đurovid D. Milivojevid J. Rodnost sorti kajsije u beogradskom području // *Arhiv za Poljoprivredne Nauke.*, 2006. Vol. 67(240). P. 69–77.
9. Персик найбільше потребує азоту в період розвитку насіння. *Agro-times*. 2019. URL: <https://agrotimes.ua/ovochi-sad/persik-najbilshe-potrebue-azotu-v-period-rozvitku-nasinnya/> (дата звернення 13.05.2021).
10. Яковенко Р.В., Копитко П.Г. Плодоношення дерев яблуні (*malus domestica borkh*) у повторній культурі за тривалого застосування різних систем удобрення. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. 2009. № 133. С. 11–15.
11. Миронов А.П. Эффективность применения удобрений при капельном орошении в яблоневых садах Прикубанской зоны садоводства. Оптимизация технологических параметров структуры агроценозов и регламентов возделывания плодовых культур и винограда. Краснодар, 2008. Том 1. С. 287–291.
12. Фоменко Т.Г., Попова В.П. Плодоношение яблони при капельном орошении и фертигации в условиях летнего периода. *Плодоводство и виноградарство Юга России*. 2009. № 130. С. 1–8.
13. Hou L., Liu Z., Zhao J., Ma P., Xu X. Comprehensive assessment of fertilization, spatial variability of soil chemical properties, and relationships among nutrients, apple yield and orchard age: A case study in Luochuan County, China // *Ecological indicators*. Vol. 122. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107285>.
14. Чебан С.Д. Вміст деяких компонентів хімічного складу плодів яблуні залежно від норм і способів внесення азотних добрив // *WEB OF SCHOLAR*. № 7(16). 2017. С. 18–20.
15. Моніторинг нітратів та заходи щодо їх зменшення у рослинній продукції / Ганчук В.Д. та ін. *Восточно-европейский журнал передовых технологий*. 2012. № 6(60). С. 47–49.
16. ДСТУ 7591:2014 Зрошення. Якість води для систем краплинного зрошення. Агрономічні, екологічні та технічні критерії. Київ : Мінекономрозвитку України. 2015. 16 с. (Національний стандарт України).
17. ДСТУ 8402:2015 Продукти перероблення фруктів та овочів. Рефрактометричний метод визначання вмісту розчинних сухих речовин. Київ, 2015. 19 с. (Національний стандарт України).
18. ДСТУ 4954:2008 Продукти перероблення фруктів та овочів. Методи визначання цукрів. Київ, 2008. 21 с. (Національний стандарт України).

19. ДСТУ 4948:2008 Фрукти, овочі та продукти їх перероблення. Методи визначення вмісту нітратів. З поправкою. Київ, 2008. 19 с. (Національний стандарт України).
20. SAS Institute Inc. SAS/STAT® 9.1 User's Guide. Cary, NC : SAS Institute Inc, 2004. 5136 p.
21. Організація систем режимних спостережень для оцінки екологомеліоративного стану земель в умовах мікрозрошення : методичний посібник / за ред. М.І. Ромащенко. Київ : ТОВ «ДІА», 2004. 42 с.
22. Fallahi E., Fallahi B., Neilsen G.H., Neilsen D., Peryea F.J. Effects of mineral nutrition on fruit quality and nutritional disorders in apples // *Acta Horticult. Jour.* 2010. Vol. 868. P. 49–60. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2010.868.3>
23. Milošević T., Milošević N. Influence of mineral fertilizer, farmyard manure, natural zeolite, and their mixture on fruit quality and leaf micronutrient levels of apple trees // *Commun Soil Sci Plan.* 2017. Vol. 48. P. 539–548. <https://doi.org/10.1080/00103624.2016.1269790>
24. Crisosto C., Johnson R.S., DeJong T., Day K.R. Orchard factors affecting postharvest stone fruit quality // *Hort Science.* 1997. Vol. 32. P. 820–823. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.32.5.820>
25. Stefanelli D., Goodwin I., Jones R. Minimal nitrogen and water use in horticulture: effects on quality and content of selected nutrients // *Food Res Int.* 2010. Vol. 43. P. 1833–1843. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.04.022>
26. Wrona D. Effect of nitrogen fertilization on growth, cropping and fruit quality of 'Sampion' apple trees during 9 years after planting // *Folia Horticult.* 2004. Vol. 16. P. 55–60. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452008000400044>
27. Wrona D. The influence of nitrogen fertilization on growth, yield and fruit size of 'Jonagored' apple trees // *Acta Sci Pol-Hortoru.* 2011. Vol. 10. P. 3–10.

References

1. Butylo, A.P. (2001). Dynamika vміstu gumusu v gruntі sadovogo agrocenozu za riznyh system utrymanna [Dynamics of humus content in the soil of garden agrophytocenosis under different retention systems]. *Visnyk Unams'koi DAA*, 1–2, 10–12. [in Ukrainian]
2. Kopytko, P.G. (2001). Udobrennia plodovyh i jagidnyh kul'tur [Fertilizers for fruit and berry crops] *Navchal'nyi posibnyk. Vychsha shkola*, 206. [in Ukrainian]
3. Shljahy pidvyshchennia rodjychości gruntiv y sychasnyh umovah sil's'kogospodars'kogo vyrobnyctva [Ways to increase soil fertility in modern conditions of agricultural production] za red. Noska B.S. Kyiv : Agrarna nauka, 1999. 112. [in Ukrainian]
4. Awad, M., De Jager, A. (2002). Formation of flavonoids, especially anthocyanin and chlorogenic acid in Jonagold apple skin: influences of growth regulators and fruit maturity. *Sci Horticult.*, Vol. 93, 257–266.
5. Galuzeva programa rozvytku sadivnyctva Ukrainy na period do 2025 roku [Sectoral program for the development of horticulture in Ukraine for the period up to 2025]. Retrieved from: <http://www.minagro.gov.ua> [in Ukrainian]
6. The future of food and agriculture – Trends and challenges. (2017). FAO. Rome, 46–56.
7. Heimler, D., Romani, A., & Ieri, F. (2017). Plant polyphenol content, soil fertilization and agricultural management: a review. *Eur Food Res Technol.*, Vol. 243, 1107–1115.
8. Milatović, D., Đurović, D., & Milivojević, J. (2006). Rodnost sorti kajsije u beogradskom području. [Yield of apricot cultivars in the Belgrade area.] *Arhiv za Poljoprivredne Nauke [Archive for Agricultural Sciences]*, Vol. 67 (240), 69–77. [in Bosnia]
9. Persyk naubil'she potrebue azotu v period rozvytku nasinnia [Peach needs the most nitrogen during seed development]. *Agro-times*. 2019. Retrieved from <https://agrotimes.ua/ovochi-sad/persik-najbilshe-potrebue-azotu-v-period-rozvitku-nasinnia/>
10. Yakovanko, R.V., & Kopytko, P.G. (2009). Plodonoshennia derev yabluni (malus domestica borkh) u povtorniy kulturi za tryvalogo zastosuvannja riznyh system udobrennia [Fruiting of apple trees (malus domestica borkh) in repeated culture with long-term use of different fertilizer systems]. *Naukovyi visnyk Nacional'nogo universitetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy*, 133, 11–15. [in Ukrainian]
11. Myronov, A.P. (2008). Effectivnoe primenenie udobrenii pri kapelnom oroshenii v yablonovyh sadah Prikubanskoj zony sadovodstva. Optimizaciia tehnologo-ekonomicheskikh parametrov struktury agrocenozov i reglamentov vozdeľyvanja plodovyh kultur i vinograda [Efficiency of fertilizer application for drip irrigation in apple orchards of the Prikubanskiy horticultural zone. Optimization of technological and economic parameters of the structure of agrocenoses and regulations for the cultivation of fruit crops and grapes]. *Krasnodar*, Vol. 1, 287–291. [in Russian]

12. Fomenko, T.G., & Popova, V.P. (2009). Plodonoshenie yabloni pri kapelnom oroshenii i fertigacii v usloviyah letnego perioda [Fruiting of an apple tree with drip irrigation and fertigation in the summer]. *Plodovodstvo i vinogradarstvo Juga Rossii*, 130, 1–8. [in Russian]
13. Hou, L., Liu, Z., Zhao, J., Ma, P., & Xu, X. (2021). Comprehensive assessment of fertilization, spatial variability of soil chemical properties, and relationships among nutrients, apple yield and orchard age: A case study in Luochuan County, China. *Ecological indicators*, 122. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107285>
14. Cheban, S.D. (2017). Vmist deyakyh komponentiv himichnogo skladu plodiv yabluni zalezho vid norm i sposobiv vnesennia azotnyh dobryv [The content of some components of the chemical composition of apple fruit, depending on the norms and methods of nitrogen fertilizers]. *WEB OF SCHOLAR*, 7(16), 18–20. [in Ukrainian]
15. Ganchuk, V.D., Hrystiansen, M.G., Butenko, O.M., Bila, G.V., & Drovk, V.G. (2012). Monitoring nitrative ta zahody shchodo ih zmeshennia u roslynniy produkci [Monitoring of nitrates and measures to reduce them in plant products]. *Vostochno-evropeiskiy zhurnalпередovyh tehnologiy*, 6(60), 47–49. [in Ukrainian]
16. Zroshennia. Yakist' vody dlia system kraplynnogo zroshennia. Agronomichni, ekologichni ta technichi kryterii [Irrigation. Water quality for drip irrigation systems. Agronomic, ecological and technical criteria]. (2015). DSTU 7591:2014 Natsionalnyi standart Ukrainy. Kyiv : Minekonomrozvytku Ukrainy. [in Ukrainian]
17. Produkty pereroblennia fryktiv ta ovochiv. Refractometrychniy metod vyznachannia vmisty rozchynnyh suhyh rehovyn [Fruit and vegetable processing products. Refractometric method for determining the content of soluble dry matter]. (2015). DSTU 8402:2015. Natsionalnyi standart Ukrainy. Kyiv. [in Ukrainian]
18. Produktu pereroblennia fryktiv ta ovochiv. Metody vyznachannia cukriv [Fruit and vegetable processing products. Methods for determining sugars]. (2008). DSTU 4954:2008. Natsionalnyi standart Ukrainy. Kyiv. [in Ukrainian]
19. Fruktu, ovochi ta produkty ih pereroblyannia. Metody vyznachennja vmistu nitrativ. Z popravkoyu [Fruits, vegetables and products of their processing. Methods for determining the content of nitrates. With amendment]. (2008). DSTU 4948:2008. Natsionalnyi standart Ukrainy. Kyiv. [in Ukrainian]
20. SAS/STAT ® 9.1 User's Guide. (2004). Cary, NC: SAS Institute Inc.
21. M.I. Romashchenko (Ed.) (2004). *Metodychnyi posibnyk. Organizacia system rezhyznyh sposterezhen dlia ocinky ekologo-melioratyvnogo stanu zemel' v umovah mikro-zroshennia* [Organization of regime observation systems for assessment of ecological reclamation condition of lands in micro-irrigation conditions]. Kyiv : TOV DIA. [in Ukrainian]
22. Fallahi, E., Fallahi, B., Neilsen, G.H., Neilsen, D., & Peryea, F.J. (2010). Effects of mineral nutrition on fruit quality and nutritional disorders in apples. *Acta Horti Jour.*, Vol. 868, 49–60. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2010.868.3>
23. Milošević, T., & Milošević, N. (2017). Influence of mineral fertilizer, farmyard manure, natural zeolite, and their mixture on fruit quality and leaf micronutrient levels of apple trees. *Commun Soil Sci Plan*, Vol. 48, 539–548. <https://doi.org/10.1080/00103624.2016.1269790>
24. Crisosto, C., Johnson, R.S., DeJong, T., & Day, K.R. (1997). Orchard factors affecting postharvest stone fruit quality. *Hort Science*, Vol. 32, 820–823. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.32.5.820>
25. Stefanelli, D., Goodwin, I., & Jones, R. (2010). Minimal nitrogen and water use in horticulture: effects on quality and content of selected nutrients. *Food Res Int.*, Vol. 43, 1833–1843. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.04.022>
26. Wrona, D. (2004). Effect of nitrogen fertilization on growth, cropping and fruit quality of 'Šampion' apple trees during 9 years after planting. *Folia Horti.*, Vol. 16, 55–60. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452008000400044>
27. Wrona D. (2011). The influence of nitrogen fertilization on growth, yield and fruit size of 'Jonagored' apple trees. *Acta Sci Pol-Hortoru*. Vol. 10, 3–10.

С.В. Рябков

**Влияние удобрений при капельном орошении
на урожайность и качество плодов многолетних насаждений**

Аннотация. В статье представлены результаты собственных многолетних исследований влияния различных систем удобрения при капельном орошении водой разного качества на

урожайность персика и яблони и качественные показатели плодов при традиционных технологиях их выращивания на юге Украины. Органо-минеральные («Рост-концентрат»), минеральные ($N_{120}P_{30-90}K_{75-120}$) и органические («Гумоплант») удобрения, внесенные с поливной водой разного качества при капельном орошении при условии увлажнения почв в слое 0–60 см с поддержанием влажности в диапазоне 75–90% НВ, в зависимости от гранулометрического состава почв, положительно повлияли на уровень урожайности многолетних насаждений. Высокую прибавку урожайности плодов персика по сравнению с контролем фиксировали на дерновых супесчаных почвах в ГП «ДАФ им. Солодухина» Херсонской области при внесении минерального удобрения (33%), также на этом варианте имели более высокие показатели содержания сухого вещества в плодах (на 2,6%) и нитратов (на 29%). Яблоневые насаждения имели высокую прибавку за счет внесения органо-минеральных удобрений: до 21,16 т/га на темно-каштановых среднесуглинистых почвах в ПАО «Радсад» Николаевской области при использовании для полива воды, ограниченно пригодной для орошения; до 26,81 т/га на черноземе южном тяжелосуглинистом в ПАО «Каменский» Херсонской области при использовании воды, пригодной для орошения и до 32,62 т/га на темно-каштановых среднесуглинистых в АР «Белозерский» Херсонской области при поливе водой, пригодной для орошения. Высокие показатели сухого вещества фиксировали при внесении минерального удобрения, содержание сахаров при внесении органо-минерального и минерального удобрений, содержание нитратов при внесении органического удобрения. Содержание нитратов в разных системах удобрения в плодах персика и яблоневых насаждений не превышало уровень ПДК (60 мг/кг). Также было установлено, что наибольшее влияние на урожайность многолетних насаждений имели органо-минеральные удобрения с коэффициентом корреляции 0,75.

Ключевые слова: удобрения, капельное орошение, урожайность, качество плодов, многолетние насаждения, нитраты, содержание сухого вещества

S.V. Riabkov

Effect of fertilization on the yield and fruit quality of perennial plantations under drip irrigation

Abstract. The article presents the results of own long-term studies on the effect of different fertilizer systems under on the yield and fruit quality of peach and apple trees under drip irrigation with water of different quality using the traditional cultivation technology in the south of Ukraine.

It was noticed the positive effect of applying fertilizer systems, namely organic-mineral (“Rost-concentrate”), mineral ($N_{120}P_{30-90}K_{75-120}$), and organic (“Gumoplant”) on the yield of perennial plantations when irrigating with water of different quality. Thereat, the soil moisture in the layer of 0–60 cm was in the range of 75–90% of ММНС depending on the soil grading. The highest increase in peach yield (33%), in comparison with the check plot was observed on sod sandy soils in SE “DAF named after Solodukhin” in Kherson region when applying mineral fertilizers. The higher dry matter content in fruits by 2,6% and nitrate content by 29% were also observed when using mineral fertilizers on this farm. The highest yield increase up to 21,16 t/ha on dark chestnut medium loam soils in private joint stock company “Radsad” in Mykolayiv region in apple orchards was obtained when using organic-mineral fertilizers and irrigating with partially suitable water. The yield increase up to 26,81 t/ha was obtained on chornozem southern heavy loam soil in private joint stock company “Kamyanskyi” in Kherson region when irrigating with water suitable for irrigation and up to 32,62 t/ha of yield increase was obtained on dark chestnut medium loam soil in “Bilozerskyi” state farm in Kherson region when irrigating with water suitable for irrigation. Higher dry matter contents were recorded under mineral fertilizers, higher sugar content - under organic-mineral and mineral fertilizers, nitrate content under organic fertilizers. The content of nitrates under different fertilization systems for all fruit trees did not exceed the maximum concentration limit of 60 mg/kg. It was also found out that the highest effect on the yield of perennial plantations had organic-mineral fertilizers with a correlation coefficient of 0,75.

Key words: fertilizer, drip irrigation, yield, fruit quality, perennial plantations, nitrates, dry matter content

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202101-277>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/277>

УДК 631.6: 631.432

МОДЕЛІ СИСТЕМНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ДЛЯ СТВОРЕННЯ Й ФУНКЦІОНУВАННЯ ДРЕНАЖНИХ СИСТЕМ У СУЧАСНИХ УМОВАХ

А.М. Рокочинський¹, докт. техн. наук, П.П. Волк², канд. техн. наук

¹ Національний університет водного господарства та природокористування, Рівне, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-5248-6394>; e-mail: a.m.rokochinskiy@nuwm.edu.ua

² Національний університет водного господарства та природокористування, Рівне, Україна;
<https://orcid.org/0000-0001-5736-8314>; e-mail: p.p.volk@nuwm.edu.ua

Анотація. Виклики сучасності та зміни клімату визначають за необхідне розробку нових підходів, методів та моделей на основі розвитку загальної теорії оптимізації для обґрунтування оптимального типу, конструкції та параметрів дренажних систем на еколого-економічних принципах. Розроблено моделі системної оптимізації технологічних та конструктивних рішень при створенні й функціонуванні дренажних систем. Представляється, що дренажна система – це складна природно-технічна еколого-економічна система. Знаходження загального (глобального) оптимуму в такій системі на основі системної оптимізації полягає в обґрунтуванні проміжних локальних оптимумів для всіх її основних складових різномірних елементів (ефект, режим, технологія, конструкція) у їх взаємозв'язку. Розроблено загальні принципи побудови та реалізації комплексних моделей системної оптимізації, які включають в себе модель економічної оптимізації, що побудована за традиційним економіко-математичним підходом, а її екологічна складова, як обмеження, визначає прийнятність оптимального економічного рішення. Розглянуто критерії економічної та екологічної оптимізації щодо різних рівнів прийняття управлінських рішень у часі (1-проект, 2-планова експлуатація, 3-оперативне управління) та комплекс прогнозно-імітаційних моделей з їх визначення за довготерміновим прогнозом на багатоваріантній основі з урахуванням змінних природно-агро-меліоративних умов реального об'єкта. Практична реалізація прогнозно-імітаційних та оптимізаційних розрахунків виконується на основі застосування відповідного інструментарію, яким є САПР або сучасні BIM-технології. Використання системної оптимізації дозволить підвищити загальну технічну, технологічну та еколого-економічну ефективність створення й функціонування дренажних систем.

Ключові слова: системна оптимізація, створення та функціонування, дренажна система, еколого-економічні засади

Актуальність дослідження. Меліорації земель належить провідна роль у стабілізації ресурсного і продовольчого забезпечення нашої держави та світу загалом, роль потужного страхового фонду, передусім, в екстремальні за погодними умовами роки. Зважаючи на високу соціальну значущість меліорацій, особливо з огляду на глобальні кліматичні зміни та формування цивілізованих земельно-ринкових відносин, європейський та світовий досвід, водні, гідротехнічні, агротехнічні та інші види меліорацій, вимагають сучасних інноваційних рішень, спрямованих на досягнення сталої продовольчої, енергетичної, екологічної та економічної безпеки держави [1].

За узагальненими дослідженнями фахівців та вчених Укргідромету, Інституту водних проблем і меліорації НААН, Одеського державного екологічного університету [1; 2 та ін.], що підтверджено також і нашими дослідженнями [3; 6 та ін.], при наявних темпах та рівнях змін клімату вже відбуваються зміни

природно-меліоративних умов у зоні Полісся та України загалом. Підвищення температури повітря, збільшення кліматичного дефіциту та посилення посушливості в Поліському регіоні призводить до збільшення сумарного випаровування, загальної водопотреби та регулярного зволоження при вирощуванні сільськогосподарських культур, в тому числі й на осушуваних землях

Тому, надзвичайно актуальним постає питання щодо зміни підходів до створення й функціонування водогосподарсько-меліоративних об'єктів, удосконалення технологій водорегулювання відповідно їх типів, конструкції й параметрів, що адаптовані до цих змін [4].

Зважаючи на викладене, **метою дослідження** є подальший розвиток загальної теорії оптимізації, розробка методів й моделей для обґрунтування оптимальних режимних, технологічних та технічних параметрів дренажних систем (ДС) на еколого-

економічних засадах в їх взаємозв'язку для підвищення загальної ефективності при їх створенні та функціонуванні.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Проаналізувавши раніше проведені дослідження [5; 6; 7 та ін.], нами було розроблено загальні підходи, методи та моделі оптимізації технічних і технологічних рішень з водорегулювання осушуваних земель на еколого-економічних засадах шляхом:

– переходу від усталеної практики розгляду меліоративних об'єктів не суто як технічних, а як складних природно-технічних систем;

– визначення наявності в такій системі структурного зв'язку між різнорідними елементами виду *ефект* \Leftrightarrow *режим* \Leftrightarrow *технологія* \Leftrightarrow *конструкція*;

– розробки принципів побудови й реалізації комплексних моделей оптимізації режимно-технологічних та конструктивних рішень із водорегулювання осушуваних земель, які включають в себе модель економічної оптимізації, що побудована за традиційним економіко-математичним підходом, а її екологічна складова, як обмеження, визначає прийнятність оптимального економічного рішення:

$$\begin{cases} U_0 = \text{extr}_{\{i\}} U_i \cdot \alpha_p, i = \overline{1, n_i}; \\ Z_0 = \text{extr}_{\{j\}} Z_{ji} \cdot \alpha_p, j = \overline{1, n_j}; i = \overline{1, n_i}, \end{cases} \quad (1)$$

де U_0 , Z_0 – відповідні екстремальні значення за прийнятою умовою обраних критеріїв економічної U та екологічної Z оптимальності, що відповідає оптимальному технічному або технологічному рішення (ТТР) за сукупністю можливих варіантів $I = \{i\}$, $i = \overline{1, n_i}$; Z_{ji} – сукупність $\{j\}$, $j = \overline{1, n_j}$ критеріїв (фізичних показників) екологічної ефективності відповідних варіантів ТТР; α_p – відомі (визначені або задані) значення повторюваності чи часток можливого стану типових метеорологічних режимів у розрахункові періоди вегетації сукупності $\{p\}$, $p = \overline{1, n_p}$ у межах проектного терміну функціонування об'єкта, $\sum_{p=1}^{n_p} \alpha_p = 1$;

– обґрунтування критеріїв економічної та екологічної оптимізації щодо різних рівнів прийняття управлінських рішень у часі (1-проект, 2-планова експлуатація, 3-оперативне управління);

– розробки комплексу прогнозно-імітаційних моделей з прогнозою оцінки на довготерміновій основі змінних природно-агро-меліоративних умов реального об'єкта.

За такими принципами та науково-методичними підходами нами було розроблено, на відміну від економіко-математичного методу, що був застосований В.Г. Мурановим та М.О. Лазарчуком [8], методи та моделі для обґрунтування оптимальних параметрів сільськогосподарського дренажу при осушуванні земель із дотриманням сучасних економічних та екологічних вимог [6; 9].

При цьому, виходячи з визначення поняття гідромеліоративної системи (ГМС), які свого часу було представлено різними дослідниками як: *метеоролого-економічна система* (Жуковський Є.Є., 1981); *складна природно-технічна система* (Рекс Л.М., 1995; Рокочинський А.М., 2002, 2010 та ін.); *організована еколого-економічна система* (Фроленкова Н.А., 2006 та ін.); *соціо-природно-технічна система* (Ковальчук В.П., 2016); *складна природно-технічна еколого-економічна система* (Рокочинський А.М., 2016; Турченко В.О., 2018), встановлених нами зв'язків між різнорідними елементами та притаманних таким системам характерних технологічних, економічних та екологічних ознак, пропонуємо ДС, як невід'ємну складову сучасного водогосподарсько-меліоративного комплексу або водної галузі країни, розглядати як *водогосподарсько-меліоративну систему* (ВМС) та, відповідно, як *складну природно-технічну еколого-економічну систему* (СПТЕЕС).

Необхідною умовою є знаходження загального (глобального) оптимуму в таких системах тільки на основі застосування *системної оптимізації*, суть якої полягає в знаходженні проміжних локальних оптимумів для всіх її основних складових різнорідних елементів в їх взаємозв'язку [5; 6; 7]. При цьому, для сучасного рівня розвитку водогосподарсько-меліоративної та аграрної науки, системна оптимізація з обґрунтування оптимальних проектних рішень (ПР) щодо типу, конструкції й параметрів ДС та складових її технічних елементів здійснюється на наявний, визначений або заданий рівень економічної (врожайність сільськогосподарських культур) та екологічної ефективності функціонування досліджуваного об'єкта.

За такими принципами та науково-методичними підходами системної оптимізації нами (В.О. Турченко, А.М. Рокочинський, 2018) було виконано обґрунтування оптимальних параметрів режимних, технологічних та конструктивних рішень щодо водокористування на рисових зрошувальних системах у їх взаємозв'язку [10; 11]. При цьому, розглядаючи

окремі елементи щодо режиму та технології зрошення рису й конструкції карт-чеків при заданому рівні ефективності, нами не було отримано оптимального рішення щодо типу та конструкції рисової системи в цілому.

Методи та матеріали дослідження. Ґрунтуються на застосуванні теорії систем з основами системного аналізу та моделювання при розробці сучасних підходів до оптимізації режимних, технологічних та технічних рішень щодо створення та функціонування ДС на еколого-економічних засадах. Системний підхід включає в себе: розгляд ДС як СПТЕЕС; дослідження їх елементів, закономірностей функціонування і розвитку; декомпозицію складних цілей і задач переважно ієрархічної природи, притаманних таким системам; застосування методології низхідної ієрархії аналізу та висхідної ієрархії синтезу при розробці прогнозно-оптимізаційних моделей і методів їхньої реалізації.

Результати дослідження та їх обговорення. Виклики сучасності щодо енергетичної, продовольчої, водної та екологічної безпеки, а також зміни клімату визначають за необхідне розробку й реалізацію відповідних адаптивних заходів у зоні осушувальних меліорацій щодо удосконалення технологій водорегулювання відповідно їх типу, конструкції та параметрів ДС з урахуванням змінних кліматичних умов [5; 6].

У зв'язку з цим, виникає необхідність пошуку нових підходів, методів та моделей на основі розвитку загальної теорії оптимізації щодо застосування системної оптимізації для обґрунтування оптимальних ПР щодо типу, конструкції та параметрів ДС в цілому та окремих їх технічних елементів із дотриманням сучасних екологічних й економічних вимог.

Вирішення такого завдання потребує, насамперед, розробки моделі системи, де відбуваються складні природно-техногенні процеси з формування водного режиму осушуваних земель під дією зовнішніх як некерованих (природних), так і керованих (меліоративних) факторів, формуються загальний еколого-економічний ефект від їх сполученості та значення показників, що його характеризують.

За аналогією, та на відміну від моделі меліорованого поля на осушуваних землях, що розглянуто нами раніше [5; 6 та ін.], меліоративна система (МС) у складі системи сільськогосподарського виробництва (ССВ) (сільськогосподарських меліорованих полів із вирощуваними на них культурами) та конструктивно-технічних елементів ГМС або ДС, які виконують функцію регулювання водного й загального природно-меліоративного режимів у межах системи в їх взаємозв'язку, може бути представлено у такому вигляді (рис. 1).



Рис. 1. Структурно-логічна схема взаємозв'язку основних різномірних складових та елементів ДС

Ланки такої системи (відповідні підсистеми) взаємопов'язані як різнорідні складові елементи, що взаємодіють між собою та з оточуючим середовищем. В представленій системі в рамках кожного окремо взятого меліорованого поля ССВ реалізується водний режим осушуваних земель, який забезпечують регулюючі елементи ДС, вирощуються певні сільськогосподарські культури та формується загальний еколого-економічний ефект у межах полів та ДС в цілому у змінному часі та просторі.

Виходячи з представленої структурної моделі системи, сумарний (інтегральний) еколого-економічний ефект, який відповідає оптимальному рівню технічної, технологічної, економічної та екологічної ефективності роботи ДС, що створюється при її функціонуванні в часі (τ) та просторі (f), в загальному випадку може бути визначений за моделлю виду

$$Y^o = \int_0^{T_{mp}} \int_0^{F_s} y_i^o(T_i, F_i) d\tau df, \quad i = \overline{1, n_i}, \quad (2)$$

де Y^o – оптимальний інтегральний еколого-економічний ефект, створений при функціонуванні системи відповідно до діючих вимог; y_i^o – параметри оптимального загального еколого-економічного ефекту, який створюється від дії та взаємодії взаємозв'язаних між собою різнорідних складових елементів ДС сукупності $\{i\}$, $i = \overline{1, n_i}$ та оточуючим середовищем; T_i , T_{mp} – відповідні періоди функціонування за i -ми різнорідними елементами та системи в цілому; F_i , F_s – відповідні площі за i -ми різнорідними елементами та системи в цілому.

За аналогією з [10; 11 та ін.]

$$y_i^o = f_1^* \left(f_2^* \left(f_3^* \left(z_i^0 \right) \right) \right), \quad i = \overline{1, n_i}, \quad (3)$$

де f_1^* – функція оптимізації параметрів природно-меліоративного режиму θR_i , $i = \overline{1, n_i}$ у межах системи; f_2^* – функція оптимізації параметрів технологій водорегулювання θS_i , $i = \overline{1, n_i}$ на системі; f_3^* – функція оптимізації параметрів конструктивних рішень щодо ДС θK_i ; z_i^0 – оптимальні параметри відповідно різнорідних елементів системи, що розглядаються, сукупності $\{i\}$, $i = \overline{1, n_i}$, які взаємопов'язані між собою та оточуючим середовищем.

Пошук оптимальних параметрів складових складеної функції (3) і, в перш за все, параметрів режимів та пов'язаних з ними технологічних рішень щодо технологій водорегулювання і технічних рішень щодо типу,

конструкції та параметрів системи, що їх забезпечують, а також складових їх технічних елементів, залежно від створюваного загального еколого-економічного ефекту, формально може бути здійснений послідовно через відповідні обернені функції:

– щодо оптимальних параметрів режимів водорегулювання z_2^0 ,

$$z_2^0 = f_1^{*-1} \left(\hat{y}_i \right), \quad i = \overline{1, n_i}; \quad (4)$$

– щодо оптимальних параметрів технологій z_3^0 ,

$$z_3^0 = f_2^{*-1} \left(f_1^{*-1} \left(\hat{y}_i \right) \right), \quad i = \overline{1, n_i}; \quad (5)$$

– щодо оптимальних параметрів конструкції z_4^0 ,

$$z_4^0 = f_3^{*-1} \left(f_2^{*-1} \left(f_1^{*-1} \left(\hat{y}_i \right) \right) \right), \quad i = \overline{1, n_i}, \quad (6)$$

де \hat{y}_i – задані або прийняті параметри загального еколого-економічного ефекту за відповідними різнорідними елементами системи.

Для реалізації функцій оптимізації (2)-(6) слід використовувати результати досліджень закономірностей взаємопов'язаних процесів руху води, як в основних складових елементах підсистем, так і в системі загалом, а також існуючі підходи до розв'язання оптимізаційних задач у СПТЕЕС.

У такій постановці моделі (2)-(6) у загальному неявному вигляді дають змогу теоретично обґрунтувати можливість постановки задачі, пошуку та визначення послідовно сукупності оптимальних режимних, технологічних й конструктивних рішень щодо різнорідних складових елементів та системи в цілому в їх взаємозв'язку, бодай на емпіричному чи емпірико-функціональному рівні визначення залежності між ними.

За результатами розглянутих передумов та виконаного теоретичного аналізу щодо системної оптимізації технологічних й конструктивних рішень в СПТЕЕС, до яких відносяться ДС, управлінська модель оптимізації, що покладена в основу реалізації оптимізаційного підходу за економіко-математичним методом, згідно з [5; 6; 7; 9 та ін.], в загальному вигляді представляється як

$$Z_i^0 = \text{extr}_{\{m_i\}} \left(Z_{m_i} \right), \quad m_i = \overline{1, n_{m_i}}, \quad i = \overline{1, n_i}, \quad (7)$$

де Z_i^0 – екстремальні значення за прийнятими умовами обраних критеріїв оптимальності, що відповідають множинним оптимальним ТТР за сукупністю різнорідних елементів $\{i\}$, $i = \overline{1, n_i}$ та системи в цілому;

Z_{m_i} – значення критеріїв оптимальності за сукупністю можливих альтернативних варіантів реалізації i -того елемента в межах системи $\{m_i\}$, $m_i = 1, n_{m_i}$, $i = 1, n_i$.

Виходячи з структурної моделі ДС (див. рис.1.) та встановленого характеру зв'язків між різнорідними елементами системи взагалі за математичними моделями (2)-(6), складний внутрішній взаємозв'язок між її різнорідними елементами може бути представлений за такою структурно-ієрархічною схемою (рис. 2)

Отож, на підставі подальшого узагальнення характеру і структури зв'язків за загальними моделями оптимізації в неявному вигляді (2)-(6), принципів побудови комплексної моделі оптимізації (1) та структурно-ієрархічної схеми взаємозв'язку між основними складовими різнорідними елементами системи (рис. 2.), комплексна модель системної оптимізації з послідовного обґрунтування режимних, технологічних та конструктивних рішень у їх взаємозв'язку при створенні та функціонуванні ДС, з урахуванням сучасних економічних та екологічних вимог, у загальному вигляді може бути представлена як

$$\left\{ \begin{aligned} U_v^0 &= \text{extr}_{\{i\}} \left\{ \sum_{ikgpls\phi\theta=1}^{n_{ikgpls\phi\theta}} \right\} \left(\sum_{p=1}^{n_p} \bar{U}_{ikgpls\phi\theta}^0 \times \alpha_p \right) \times \\ &\times f_i \times f_k \times f_g \times f_p \times f_l \times f_s \times f_\phi \times f_\theta, v = \overline{1, n_v}, i = \overline{1, n_i}; \\ Z_v^0 &= \text{extr}_{\{i\}} \left\{ \sum_{ikgpls\phi\theta=1}^{n_{ikgpls\phi\theta}} \right\} \left(\sum_{p=1}^{n_p} Z_{ikgpls\phi\theta} \times \alpha_p \right) \times \\ &\times f_i \times f_k \times f_g \times f_p \times f_l \times f_s \times f_\phi \times f_\theta, v = \overline{1, n_v}, i = \overline{1, n_i}, \end{aligned} \right. \quad (8)$$

де U_v^0 , Z_v^0 – відповідно екстремальні значення за прийнятою умовою обраних критеріїв економічної $\bar{U}_{ikgpls\phi\theta}^0$ та екологічної $Z_{ikgpls\phi\theta}$ оптимальності, що відповідають оптимальним режимним, технологічним та конструктивним параметрам ДС щодо різних рівнів ієрархії прийняття рішень за різнорідними елементами системи, $v = \overline{1, n_v}$, $n_v = 8$: у загальному випадку на рівні культур проєктної сівозміни ($v = 1$), сукупності $\{k\}$, $k = \overline{1, n_k}$; на рівні ґрунтів ($v = 2$), сукупності $\{g\}$, $g = \overline{1, n_g}$; на рівні розрахункових років ($v = 3$), сукупності $\{p\}$, $p = \overline{1, n_p}$; на рівні ґрунтово-меліоративних різниць ($v = 4$), сукупності $\{l\}$, $l = \overline{1, n_l}$; на рівні технологій і схем водорегулювання на системі ($v = 5$),

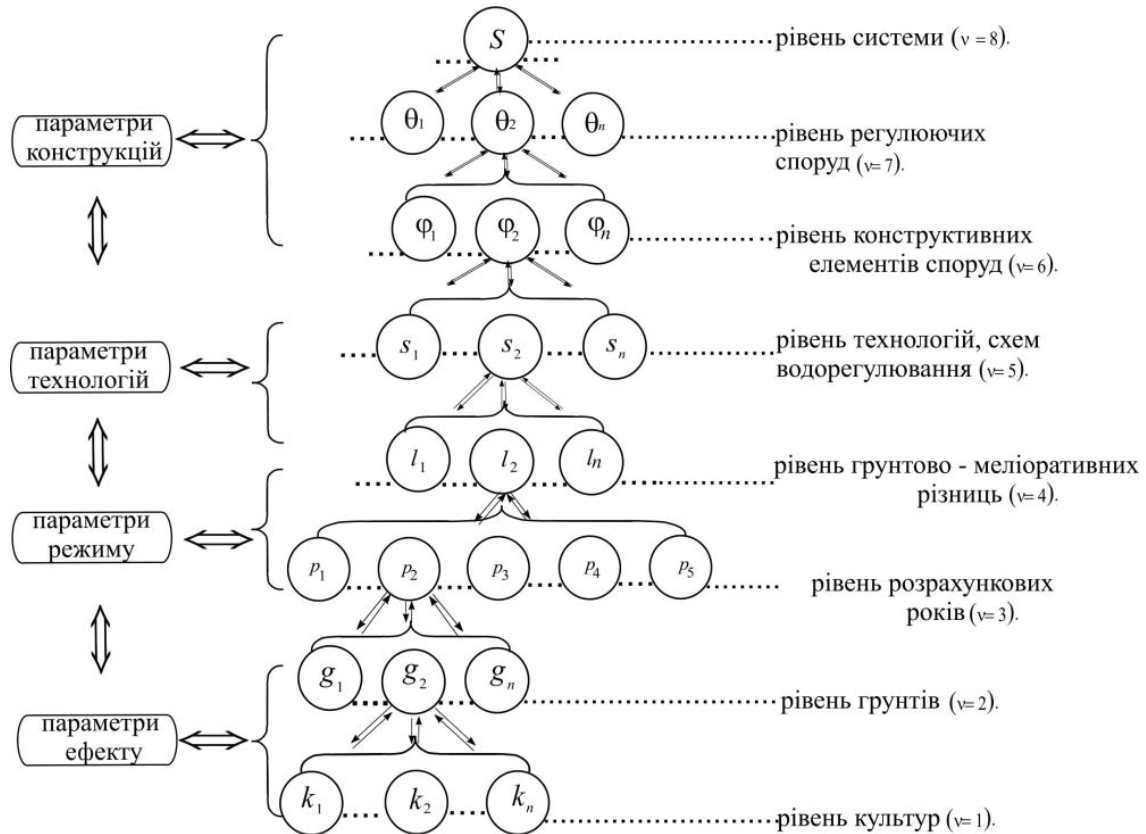


Рис. 2. Структурно-ієрархічна схема взаємозв'язку основних складових різнорідних елементів при функціонуванні ДС

сукупності $\{s\}$, $s = \overline{1, n_s}$; на рівні конструктивних елементів споруд ($v = 6$), (наприклад дренажу – вид, конструкція, матеріал, фільтр та ін.), сукупності $\{\phi\}$, $\phi = \overline{1, n_\phi}$; на рівні регулюючих споруд системи ($v = 7$) (магістральний канал, канали провідної мережі, шлюзи-регулятори, дренаж тощо), сукупності $\{\theta\}$, $\theta = \overline{1, n_\theta}$ та на рівні системи в цілому ($v = 8$); $f_i \times f_k \times f_g \times f_p \times f_l \times f_s \times f_\phi \times f_\theta$ – частки поширення у межах системи, відповідно щодо: культур проектної сівозміни $\{k\}$, $k = \overline{1, n_k}$; ґрунтових умов $\{g\}$, $g = \overline{1, n_g}$; розрахункових років $\{p\}$, $p = \overline{1, n_p}$; ґрунтово-меліоративних різниць $\{l\}$, $l = \overline{1, n_l}$; конструктивних елементів $\{\phi\}$, $\phi = \overline{1, n_\phi}$ регулюючих споруд $\{\theta\}$, $\theta = \overline{1, n_\theta}$ та системи в цілому S за відповідними технологіями та схемами водорегулювання.

Отже, загальні принципи побудови та реалізації комплексних моделей системної оптимізації також включають в себе модель економічної оптимізації, що побудована за традиційним економіко-математичним підходом та обґрунтовує економічно оптимальне ПР, а її екологічна складова, як обмеження, визначає екологічну прийнятність оптимального економічного рішення.

Відповідно послідовний пошук оптимального (раціонального) значення критерію оптимізації щодо різних рівнів ієрархії прийняття рішень за різнорідними елементами системи як на довготерміновій, так і короткотерміновій основі знаходиться аналогічно до моделей (4–6).

Узагальнена структура реалізації комплексної моделі системної оптимізації режимних, технологічних та конструктивних параметрів ДС та її складових технічних елементів на еколого-економічних засадах подана на (рис. 3).

Характерними особливостями розробленої структури є блочна побудова та послідовна циклічність їх реалізації.

При цьому можна виділити такі відносно самостійні узагальнюючі блоки:

– блок формування вихідних даних за сукупностями основних природно-кліматичних, ґрунтово-меліоративних, режимно-технологічних, конструктивно-технологічних й інших чинників, які визначально впливають на вибір оптимального типу, конструкції та параметрів ДС (блок 2, рис. 3);

– блок формування варіантів ПР сукупності $\{i\}$, $i = \overline{1, n_i}$ за множинними прогнозно-імітаційними, режимно-технологічними та

конструктивно-технологічними змінними параметрами ДС (блок 3, рис. 3);

– блок формування прогнозно-імітаційних множинних змінних досліджуваного об'єкта за сукупностями: метеорологічних режимів $\{\omega\}$, $\omega = \overline{1, n_\omega}$; розрахункових років $\{p\}$, $p = \overline{1, n_p}$; культур проектної сівозміни $\{k\}$, $k = \overline{1, n_k}$; ґрунтів $\{g\}$, $g = \overline{1, n_g}$; ґрунтово-меліоративних різниць $\{l\}$, $l = \overline{1, n_l}$ (блок 4, рис. 3.);

– блок прогнозно-імітаційних розрахунків на довготерміновій основі за сукупністю відповідних моделей: метеорологічних умов місцевості [13], водного режиму і технологій водорегулювання [14] та продуктивності осушуваних земель [15], за результатами яких визначаються необхідні *вартісні* техніко-економічні показники, як складові економіко-математичних моделей оптимізації, та *фізичні* показники екологічної ефективності водного і загального природно-меліоративного режимів осушуваних земель на рівні кожного меліорованого поля ССВ (виращуваної культури), а також диференційовані значення врожайності виращуваних культур за варіантами ПР [9] (блок 5, рис. 3);

– блок формування режимно-технологічних множинних змінних досліджуваного об'єкта щодо технологій та *схем* водорегулювання за сукупностями $\{s\}$, $s = \overline{1, n_s}$ (блок 6, рис. 3);

– блок режимно-технологічних розрахунків передбачає визначення технологій та схем водорегулювання в межах ДС за принципом їх дії та впливу на режим вологи ґрунту й РГВ, а також основними технічними характеристиками і параметрами (нормами осушення, елементами техніки зволоження тощо), сукупності $s = \overline{1, n_s}$ ($n_s = 6$): осушення, $s = 1$; попереджувальне шлюзування, $s = 2$; неперервне зволожувальне шлюзування тривалим підпором рівнів води, $s = 3$; періодичне зволожувальне шлюзування (циклічне підґрунтове зволоження), $s = 4$; зрошення дощуванням на фоні осушення, $s = 5$; зрошення дощуванням на фоні попереджувального шлюзування, $s = 6$, а також можливих їх комбінацій в умовах системи (блок 7, рис. 3);

– блок конструктивно-технологічних множинних змінних технічних елементів щодо регулюючих споруд (головна дрена, провідна та регулююча мережа, насосні станції, гідротехнічні споруди тощо) сукупності $\{\theta\}$, $\theta = \overline{1, n_\theta}$, а також конструктивних елементів цих споруд (вид матеріалу, діаметр, конструкції, параметри фільтрів, дренаж тощо) сукупності $\{\phi\}$, $\phi = \overline{1, n_\phi}$ (блок 8, рис. 3);



Рис. 3. Узагальнена блок-схема реалізації комплексної моделі системної оптимізації з обґрунтування типу, конструкції та параметрів ДС на еколого-економічних засадах

– блок конструктивно-технологічних моделей передбачає визначення типу, конструкції та параметрів ДС й складових їх технічних елементів на багатоваріантній основі за відповідними загальноприйнятими формулами на основі розрахункових значень показників витрат, напорів, рівнів води, модулів дренажного стоку, модулів водоподачі тощо [16 та ін.] (блок 9, рис. 3);

– блок формування оптимізаційних множинних змінних сукупності $\{i_v\}, i_v = 1, n_v, v = 1, n_v$, щодо множинних режимно-технологічних та конструктивно-технологічних альтернативних варіантів ПР відповідно до рівня розв'язання поставленої оптимізаційної задачі по системі (блок 10, рис. 3);

– блок оптимізаційних розрахунків передбачає послідовний пошук оптимальних значень прийнятих критеріїв оптимізації економічної та екологічної ефективності щодо параметрів різнорідних елементів системи (ТТР) відповідно до багаторівневої ієрархії їх знаходження, починаючи з найнижчого – рівня культури $k, v = 1$, через проміжні рівні щодо $g, v = 2; p, v = 3; l, v = 4; s, v = 5; \phi, v = 6; \theta, v = 7$ і, зрештою, до найвищого її рівня системи $S, v = 8$, відповідно до необхідного рівня прийняття рішення в часі як на довготерміновій, так і короткотерміновій основі їх виконання (1-проект, 2-планова експлуатація, 3-оперативне управління). За ними реалізується загальна умова системної оптимізації та остаточний вибір оптимального рішення, що здійснюється неформальним шляхом через експертну оцінку відповідним спеціалістом на стадії проекту або планової експлуатації ДС, яке враховує, з одного боку, економічну ефективність, а з іншого – екологічну прийнятність його реалізації (блок 11, рис. 3);

– блок формування й виведення будь-яких проміжних (за необхідності) та остаточних результатів прогнозно-оптимізаційних розрахунків на будь-якому етапі їх виконання (блок 12, рис. 3).

По-друге, це необхідність дотримання визначеного порядку ієрархічно підпорядкованої послідовності виконання прогнозно-оптимізаційних розрахунків за відповідними моделями й узагальнюючими блоками, коли результати, отримані за відповідними моделями на нижчих рівнях ієрархії (зворотний порядок розташування блоків моделей на рис. 3), є вихідними даними для виконання подальших розрахунків.

Безумовно, що наведена на (рис. 3) загальна універсальна структура прогноз-

но-оптимізаційних розрахунків буде дещо змінюватися в кожному конкретному випадку її застосування залежно від рівня оптимізаційної задачі, що розв'язується та прийнятої до розгляду, згідно сформульованого завдання, n_v -рівневої структури їх виконання, конкретних природно-меліоративних й інших умов об'єкта управління.

У свою чергу, реалізація комплексних моделей системної оптимізації потребує визначення показників й критеріїв економічної та екологічної ефективності ПР, що формуються безпосередньо як по окремих різнорідних елементах, так і в межах системи в цілому.

Як показали практика та накопичений досвід постановки й реалізації оптимізаційних задач з водорегулювання осушуваних земель [5–7; 9; 14 та ін.], в якості економічного критерію та умови оптимізації на стадії проектування доцільно розглядати мінімізацію приведених витрат ZP_i з урахуванням погодно-кліматичного ризику R_i та похідних від нього показників. Відповідно на стадії експлуатації доцільно розглядати максимізацію чистого доходу D_i , а також похідні від них показники та умови, що досягаються на меліорованих землях за рахунок реалізації різних варіантів ПР.

В якості критеріїв екологічної оптимальності доцільно використовувати сукупність фізичних показників екологічної ефективності, які висвітлюють різні сторони складного характеру умов формування водного режиму осушуваних земель під дією кліматичних і меліоративних факторів й можуть бути визначені на стадії проекту за довготерміновим прогнозом [5; 6; 7; 14 та ін.]: Hg – глибина РГВ (середня за період вегетації), м; β_g^{vh} – відносний (відношення фактичної до оптимальної) показник вологості найбільш активного (розрахункового) шару ґрунту h (середній за період вегетації); N^t – показник надійності (тривалості) підтримання сприятливого водного режиму активного шару ґрунту протягом періоду вегетації, %; N^k – аналогічний показник надійності щодо критичного періоду розвитку (відповідно найбільшого водоспоживання) вирощуваних культур, %; $WRh + M$ – сумарна за вегетацію величина живлення активного шару ґрунту h з нижчезрозташованих шарів й РГВ (VRh) та витрат води на зволоження осушуваних земель (M) відповідним способом, мм; β_k^y – відносний (відношення фактичного до потенційно можливого або максимально досягнутого врожаю) показник урожаю вирощуваних

культур; Vh – вологообмін активного шару ґрунту h з нижчерозташованими шарами й РГВ (сумарний за вегетацію), мм; $KKД \Phi AP$ – фактичне значення коефіцієнта корисної дії (ККД) використання фотосинтетичноактивної радіації (ΦAP) вирощуваною культурою, %; fr – відносний рівень погодно-кліматичного ризику щодо врожайності – та похідні від них узагальнені показники, зокрема коефіцієнт екологічної надійності k_n .

Визначення показників та критеріїв економічної й екологічної оптимізації спирається на розроблений нами комплекс прогнозно-імітаційних моделей, які реалізуються за довготерміновим прогнозом, щодо кліматичних умов місцевості чи метеорологічних режимів, водного режиму та технологій водорегулювання осушуваних земель, а також розвитку й формування врожаю вирощуваних культур. Практичне їх застосування регламентоване відповідними галузевими нормативами Держводагентства України [13–15].

Отже, перехід на оптимізаційні методи визначає необхідність зміни технології проєк-

тування водогосподарсько-меліоративних об'єктів на основі використання багатоваріантного підходу, застосування сучасних інформаційних та комп'ютерних технологій. Практична реалізація комплексу прогнозно-імітаційних та оптимізаційних розрахунків у проєктах нового будівництва, реконструкції та модернізації ДС, на основі розробленого нами науково-методичного, інформаційного та програмного забезпечення, може бути використана при реалізації відповідного інструментарію, яким є САПР або сучасні ВІМ-технології [4].

Висновки. Отже, застосування системної оптимізації дасть можливість підвищити обґрунтованість і загальну технічну, технологічну та еколого-економічну ефективність створення й функціонування ДС при реалізації адаптивних заходів щодо зміни кліматичних умов у найближчій та віддаленій перспективі в зоні осушувальних меліорацій, насамперед у поліському регіоні, відповідно до прийнятої «Стратегії зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 року» [17].

Бібліографія

1. Балюк С.А., Ромащенко М.І., Трускавецький Р.С. Охорона ґрунтів і розвиток меліорації в Україні. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2018. Вип. 87. С. 5–10.
2. Воропай Г., Яцик М., Мозоль Н. Сучасний стан та перспективи розвитку осушувальних меліорацій в умовах змін клімату. *Меліорація і водне господарство*. 2019. (2), 31–39. <https://doi.org/10.31073/mivg201902-180>
3. Evaluation of climate change in Polissia region and ways of adaptation to it. Kovalenko Peter et al. *Journal of Water and Land Development*. 2019. Volume 41. Issue 1. pp. 72–82. DOI: 10.2478/jwld-2019-0030
4. Reclamation projects development improvement technology considering optimization of drained lands water regulation based on BIM. Rokochinskiy A. et al. *Review Engineering and Environmental Sciences*. 2019. Volume 28 Issue 3(85). 432–443. DOI 10.22630/PNIKS.2019.28.3.40
5. Рокочинський А.М. Наукові та практичні аспекти оптимізації водорегулювання осушуваних земель на еколого-економічних засадах : монографія / за ред. академіка УААН Ромащенко М.І. Рівне : НУВГП. 2010. 351 с.
6. Меліорація та облаштування Українського Полісся: Том 1. / за ред. Я.М. Гадзала, В.А. Сташука, А.М. Рокочинського. Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2017. 932 с.
7. Рокочинський А.М. Системна оптимізація водорегулювання як необхідна умова створення та функціонування водогосподарсько-меліоративних об'єктів на еколого-економічних засадах. *Меліорація і водне господарство*. Вип. 104. С. 67–71.
8. Лазарчук М.О. Черенков А.В., Рокочинський А.М. та ін. Оптимізація розрахунку осушувальних систем та управління ними. Рівне : НУВГП. 2009. 354 с.
9. Науково-методичні рекомендації до обґрунтування оптимальних параметрів сільськогосподарського дренажу на осушуваних землях за економічними та екологічними вимогами / Рокочинський А.М. та ін. Рівне : НУВГП, 2013. 34 с.
10. Турченко В.О., Рокочинський А.М. Системна оптимізація водо- та енергокористування на екологоекономічних засадах на рисових зрошувальних системах : монографія / за наук. ред. А.М. Рокочинського. Рівне : НУВГП. 2020. 333 с.
11. Підвищення ефективності функціонування рисових зрошувальних систем України : науково-методичні рекомендації / заг. ред. В.А. Сташука, Р.А. Вожегової, В.В. Дудченка, А.М. Рокочинського, В.В. Морозова. Рівне : НУВГП. 2020. 203с. <http://ep3.nuwm.edu.ua/16836/>

12. Жуковский Е.Е. Метеорологическая информация и экономические решения. Львов : Гидрометеиздат. 1981. 304 с.
13. Посібник до ДБН В.2.4.-1-99 «Меліоративні системи та споруди» (розділ 3. Осушувальні системи). Метеорологічне забезпечення інженерно-меліоративних розрахунків у проектах будівництва й реконструкції осушувальних систем / А.М. Рокочинський та ін. Київ : ВАТ «Укрводпроект». 2008. 63 с.
14. Тимчасові рекомендації з прогнозої оцінки водного режиму та технологій водорегулювання осушуваних земель у проектах будівництва й реконструкції меліоративних систем / А.М. Рокочинський та ін. Рівне, 2011. 54 с.
15. Тимчасові рекомендації з обґрунтування ефективної проектної врожайності на осушуваних землях при будівництві й реконструкції меліоративних систем / Шалай С.В. та ін. Рівне : НУВГП. 2004. 44 с.
16. ДБН В.2.4.-1-99 Меліоративні системи та споруди. Київ, 1999. 174 с.
17. Стратегія зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 року. Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 14.08.2019 р. № 688-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/688-2019-%D1%80> (дата звернення: 21.11.2020).

References

1. Baliuk, S.A., Romashchenko M.I., & Truskavetskyi, R.S. (2018). Okhorona gruntiv i rozvytok melioratsii v Ukraini [Soils protection and reclamation development in Ukraine]. *Ahrokhimiia i gruntoznavstvo*, 87, 5–10. [in Ukrainian]
2. Voropai H., Yatsyk, M., & Mozol, N. (2019). Suchasnyi stan i perspektyvy rozvytku drenazhatsiinykh mekhanizatsii v zminnyi klimat [Modern state and perspectives of drainage mechanization development under the climate changes conditions]. *Melioratsiia ta upravlinnia vodnymy resursamy*, 2, 31–39. Retrieved from: <https://doi.org/10.31073/mivg201902-180> [in Ukrainian]
3. Kovalenko, P., Rokochynskiy, A., Jeznach, J., Volk, P., Koptiuk, R., & Prykhodko, N. (2019). Evaluation of climate change in polissia region and ways of adaptation to it. *Journal of Water and Land Development*, vol. 41, iss. 1, 72–82. doi: 10.2478/jwld-2019-0030
4. Rokochynskiy A., Jeznach J., Volk P., Turcheniuk V., Frolenkova N. & Koptiuk R. (2019). Reclamation projects development improvement technology considering optimization of drained lands water regulation based on BIM. *Review Engineering and Environmental Sciences*, Volume 28. Issue 3(85). 432–443. doi: 10.22630/PNIKS.2019.28.3.40
5. Rokochynskiy, A.M. (2010). Naukovi ta praktychni aspekty optymizatsii vodorehulivannia osushuvanykh zemel na ekoloho-ekonomichnykh zasadakh [Scientific and practical aspects of optimization of water regulation of drained lands on ecological and economic principles]. M.I. Romashchenko (Ed.). Rivne : NUVHP. [in Ukrainian]
6. Hadzalo, Ya.M. Stashuk, V.A., & Rokochynsky, A.M. (2017). Melioratsiia ta oblashtuvannia Ukrainskoho Polissia [Reclamation and arrangement of Ukrainian Polissya]. (Vol. 1). Kherson : OLDI-PLIUS. [in Ukrainian]
7. Rokochynsky, A.M. (2016). Systemna optymizatsiia vodorehulivannia yak neobkhidna umova stvorennia ta funktsionuvannia vodohospodarsko-melioratyvnykh ob'ektiv na ekoloho-ekonomichnykh zasadakh [System optimization of water regulation as a necessary condition for the creation and operation of water management and reclamation facilities on an ecological and economic basis]. *Melioratsiia i vodne gospodarstvo*, 104, 67–71. [in Ukrainian]
8. Lazarchuk, M.O. Cherenkov, A.V., & Rokochynskiy A.M. (2009). Optymizatsiia rozrakhunku osushuvanykh system ta upravlinnia nymy [Optimization of drainage systems calculation and management]. Rivne : NUVHP. [in Ukrainian]
9. Rokochynsky, A.M., Cherenkov, A.V., Muranov, V.H., & Volk, P.P. (2013). Naukovometodychni rekomendatsii do obgruntuvannia optimalnykh parametriv silskohospodarskoho drenazhu na osushuvanykh zemliakh za ekonomichnyimi ta ekolohichnyimi vymohamy [Scientific and methodological recommendations for substantiation of optimal parameters of agricultural drainage on drained lands according to economic and ecological requirements.]. Rivne : NUVHP. [in Ukrainian]
10. Turcheniuk, V.O. & Rokochynskiy, A.M. (2020). Systemna optymizatsiia vodo- ta enerhokorystuvannia na ekolohoekonomichnykh zasadakh na rysovykh zroshuvanykh systemakh [System optimization of water and energy use on the basis ekolohoekonomichnykh in rice irrigation systems] / A.M. Rokochynskiy (Ed.). Rivne : NUVHP. [in Ukrainian]

11. Stashuk, V.A., Vozhehova, R.A., Dudchenko, V.V., Rokochyskyi, A.M., & Morozov, V.V. (2020). Pidvyshchennia efektyvnosti funktsionuvannia rysovykh zroshuvalnykh system Ukrainy : naukovo-metodychni rekomendatsii [Improving the efficiency of rice irrigation systems in Ukraine : scientific and methodological recommendations]. Rivne : NUVHP. [in Ukrainian]
12. Zhukovskyi, E.E. (1981). Meteorolohycheskaia ynformatsyia y ekonomycheskye reshenyia. [Meteorological information and economic solutions.] Lviv : Hydrometeoyzdat. [in Ukrainian]
13. Rokochynskyi, A.M. (2008). Posibnyk do DBN V.2.4.-1-99 «Melioratyvni systemy ta sporudy» (rozdil 3. Osushuvalni systemy). Meteorolohichne zabezpechennia inzhenerno-melioratyvnykh rozrakhunkiv u proektakh budivnytstva y rekonstruktsii osushuvalnykh system [Meteorological provision of engineering calculations reclamation projects in construction and reconstruction of drainage systems]. Kyiv : VAT «Ukrvodproekt». [in Ukrainian]
14. Rokochynskyi, A.M., Stashuk, V.A., Dupliak, V.D., & Frolenkova, N.A. et al. (2011). Tymchasovi rekomendatsii z prohnoznoi otsinky vodnoho rezhymu ta tekhnolohii vodorehulivannia osushuvanykh zemel u proektakh budivnytstva y rekonstruktsii melioratyvnykh system [Interim recommendations on forecast assessment of water regime and water regulation technologies of drained lands in projects of construction and reconstruction of reclamation systems]. Rivne : NUVHP. [in Ukrainian]
15. Shalai, S.V., Rokochynskyi, A.M., Stashuk, V.A., & Bezruk, V.M. (2004). Tymchasovi rekomendatsii z obgruntuvannia efektyvnoi proektnoi vrozhaivosti na osushuvanykh zemliakh pry budivnytstvi y rekonstruktsii melioratyvnykh system [Interim recommendations for substantiation of effective design yield on drained lands during construction and reconstruction of reclamation systems]. Rivne : NUVHP. [in Ukrainian]
16. Melioratyvni systemy ta sporudy. [Reclamation systems and structures]. (1999). DBN V. 2.4-1-99. Kyiv. [in Ukrainian]
17. Stratehiia zroshennia ta drenazhu v Ukraini na period do 2030 roku [Irrigation and drainage strategy in Ukraine until 2030]: Skhvaleno rozporiadzhenniam Kabinetu Ministriv Ukrainy № 688-p. (2019, August 14). Uriadovyi kurier, 170. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/688-2019-%D1%80> [in Ukrainian]

А.Н. Рокочинский, П.П. Волк

Модели системной оптимизации при создании и функционировании дренажных систем в современных условиях

Аннотация. Вызовы современности и изменения климата определяют необходимым разработку новых подходов, методов и моделей на основе развития общей теории оптимизации для обоснования оптимального типа, конструкции и параметров дренажных систем на эколого-экономических принципах. Разработаны модели системной оптимизации технологических и конструктивных решений при создании и функционировании дренажных систем. Представляется, что дренажная система – это сложная природно-техническая эколого-экономическая система. Нахождение общего (глобального) оптимума в такой системе на основе системной оптимизации заключается в обосновании промежуточных локальных оптимумов для всех ее основных составляющих разнородных элементов (эффект, режим, технология, конструкция) в их взаимосвязи. Разработаны общие принципы построения и реализации комплексных моделей системной оптимизации, которые включают в себя модель экономической оптимизации, построенной на основе традиционного экономико-математического подхода, а ее экологическая составляющая, как ограничение, определяет экологическую приемлемость оптимального экономического решения. Рассмотрены критерии экономической и экологической оптимизации на всех стадиях принятия решений во времени (1-проект, 2-техническая эксплуатация, 3- оперативное управление объектом) и комплекс прогнозно-имитационных моделей с их определения за долгосрочным прогнозом на многовариантной основе с учетом переменных агромелиоративных условий реального объекта. Практическая реализация комплекса прогнозно-имитационных и оптимизационных расчетов в проектах нового строительства, реконструкции и модернизации ДС на основе разработанного нами научно-методического, информационного и программного обеспечения может быть использовано при применении соответствующего инструментария, которым является САПР и современные ВИМ-технологии. Использование системной оптимизации позволит повысить общую техническую, технологическую и эколого-экономическую эффективность создания и функционирования дренажных систем.

Ключевые слова: системная оптимизация, создание и функционирование, дренажная система, эколого-экономические принципы

A.M. Rokochinskiy, P.P. Volk

**Models of system optimization for constructing
and functioning drainage systems in current conditions**

Abstract. *The today challenges and climate change are the reasons of the need to develop new approaches, methods and models based on a general theory of optimization to ground the optimal type, design and parameters of drainage systems on ecological and economic principles. Models of system optimization of technological and constructive decisions when constructing and functioning of drainage systems have been developed. Drainage system is considered to be a complex natural-technical and ecological-economic system. Finding the general (global) optimum in such a system on the basis of system optimization is to substantiate the intermediate local optimums for all its main components of heterogeneous elements (effect, mode, technology, design) in their relationship. General principles of construction and implementation of complex models of system optimization have been developed, which include the model of economic optimization, built on the traditional economic-mathematical approach, and its ecological component, as a limitation factor, which determines the acceptability of the optimal economic solution. The criteria of economic and environmental optimization for different levels of management decisions over time (1-project, 2-planned operation, 3-operational management) and a set of forecasting and simulation models to determine them on a long-term forecast on a multivariate basis, taking into account variables of natural, agronomical and reclamation conditions of a real object. The practical implementation of forecast-simulation and optimization calculations is performed on the basis of applying the appropriate tools, which are CAD or modern BIM-technologies. The use of system optimization will increase the overall technical, technological, environmental and economic efficiency of constructing and functioning drainage systems.*

Key words: *system optimization, constructing and functioning drainage system, ecological and economic principles*

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202101-278>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/278>

УДК 004.657:004.72:621.39

МЕТОДИ ТА ДЖЕРЕЛА ОТРИМАННЯ ДАНИХ ДЛЯ БАЗ ЗНАТЬ ТЕХНІЧНИХ, ТЕХНОЛОГІЧНИХ, ОРГАНІЗАЦІЙНИХ ЗАХОДІВ ПРИ ПЛАНУВАННІ ВОДОЗЕМЛЕКОРИСТУВАННЯ НА МЕЛІОРОВАНИХ ТЕРИТОРІЯХ

Т.В. Матяш¹, канд. техн. наук, В.П. Ковальчук², докт. техн. наук, В.В. Книш³,
К.О. Диль⁴, В.В. Поліщук⁵, канд. с.-г. наук, А.Ф. Салюк⁶, Я.О. Бутенко⁷, К.І. Чорна⁸

¹ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0003-1225-086X>; e-mail: t.v.matiash@gmail.com;

² Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0001-7570-1264>; e-mail: volokovalchuk@gmail.com;

³ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-3220-9883>; e-mail: iwpim27@gmail.com;

⁴ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-5850-2404>; e-mail: dyl@iwpim.com.ua;

⁵ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0003-0429-7406>; e-mail: vitaliypolishchuk@ukr.net;

⁶ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0003-3968-1125>; e-mail: allasaluk@ukr.net;

⁷ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-1743-7175>; e-mail: iarynabulba@gmail.com;

⁸ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0003-1695-635X>; e-mail: St.Katrine90@gmail.com

Анотація. У статті проаналізовано методи та джерела отримання даних для наповнення баз знань технічних, технологічних та організаційних заходів при плануванні водоземлекористування на меліорованих територіях. Встановлено основні джерела отримання даних: дані у XML, CSV та JSON форматах із сайтів відповідних установ і відомств, дані ДЗЗ, наукові розробки та напрацювання, звітність водогосподарських організацій тощо. Визначено основні перешкоди, що можуть виникнути під час отримання необхідної інформації. Запропоновано структурно-функціональну схему забезпечення користувача єдиною точкою доступу до накопиченої інформації. Для забезпечення доступу користувачів до накопиченої інформації запропоновано вузол збору, зберігання і обробки даних (піддомен <http://ewater.iwpim.com.ua> та наявний у ІВПІМ сервер) із функціями віддаленого забезпечення збору даних, їх попередньої обробки, структурування, поєднання, забезпечення оперативного і тривалого зберігання. Запропоновано структуру бази даних для обробки складноструктурованої інформації за предметними областями (списків, ієрархії, взаємозв'язків, структуруванні бібліотек, принципів класифікації) для подання у вигляді «сутність-взаємозв'язок-характеристика». У складі єдиного Інтернет-порталу заплановано представлення інформаційно-довідкових систем: «Інтегроване планування використання водних та земельних ресурсів»; «Консолідація земель»; «Приватно-державне партнерство». Для забезпечення роботи означеного функціонала порталу в основі її лежатиме комплексне інформаційно-аналітичне середовище, що представляє багаторівневу систему, основою якої є база метаданих, прив'язана до джерел надходження інформації та сервіси безпосереднього доступу до них. Проведено аналіз вимог до програмного забезпечення, необхідного для накопичення БЗ і подальшої роботи порталу.

Ключові слова: база знань, джерела інформації, відкриті дані, вебпортал, накопичення інформації, водоземлекористування, сільське господарство, зрошувані землі, меліоровані території

Постановка проблеми. Завдання реалізації аграрного потенціалу України та забезпечення сталого розвитку сільських територій можуть бути забезпечені лише у гармонійному інтегрованому плануванні економічних, екологічних та соціальних заходів. Світовий досвід та попередні дослідження авторів доводять, що забезпечення сталого інтегрованого управління природними ресурсами

на територіях потребує застосування великої кількості різноманітних інструментів та методів, що мають бути адаптовані до певних природних та господарських умов, організації водоземлекористування, напрямків розвитку аграрного виробництва та сценаріїв зміни клімату. Вся ця потужна база даних та знань повинна бути акумульована в єдиному інформаційному просторі та застосовуватись

© Матяш Т.В., Ковальчук В.В., Книш В.В., Диль К.О., Поліщук В.В., Салюк А.Ф., Бутенко Я.О., Чорна К.І., 2021

при розробці інтегрованих планів управління водними та земельними ресурсами та інвестиційних проєктів. Джерелами отримання інформації для створення зазначеної інформаційної платформи є результати міжнародних та вітчизняних проєктів, методи територіального планування та залучення зацікавлених сторін, механізми співфінансування проєктів, варіанти кліматичних та виробничих сценаріїв, інформаційні системи підтримки прийняття рішень з управління зрошенням, технології водорегулювання на основі використання дренажу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Актуальність розробки бази знань, орієнтованої на поєднання різних предметних областей (водні та земельні ресурси), очевидна. Така архітектура дозволить зберігати дані та знання про різні області в рамках однієї архітектури. Так, у 2020 році було встановлено основні джерела отримання даних: дані у XML, CSV та JSON форматах із сайтів відповідних установ і відомств, дані ДЗЗ, наукові розробки та напрацювання, звітність водогосподарських організацій, тощо. Враховуючи, що БЗ формується в якості основи комплексу інформаційних систем та консультативних послуг, вона має інтегруватися з моделлю даних, закладених у саму систему. Основні методи розробки БЗ: створення структури бази даних для обробки складноструктурованої інформації за предметними областями (списків, ієрархії, взаємозв'язків, структуруванні бібліотек, принципів класифікації) для подання у вигляді «сутність-взаємозв'язок-характеристика». Розв'язання перерахованих задач можливе шляхом створення або застосування наявних автоматизованих систем збору, фільтрації та аналізу інформації, своєрідних «інтелектуальних посередників». Це можна зробити за допомогою програм, які ідентифікують шукану інформацію у вихідному документі та відображають її у певному проміжному форматі, наприклад XML, (eXtensible Markup Language, розширювана мова розмітки).

Перед встановленням необхідних методів та джерел отримання даних для розробки БЗ колективом авторів цієї статті було вирішено зробити основний акцент на корисність, достовірність і відкритість інформації, що представляється. Також було сформовано і визначено основні перешкоди, що можуть виникнути під час отримання необхідної інформації. Прикладом цього є те, що на 01.01.2020 року в Держводагентстві відсутня повноцінна і тим більш систематизована

інформація про стан та експлуатацію меліоративних систем, розподіл систем за власниками, стан зношення, місце розташування, що не сприяє прийняттю ефективних управлінських рішень щодо їх подальшого використання та оновлення [1,2]. Дані проведених інвентаризацій меліоративних систем України ніколи не вносились у Публічну кадастрову карту України, оскільки цього не вимагає ані закон, ані концепції розвитку меліоративних систем. У Порядку ведення державного водного кадастру, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 08.04.1996 № 413, вказано, що до державного водного кадастру заносяться відомості про водогосподарські об'єкти, що забезпечують використання води, очищення та скид зворотних вод, а саме: споруди для забору та транспортування води. Однак, на інтерактивній карті водного кадастру <http://geoportal.davr.gov.ua:81/> відсутні дані у відкритому доступі щодо відповідних споруд. Останні дані інвентаризації меліоративних систем, що здійснювалася Держводагентством, актуальні станом на 01.01.2017 р. Однак, ці дані інвентаризації різняться з даними моніторингу земельних відносин України, який здійснювався в 2016–2017 роках, що свідчить про відсутність систематизації даних та неповноцінність інформації, яка використовується для прийняття управлінських рішень на рівні держави. Виникає питання, як пов'язати дані державних відомств та наукові напрацювання в напрямку технічних, технологічних, організаційних заходів, методів та технологій управління водними та земельними ресурсами для переходу до їх формалізації в єдиній цифровій базі, що сприятиме підвищенню достовірності даних, і, як наслідок, ефективності управління водними та земельними ресурсами.

Сьогодні накопичені знання про технічні, технологічні, організаційні заходи, методи та технології управління водними та земельними ресурсами зберігаються у різних місцях, мають не однотипну структуру та відмінні один від одного вигляд та формат. Це призводить до відсутності можливості ефективної роботи з накопиченим масивом даних, саме тому важливою задачею створення Інтернет-порталу «Водоземлекористування» має стати можливість надання будь-яких видів інформації у вигляді відносно невеликих блоків, асоціативно пов'язаних між собою. Головною вимогою порталу є можливість зручного керування та навігації серед накопиченої інформації, а також прозорість та відкритість системи.

Мета досліджень Підбір методів та джерел отримання даних для наповнення баз знань.

Умови проведення досліджень. Місце проведення. Дослідження проводили в Інституті водних проблем і меліорації НААН шляхом підготовки, опрацювання інформації з різних джерел та подальшої її обробки з використанням засобів автоматизації.

Обладнання. При виконанні роботи була використана комп'ютерна техніка з доступом до мережі Інтернет.

Результати досліджень. Встановлено, що методично портал для роботи з базами знань технічних, технологічних, організаційних параметрів водо- і землекористування працюватиме за схемою забезпечення користувача єдиною точкою доступу до накопиченої інформації (рис. 1).

В якості накопиченої інформації виступає база знань (БЗ), яка становить собою масив метаданих щодо технічних, технологічних, організаційних заходів, методів та технологій управління водними та земельними ресурсами. Цими знаннями виступають перевірені практикою результати численних міжнародних та вітчизняних проєктів, методи територіального планування та залучення зацікавлених сторін, механізми співфінансування проєктів, варіанти кліматичних та виробничих сценаріїв, інформаційні системи підтримки прийняття рішень з управління зрошенням, технології водорегулювання на основі використання дренажу [3–8; 14; 15]. Орієнтовна структура порталу складатиметься із системи управління Web-контентом, геоінформаційної підсистеми, блоку інформаційних ресурсів,

блоку довідкових ресурсів, блоку наукових розробок. Для розділу адміністрування Web-порталу розроблений Модуль авторизації/аутентифікації. Він забезпечує єдиний механізм контролю системи над діями користувача і реалізує механізм багаторівневого контролю накопичених даних.

Джерела отримання інформації для розробки БД і знань є відкриті дані ДЗЗ, Державної служби України з питань геодезії, картографії та кадастру, Державного агентства водних ресурсів України, відповідних Департаментів обласних державних адміністрацій тощо, з яких отримуються дані про:

- стан організації приватного землекористування (реальне розміщення земельних ділянок на місцевості, організація приватного землекористування та розміщення сільськогосподарських підприємств та фермерських господарств) на території;
- наявність та розміщення водогосподарської інфраструктури (зрошувальні та дренажні системи, ставки і водосховища та ін.);
- фактичні площі зрошення та осушення;
- наявність природних водних ресурсів та перезвожених земель;
- еколого-меліоративний стан земель, а також ґрунтові умови, стан родючості ґрунтів;
- якість поверхневих, ґрунтових та дренажних вод;
- наявність земель запасу та природних угідь;
- інші види використання земель (пасовища, ліси);
- розміщення доріг та сільськогосподарської інфраструктури;

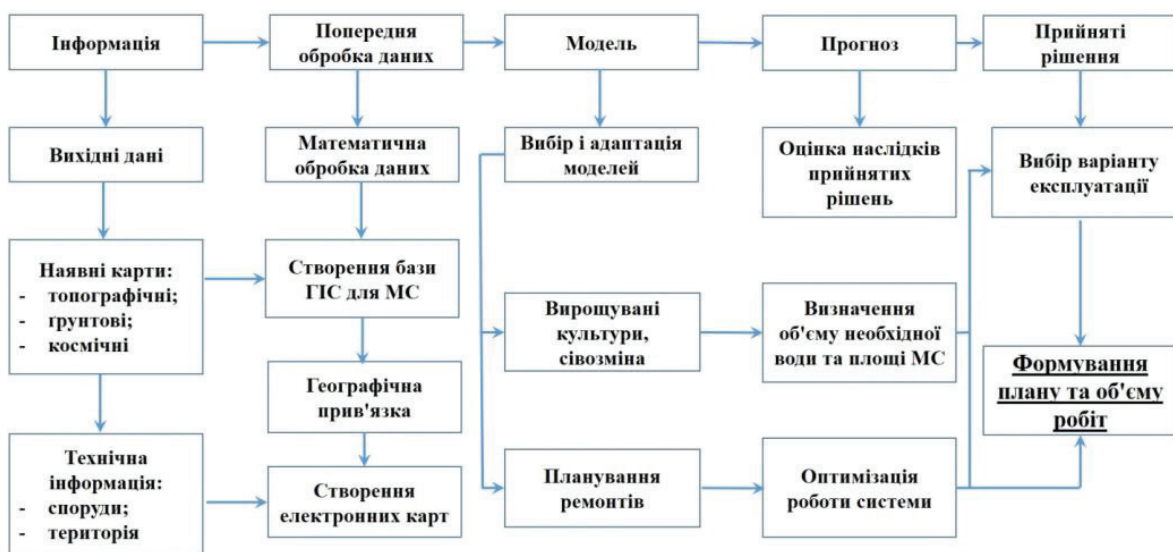


Рис. 1. Структурно-функціональна схема забезпечення користувача єдиною точкою доступу до накопиченої інформації

– місцеві державні та недержавні установи, які займаються управлінням водними та земельними ресурсами;

– розташування населених пунктів та чисельність сільського населення.

Для забезпечення означеного функціонала порталу в основі його роботи лежатиме комплексне інформаційно-аналітичне середовище, що становить собою багаторівневу систему, основою якої є база метаданих, прив'язана до джерел надходження інформації та сервіси безпосереднього доступу до них. Кожне завдання, поставлене перед системою для виводу на портал, потребує певного набору знань і метаданих та управління ними (збір, зберігання, пошук, аналіз і застосування). При цьому джерела надходження або вже накопичена інформація повинні відповідати таким вимогам:

– компоненти програмної структури порталу мають бути орієнтовані на дані з відкритим вихідним кодом, що розповсюджуються за ліцензією GPL (Загальна публічна ліцензія GNU або Загальна громадська ліцензія GNU) https://uk.wikipedia.org/wiki/GNU_General_Public_License;

– компоненти БЗ для порталу повинні мати стандартизовані інтерфейси модульної взаємодії (XML, SOAP, JSON та ін.);

– компоненти баз даних мають використовувати єдиний метод до їх доступу для інтеграції даних, які знаходяться в різних сховищах або реалізуються через виклики Web-сервісів.

Для забезпечення доступу користувачів до порталу створюється вузол збору, зберігання і обробки даних (запропоновано піддомен <http://ewater.iwprim.com.ua> та наявний у ІВПіМ сервер). До його основних функцій належать: віддалене забезпечення збору даних, їх попередня обробка, структурування, поєднання, забезпечення оперативного і тривалого зберігання. Важливою складовою є надання доступу до даних через мережу Інтернет із зовнішніх пристроїв.

У складі єдиного Інтернет-порталу заплановано представити такі інформаційно-довідкові системи:

– «Інтегроване планування використання водних та земельних ресурсів»;

– «Консолідація земель»;

– «Приватно-державне партнерство».

Дані системи мають містити базу знань щодо організаційних моделей водоземлекористування, методів інтегрованого територіального планування за участю організацій водокористувачів та інших зацікавлених

сторін, інструментів консолідації водних та земельних ресурсів, механізмів організації співфінансування та організації впровадження інтегрованих планів та інформаційних технологій управління водними ресурсами для різних цілей функціонування меліорованих територій [5; 13; 14; 15; 16; 18].

Розроблено структуру бази знань, що включає: «Інтегроване планування використання водних та земельних ресурсів»; «Консолідація земель»; «Приватно-державне партнерство» (табл. 1).

При розробці структури бази даних та знань враховано вимоги:

- економного розміщення інформації на електронних носіях;

- єдиного для всіх масивів принципу організації та збереження даних;

- єдиного програмного засобу доступу до інформації;

- максимально можливої швидкості обміну даними на електронних носіях;

- надійності збереження та наявності можливості відновлення БД в аварійних ситуаціях з мінімальними втратами інформації.

1. Основні табличні блоки інформації в базі даних

Пропонована структура бази знань становить собою сукупність предметних даних, організованих за певними правилами, що встановлюють загальні принципи одержання, зберігання та оброблення інформації (рис. 2).

Накопичення матеріалів у базах даних та знань здійснюється покомпонентно у відповідності до конкретних функціональних завдань планування сталого водоземлекористування на меліорованих територіях.

При формуванні бази знань виділено автономні блоки або модулі тематичної інформації, розгалуженої за системним принципом у відповідності до концептуальної моделі організації та структуризації даних (табл. 1).

Авторським колективом було проаналізовано вимоги до програмного забезпечення, необхідного для накопичення БЗ і подальшої роботи порталу. Функціонально його слід поділити на такі частини:

- програмне забезпечення для збору інформації;

- програмне забезпечення для доступу до інформації, що зберігається в базах даних і знань та файлових архівах;

- програмне забезпечення для організації інформаційної взаємодії між різними предметними областями;

- програмне забезпечення для візуалізації геопросторових даних;

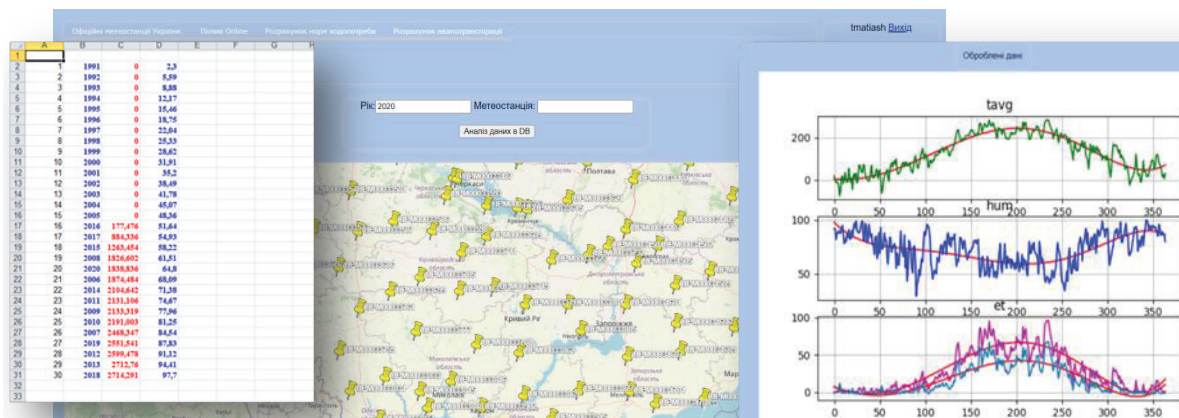


Рис. 2. Модуль первинного накоплення кліматичної інформації та приклади її обробки

1. Основні табличні блоки інформації в базі даних

№ з/п	Найменування інформації
Блок 1	Картографічна інформація територій сільських рад (ГІС-шари)
Блок 2	Статистична та картографічна інформація щодо ведення зрошення та осушення
Блок 3	Площі використання с.-г. земель, їх форма власності, кількість паїв
Блок 4	Техніка поливу
Блок 5	Аналіз найбільших господарств: їх спеціалізація та наявна інфраструктура
Блок 6	Структура посівних площ, об'єми виробництва та урожайність основних с.-г. культур району (області)
Блок 7	Кадастрові карти пілотних територій
Блок 8	База метеорологічних даних: середні температури повітря, суми атмосферних опадів
Блок 9	Водно-фізичні властивості та агрономічні показники ґрунтів дослідних територій
Блок 10	Оцінка еколого-меліоративного стану с.-г. земель
Блок 11	Показники глибин залягання рівнів ґрунтових вод та підтоплені території
Блок 12	Показники мінералізації ґрунтових вод, ступінь засолення та солонцювання
Блок 13	Показники стану території (еколого-меліоративний стан, карта ґрунтів – вміст гумусу, ступінь засолення, рівень ґрунтових вод)

– програмне забезпечення для роботи з геоінформаційними Інтернет-сервісами, програмні інтерфейси для вирішення прикладних завдань.

Для роботи з даними про стан вододілянок та землекористування в якості геоінформаційної бази даних запропоновано використовувати відкриті дані з публічної кадастрової карти України <https://map.land.gov.ua/>, інтерактивної карти водного кадастру <http://geoport.davr.gov.ua:81/>, публічної карти GIS файл <http://gisfile.com/map/?ukr&cad>. Про стан ґрунтів Glosis <http://54.229.242.119/GSOCmap/>, Європейські ґрунтові бази даних <https://soilgrids.org/> тощо [9–12].

Для перевірки накладення обмінних файлів інформації різних джерел слід передбачити можливість завантаження і відображення даних з обмінних файлів у форматах XML і IN4, а також інших типів файлів із просто-

рими даними KMZ, KML, GeoJSON, GPX, CSV. Autodesk InfraWorks у зв'язці з QGIS і OpenStreetMap.

Ідеальним рішенням Інтернет-порталу «Водоземлекористування» є забезпечення користувача всіма основними функціями настільної інформаційної системи: вибір карти або ділянки, навігація по ній, масштабування, зміщення у зручних напрямках, фокусування карти за місцем «кліка», увімкнення-вимкнення базових тематичних шарів, позиціонування знайденого об'єкта або групи об'єктів на карті в укрупненому масштабі. Для поєднання картографічної інформації з іншою інформацією з накопичених БЗ необхідно проводити:

– обробку запиту до бази даних і знань, результатом якого є список об'єктів, які відповідають запиту, тематичні звіти або зв'язок між ними. Наприклад, пошук за географічною прив'язкою, за наявністю зрошуваних земель,

статистичними показниками, наукових напрацювань тощо;

- поєднання тематичних карт із показом відмінностей в якісному стані об'єктів на поточний момент за допомогою різних картографічних способів зображення;

- отримання інформації по об'єктах, що потрапили в заданий радіус від місця «кліка» користувачем по ділянці карти, в окремому інформаційному вікні;

- розробка та запровадження системи розподілу прав доступу до даних, що виводяться;

- застосування механізмів обміну даними із зовнішніми системами на основі відкритих форматів даних.

Враховуючи, що інформаційна платформа діятиме через мережу Інтернет та буде містити розділи для надання консультаційних послуг у режимі «он-лайн», першочерговою задачею є виявлення джерел і самих знань з існуючої інформації, структурування знань, що полягає у виявленні основних понять і тенденцій галузі, та розробки структури подання інформації кінцевому користувачу.

При такому способі реалізації для кожного джерела БЗ необхідно буде створювати скрипт, який забезпечить синтаксичний розбір наявної у БЗ інформації з вилученням розділових знаків та зайвих слів за допомогою заздалегідь створеного словника виключень. У випадку подальшого розвитку системи для синтаксичного розбору виникне потреба у створенні універсальної програми (скрипта-посередника), який міг би обробляти будь-яке джерело інформації БЗ.

Орієнтовна структура алгоритму дозволяє працювати з об'єктами по кожній доступній галузі, а сам портал дозволить надавати інформацію у вигляді блоків. Структура алгоритму на попередньому етапі визначає певне джерело, де міститься пошукова інформація (наукові і практичні напрацювання + дані з відкритих джерел інформації), відтворює всі зв'язки для нього та виявляє необхідні знання. Але така організація алгоритму не дає можливості динамічно формувати інтерфейс порталу у вигляді блоків (рис. 3).

Для кожного з класів, що формують інтерфейс, має бути закладено зв'язок з об'єктами

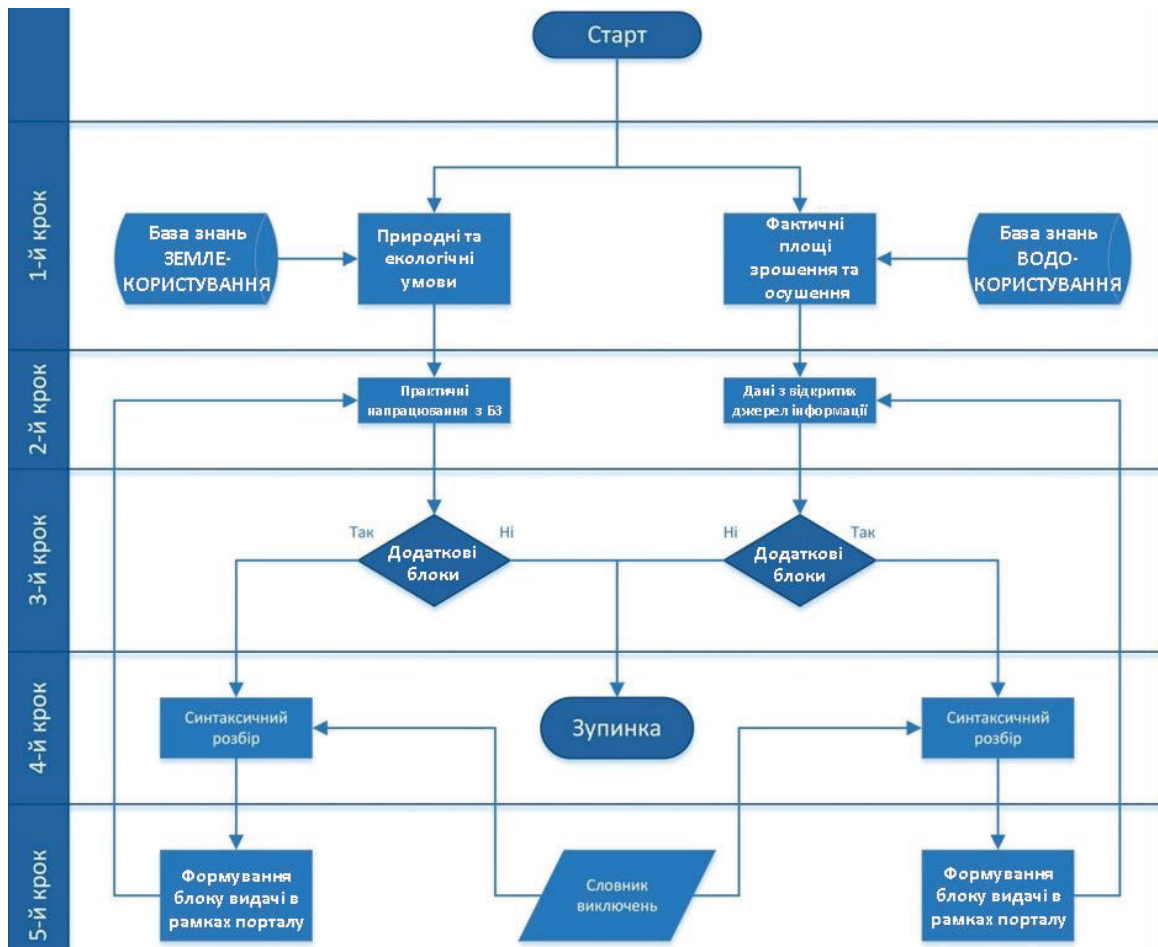


Рис. 3. Блок-схема алгоритму подання інформації кінцевому користувачу

типу ресурс, що забезпечує автоматичне заповнення структури порталу даними з ресурсів відповідних міністерств та відомств і складатися з множини блоків, між якими відбувається взаємодія та обмін даними: Блок завдань → Блок рівнів → Блок розділів → Блок ідентифікації → Блок контенту → Блок підрозділів.

Кожен блок отримує своє наповнення інформацією з відповідної рубрики та здатен обмінюватись нею з іншими блоками. Тому організація внутрішньої структури порталу та його інтерфейсу має бути заснована на системі інтеграції елементарних одиниць, описаних у кожному осередку інформації. Осередок вказує на певний показник, що характеризує те чи інше джерело галузі, інформація з якого буде доступна користувачам порталу у вигляді блоків. Блок буде характеризуватися приналежністю до певної сторінки, тобто переліком ідентифікаторів, що визначають сторінки, на яких відбувається відображення конкретного поля, переліком користувачів, що мають право на його перегляд. Зазначимо, що доступ до повноцінного інтерфейсу порталу у вигляді блоків з конкретної БЗ заплановано реалізовувати у відповідності з повноваженнями (правами користувача), розподіл яких реалізовано за групами або категоріями. Приналежність користувача до тієї чи іншої групи/категорії визначається, в першу чергу, метою його звернення. Це можуть бути випадкові користувачі, що звертаються до порталу від часу до часу за одержанням деякої інформації, а можуть бути регулярні користувачі. У якості випадкових користувачів можуть розглядатися, наприклад, особи, зацікавлені в реалізації певної техніки чи обладнання, що переглядають інформацію БЗ для формування своїх подальших комерційних дій. Для таких користувачів варто надавати доступ на платній основі або в обмеженому вигляді. Регулярними користувачами можуть бути фахівці відповідних галузей, експерти, науковці та інші особи, для яких інформація порталу необхідна для виконання своїх посадових обов'язків. На початковому етапі пропонуємо проводити ідентифікацію користувачів за IP-адресами (тобто делегованими з наявного пулу IP-адрес установ), з яких є звернення до порталу. Альтернативним варіантом упізнання і встановлення достовірності користувача на порталі пропонуємо робити в ручному режимі за заздалегідь присвоєними логіном та паролем.

Для реалізації доступу до інформації бази знань із геопросторовими знаннями виконано

підбір програмних засобів, що реалізують доступ до інформації бази знань, встановлено доцільність використання ArcGis та програмного забезпечення з відкритим доступом Grass та Qgis.

Сформовано основні принципи формування бази даних та знань:

- база складається з автономних блоків або модулів тематичної інформації, розгалуженої за системним принципом відповідно до концептуальної моделі організації та структуризації даних;
- база становить собою сукупність предметних даних, організованих за певними правилами, що встановлюють загальні принципи одержання, зберігання та маніпулювання інформації;
- база забезпечує систему підтримки рішень базовою, довгостроковою та оперативною інформацією для вибору сценаріїв та рекомендацій;
- накопичення матеріалів у базах даних та знань здійснюється покомпонентно відповідно до конкретних функціональних завдань планування сталого водоземлекористування на меліорованих територіях.

При розробці структури порталу комплекс інформаційних систем та консультаційних послуг для планування сталого водоземлекористування на меліорованих землях буде розміщено у вигляді окремих сторінок веб-порталу, що складається з кількох веб-сайтів:

1. Сайт управління зрошенням, звідки здійснюються консультаційні послуги для сільськогосподарських виробників з оперативного управління поливом. (<http://185.168.130.174:90/start/2/>). На рис. 4 наведена головна сторінка вказаного сайту.

2. Складові щодо впровадження інтегрованих підходів до управління водними та земельними ресурсами на меліорованих територіях, що забезпечують високий рівень супроводу зацікавлених сторін для ефективного використання водних та земельних ресурсів у межах дії меліоративних систем: «Інтегроване планування використання водних та земельних ресурсів»; «Консолідація земель»; «Приватно-державне партнерство» можуть бути розміщені на окремих сторінках за посиланням <http://ias.pp.ua/>. Для цього головна сторінка сайту буде доповнена посиланнями на відповідні інформаційні сторінки і консультаційні послуги (рис. 4) [17].

Більш детальну розробку структури інтерфейсу веб-порталу заплановано на 2021 рік.

Висновки. Встановлено, що інформаційно-довідкові системи (платформи) для



Рис. 4. Графічний інтерфейс меню головної сторінки інформаційно-аналітичної «Системи підтримки прийняття рішень у землеробстві»

надання «он-лайн» консультаційних послуг через мережу Інтернет з управління технологіями у меліоративному землеробстві і впровадження інтегрованих підходів до управління водними та земельними ресурсами на меліорованих територіях забезпечують високий рівень супроводу зацікавлених сторін з ефективного використання водних та земельних ресурсів.

Розроблено та наповнено базу знань, що містить такі компоненти: «Методи та інструменти інтегрованого планування використання водних та земельних ресурсів»; «Методи та інструменти розробки проєктів простої чи інтегрованої консолідації земель»; «Організація приватно-державного партнер-

ства»; «Інформаційні системи планування зрошення та водорегулювання», що забезпечить розробку комплексу інформаційних систем та консультаційних послуг для планування сталого водоземлекористування на меліорованих територіях.

Розроблено методи та джерела отримання даних для баз знань технічних, технологічних, організаційних методів при плануванні водоземлекористування на меліорованих територіях, які забезпечують на високому рівні організацію та наповнення розробленої бази знань технічних, технологічних, організаційних заходів, методів та технологій управління водними та земельним ресурсами.

Бібліографія

1. Зрошення та дренаж. Зелена книга. / Грузинська І. І. та ін. Київ, 2020. 126 с. URL: https://cdn.regulation.gov.ua/1c/03/fe/0e/regulation.gov.ua_GB_IRRIGATION%20AND%20DRAINAGE%20IN%20AGRICULTURE%20SECTOR.pdf (дата звернення: 20.11.2020).
2. Нізалов Д., Данкевич В., Івінська К. Статистичний щорічник «Моніторинг земельних відносин в Україні: 2016–2017». 2018. 168 с. URL: <https://land.gov.ua/wp-content/uploads/2018/10/monitoring.pdf> (дата звернення: 23.02.2021).
3. Indicators of Sustainable Development: Guidelines and Methodologies. Third Edition / United Nations. New York. 2007. 99 p. URL: <https://www.un.org/esa/sustdev/natlinfo/indicators/guidelines.pdf> (дата звернення: 15.03.2021).
4. New planning technique to master the future of water on local and regional level in Ukraine / Zhovtonog, O., etc. / Journal of Water and Climate Change. 2011. Vol 2(2–3). P. 189–200.
5. Implementing the Geographical Information Systems (GIS) of the Water Framework Directive (2000/60/ec). Guidance Document No.9. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2003. 166 p. URL: <https://circabc.europa.eu/sd/a/4786fb8a-e489-438a-8ca5-8d1762a93238/Guidance%20No%209%20-%20GIS%20%28WG%203.1%29.pdf> (дата звернення: 20.11.2020).

6. Жовтоног О.І., Поліщук В.В., Чорна К.І. Консолідація земель і створення організацій водокористувачів для сталого використання і відновлення зрошення. *Економіка природокористування і сталий розвиток*. 2020. № 7(26). С. 92–102. DOI: [https://doi.org/10.37100/2616-7689/2020/7\(26\)/12](https://doi.org/10.37100/2616-7689/2020/7(26)/12)
7. Методичні рекомендації з планування зрошення на територіях з урахуванням клімату та моделей аграрного виробництва / Жовтоног О.І. та ін. Київ : Аграрна наука, 2015. 54 с.
8. Системне моделювання і управління водо- і землекористуванням / Ковальчук П.І. та ін. Київ : Аграрна наука, 2019. 608 с.
9. Публічні кадастрові карти України [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://map.land.gov.ua/>
10. Інтерактивні карти водного кадастру [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://geoport.davr.gov.ua:81/>
11. Публічні карти GIS файл [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://gisfile.com/map/?ukr&cad>
12. Дані про стан ґрунтів Glosis [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://54.229.242.119/GSOCmap/>
13. Final Draft of the Feasibility Study. Component Introduction of Voluntary Land Consolidation in Ukraine (FAO/TCP/UKR/3601), 2017. 73 p.
14. Hartvigsen M. Land consolidation and land banking in Denmark – traditions, multi-purpose and perspectives // *Danish Journal of Geoinformatics and Land Management*. 2014. Vol 47. P 1–7.
15. Попов А.С. Розвиток консолідації земель сільськогосподарського призначення: світовий досвід та українські перспективи. Харків : Вид-во ФОП Панов А.М., 2018. 382 с.
16. Technical assistance to the Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine in agricultural support policy, exports of horticultural products and land consolidation. Project of Food and Agriculture Organization of the United Nations (TCP/UKR/3601). 2019. 12 p. URL: <http://www.fao.org/3/ca8980en/CA8980EN.pdf> (дата звернення: 07.01.2021).
17. Система інформаційного забезпечення аграрного виробництва через мережу Інтернет / Ромащенко М.І. та ін. *Меліорація і водне господарство*. 2016. Вип. 104. С.87–92.
18. Integrated assessment of agricultural systems a component-based framework for the European Union (SEAMLESS) / Van Ittersum, M.K., etc. // *Agric. Syst.* 2008. Vol. 96(1–3). P 150–165.
19. Water management system in the Ukrainian Danube river area for food and environmental safety / Pavlo Kovalchuk, etc. // *Proceeding 2-nd World Irrigation Forum (WIF2) 6–8 November 2016, ICID, Chiang Mai, Thailand*. Accesses: http://www.icid.org/wif2_papers_3_3.html

References

1. Hruzyn'ska, I., Smahina, A., Zhyhadlo, V., & Perepelytsya, O. (2020). *Zroshennya ta drenazh*. Zelena knyha [Irrigation and drainage. Green Book]. Kyiv. Retrieved from: https://cdn.regulation.gov.ua/1c/03/fe/0e/regulation.gov.ua_GB_IRRIGATION%20AND%20DRAINAGE%20IN%20AGRICULTURE%20SECTOR.pdf. [in Ukrainian]
2. Nizalov D, Dankevich V, Ivinska K. (2018). *Statystychnyy shchorichnyk Monitorynh zemel'nykh vidnosyn v Ukrayini: 2016–2017* [Statistical yearbook “Monitoring of land relations in Ukraine: 2016–2017”]. Kyiv : World Bank and EU Supporting Transparent Governance. Retrieved from: <https://land.gov.ua/wp-content/uploads/2018/10/monitoring.pdf> [in Ukrainian]
3. *Indicators of Sustainable Development: Guidelines and Methodologies*. Third Edition. (2007). New York: United Nations. Retrieved from: <https://www.un.org/esa/sustdev/natlinfo/indicators/guidelines.pdf>
4. Zhovtonog, O., Hoffmann, M., Polishchuk, V., & Dubel, A. (2011). New planning technique to master the future of water on local and regional level in Ukraine. *Journal of Water and Climate Change*, 2(2-3), 189–200.
5. Common implementation strategy for the water framework directive (2000/60/ec). Implementing the Geographical Information Systems (GIS) of the Water Framework Directive. (2003). (Guidance Document No. 9). Luxembourg. Retrieved from: <https://circabc.europa.eu/sd/a/4786fb8a-e489-438a-8ca58d1762a93238/Guidance%20No%209%20-%20GIS%20%28WG%203.1%29.pdf>
6. Zhovtonoh, O.I., Polishchuk, V.V., & Chorna, K.I. (2020). *Konsolidatsiya zemel' i stvorennya orhanizatsiy vodokorystuvachiv dlya staloho vykorystannya i vidnovlennya zroshennya* [Land consolidation and creation of water user organizations for sustainable use and restoration of irrigation]. *Ekonomika pryrodokorystuvannya i stalyy rozvytok*, 7(26), 92–102. [in Ukrainian]

7. Zhovtonoh, O.I., Polishchuk, V.V., & Filipenko, L.A. (2015). *Metodychni rekomendatsiyi z planuvannya zroshennya na terytoriyakh z urakhuvannyam klimatu ta modeley ahrarnoho vyrobnytstva* [Methodical recommendations for irrigation planning in the territories taking into account the climate and models of agricultural production]. Kyiv : Ahrarna nauka. [in Ukrainian]
8. Kovalchuk, P.I., Matiash, T.V., Kovalchuk, V.P., Demchuk, O.S., Balykhina, H.A., Herus, A.V., & Pendak, N.V. (2019). *Systemne modeliuвання i upravlinnia vodo- i zemlekorystuvanniam* [System modeling and management of water and land use]. Kyiv : Ahrarna nauka. [in Ukrainian]
9. *Publichni kadaastrovi karty Ukrayiny* [Public cadastral maps of Ukraine]. Internet-portal. Retrieved from: <https://map.land.gov.ua/>
10. *Interaktyvni karty vodnoho kadastru* [Interactive water cadastre maps]. Internet-portal. Retrieved from: <http://geoportal.davr.gov.ua:81/>
11. *Publichni karty GIS fayl* [Public map GIS file]. Internet-portal. Retrieved from: <http://gisfile.com/map/?ukr&cad>
12. *Dani pro stan gruntiv* [Data on Glosis soil condition]. Internet-portal. Retrieved from: <http://54.229.242.119/GSOCmap/>
13. *Final Draft of the Feasibility Study. Component Introduction of Voluntary Land Consolidation in Ukraine.* (2017). (FAO/TCP/UKR/3601).
14. Hartvigsen, M. (2014). Land consolidation and land banking in Denmark – traditions, multi-purpose and perspectives. *Danish Journal of Geoinformatics and Land Management*, 47, 1–7.
15. Popov, A.S. (2018). *Rozvytok konsolidatsiyi zemel' sil's'kohospodars'koho pryznachennya: svitovyy dosvid ta ukrayins'ki perspektyvy* [Development of agricultural land consolidation: world experience and Ukrainian perspectives]. Kharkiv : Vyd-vo FOP Panov A.M. [in Ukrainian]
16. FAO. (2017). *Tekhnichna dopomoha Ministerstvu ahrarnoyi polityky ta prodovol'tva Ukrayiny z pytan' polityky pidtrymky sil's'koho hospodarstva, eksportu produktiv sadivnytstva ta konsolidatsiyi zemel'*. [Technical Assistance to the Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine on Agricultural Support Policy, Export of Horticultural Products and Land Consolidation] (TCP/UKR/3601). Retrieved from: http://www.krcci.pl.ua/uploads/files/FreshBerries_2017.pdf [in Ukrainian]
17. Romashchenko, M.I., Kovalchuk, V.P., Tarariko, Yu.O., Soroka, Yu.V., Krucheniuk, A.V., & Demchuk, O.S. (2016). *Systema informatsiinoho zabezpechennia ahrarnoho vyrobnytstva cherez merezhu Internet* [System of information support of agricultural production via the Internet]. *Melioratsiia i vodne hospodarstvo*, 104, 87–92. [in Ukrainian]
18. Van Ittersum, M.K., Ewert, F., Heckelei, T., Wery, J., Alkan Olsson, J., Andersen, E., Bezlepina, I., Brouwer, F., Donatelli, M., Flichman, G., Olsson, L., Rizzoli, A.E., van der Wal, T., Wien, J.E., & Wolf, J. (2008). Integrated assessment of agricultural systems a component-based framework for the European Union (SEAMLESS). *Agric. Syst.*, 96(1–3), 150–165.
19. Kovalchuk, P., Balykhina, H., Kovalchuk, V., & Matyash, T. (2016). Water management system in the Ukrainian Danube river area for food and environmental safety. *Proceeding 2-nd World Irrigation Forum (WIF2)*. Thailand: ICID.

**Т.В. Матяш, В.П. Ковальчук, В.В. Кныш, К.А. Диль,
В.В. Полищук, А.Ф. Салюк, Я.А. Бутенко, Е.И. Чёрная**

**Методы и источники получения данных для баз знаний
технических, технологических, организационных мероприятий**

при планировании водоземлепользования на мелиорируемых территориях

Аннотация. В статье проанализированы методы и источники получения данных для наполнения баз знаний технических, технологических и организационных мероприятий при планировании водоземлепользования на мелиорированных территориях. Установлены основные источники получения данных: данные в XML, CSV и JSON форматах с сайтов соответствующих учреждений и ведомств, данные ДЗЗ, научные разработки и наработки, отчетность водохозяйственных организаций и др. Выявлены основные проблемы, которые могут возникнуть при получении необходимой информации. Предложена структурно-функциональная схема обеспечения пользователя единой точкой доступа к накопленной информации. Для обеспечения доступа пользователей к информации предложено узел сбора, хранения и обработки данных (поддомен <http://ewater.iwpim.com.ua> и имеющийся в ИВПиМ сервер) с функциями удаленного обеспечения сбора данных, их предварительной обработки, структурирования, сочетание, обеспечения оперативного и длительного хранения. Предложена структура базы данных для обработки сложноструктурированной информации по предметным областям (списков, иерархии, взаимосвязей, структурировании библиотек, принципов классификации) для представления в виде

«сущность-взаимосвязь-характеристика». В составе единого Интернет-портала планируется представить следующие информационно-справочные системы «Интегрированное планирование использования водных и земельных ресурсов»; «Консолидация земель»; «Частно-государственное партнерство». Для обеспечения указанного функционала портала в основе его работы будет лежать комплексная информационно-аналитическая среда, представляющая собой многоуровневую систему, основой которой является база метаданных, привязана к источникам поступления информации и сервисы непосредственного доступа к ним. Проведен анализ требований к программному обеспечению для накопления БД и последующей работы портала.

Ключевые слова: база знаний, источники информации, открытые данные, вебпортал, накопление информации, водоземлепользование, сельское хозяйство, орошаемые земли, мелиорированные территории

**T.V. Matiash, V.P. Kovalchuk, V.V. Knysh, K.O. Dyl,
V.V. Polishchuk, A.F. Saliuk, Ya.O. Butenko, K.I. Chorna**

Methods and sources of obtaining data for knowledge bases of technical, technological, organizational measures on water and land management planning in reclaimed areas

Abstract. The article analyzes the methods and sources of obtaining data for knowledge bases of technical, technological, organizational measures on water and land management planning in reclaimed areas. The main sources of data obtaining were determined as following: data in XML, CSV and JSON formats from the sites of relevant institutions, remote sensing data, scientific developments and research results, reporting records of water management organizations, etc. The main obstacles that may occur when obtaining the necessary information were identified. The structural and functional scheme of providing the user with a single database access point is presented. For this purposes a node for data collection, storage and processing (sub domain <http://ewater.iwpim.com.ua> and a server available in IWP&LR) with the functions of remote data collection, their pre-processing, structuring, combining, short- and long-term storage is offered. The structure of the database for processing complex information by subject areas (lists, hierarchies, relationships, structuring libraries, principles of classification) for presentation in the form of “essence-relationship-characteristics” is proposed. As part of a single Internet portal, it is planned to present the following information and reference systems: “Integrated land and water management”; “Land consolidation”; “Private-public partnership”. To ensure the specified functionality of the Internet portal, its work will be based on comprehensive information and analytical environment that is a multilevel system, the basis of which is a database of metadata linked to information sources, services and direct access to them. The analysis of the requirements to the software necessary for accumulation of database information and the further performance of the portal was carried out.

Key words: knowledge base, data resources, open data, web portal, data storage, water and land use, agriculture, irrigated lands, reclaimed areas

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202101-269>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/269>

УДК 532.5

УДОСКОНАЛЕННЯ РОЗРАХУНКУ ЗАКРИТОЇ КОЛЕКТОРНО-ДРЕНАЖНОЇ МЕРЕЖІ ДРЕНАЖНИХ СИСТЕМ

Л.Р. Волк¹, канд. техн. наук, О.В. Безусяк², канд. техн. наук, П.П. Волк³, канд. техн. наук

¹ Національний університет водного господарства та природокористування (НУВГП), Рівне, Україна; <https://orcid.org/0000-0003-1033-6715>; e-mail: l.r.volk@ukr.net;

² Національний університет водного господарства та природокористування (НУВГП), Рівне, Україна; <https://orcid.org/0000-0003-0662-9769>; e-mail: bezusyak@ukr.net;

³ Національний університет водного господарства та природокористування (НУВГП), Рівне, Україна; <https://orcid.org/0000-0001-5736-8314>; e-mail: p.p.volk@nuwm.edu.ua

Анотація. Виклики сучасності та зміни клімату, а також наявне спрацювання ресурсу, визначають за необхідне удосконалення типу, конструкції та параметрів закритої колекторно-дренажної мережі, як визначального регулюючого елемента дренажних систем, у проектах їх реконструкції та модернізації. Тому розглянуто необхідність та науково-методичні підходи до удосконалення розрахунку закритої колекторно-дренажної мережі дренажних систем, які працюють у режимі осушення та підгрунтового зволоження, на основі врахування впливу ефективності її роботи на ефективність регулювання водного режиму осушуваних земель. На основі застосування системної методології визначено наявність та структуру ієрархічного і гідравлічного взаємозв'язку між водним режимом поля з режимом роботи закритої колекторно-дренажної мережі, ефективність роботи якої, своєю чергою, визначається режимом руху потоку в дренажній трубі як основному її елементі. Через наявну недосконалість загальної теорії руху турбулентного потоку в напірному трубопроводі, в тому числі дренажному, щодо недостатньої наукової обґрунтованості розподілу швидкостей в потоці, на основі виконаних теоретичних та експериментальних досліджень запропоновано порівняно нові наукові положення на відміну від наявних напівемпіричних теорій, щодо оцінювання гідродинамічної структури потоку в напірному трубопроводі. Це дає змогу шляхом розкриття повної гідродинамічної структури потоку для всіх областей турбулентного режиму в ньому, на основі застосування отриманих універсальних рівнянь, побудувати профіль розподілу загальної турбулентної кінематичної в'язкості та осередненої швидкості. Розглянутий підхід дозволить оцінити ефективність руху потоку як в складових дренажних трубопроводах, так і в закритій колекторно-дренажній мережі в цілому та в подальшому удосконалити методи проектування й розрахунку її технологічних та конструктивних параметрів й, тим самим, забезпечити загальну технічну, технологічну, економічну та екологічну ефективність функціонування дренажних систем відповідно до сучасних вимог.

Ключові слова: удосконалення, розрахунок, закрыта колекторно-дренажна мережа, дренажна система

Актуальність дослідження. Сучасні зміни кліматичних умов, зокрема зміна кількості та інтенсивності ґрунтового зволоження за рахунок зміни режиму атмосферних опадів та істотного підвищення температури повітря, потенційної випаровуваності відповідно сумарного випаровування і водопотреби вирощуваних сільськогосподарських культур, визначають за необхідне забезпечення високої продуктивності осушуваних земель на основі застосування відповідних адаптивних заходів щодо, насамперед, зарегулювання й акумуляції вологи у ґрунті та в межах системи, а також переходу від періодичного до регулярного їх зволоження [1].

Водночас, технічний стан побудованих 40–50 років тому дренажних систем (ДС)

погіршився внаслідок зношеності та невиконання необхідного комплексу експлуатаційних заходів, що призвело до деформації та замулення закритої колекторно-дренажної мережі (ЗКДМ), як основного регулюючого елемента таких систем, які працюють у режимі осушення та підгрунтового зволоження. Як наслідок, відбулося відхилення їх параметрів від проектних, порушення режиму та роботи ЗКДМ, зниження її пропускної здатності, загальної ефективності функціонування таких систем та продуктивності осушуваних земель на 25...50% проти проектної [2; 3] та ін.

Тому надзвичайно актуальним є питання щодо зміни підходів до створення й функціонування водогосподарсько-меліоративних об'єктів на осушуваних землях,

© Волк Л.Р., Безусяк О.В., Волк П.П., 2021

зміни методології до обґрунтування в проектах будівництва та реконструкції ДС їх оптимальних конструктивних рішень (тип, конструкція, параметри систем та складових їх технічних елементів), насамперед ЗКДМ, як визначального регулюючого елемента ДС, що може працювати як у режимі осушення, так і в режимі традиційного і найбільш поширеного способу підґрунтового зволоження.

Водночас, при проектуванні та експлуатації ДС на всіх стадіях прийняття управлінських рішень у часі (1-проект, 2-планова експлуатація, 3-оперативне управління об'єктом) [4; 5], надзвичайно важливо правильно (об'єктивно) визначити параметри системи та її складових технічних елементів, насамперед регулюючої ЗКДМ, а також провідної мережі каналів, регулюючих та підпірних гідротехнічних споруд, насосних станцій тощо. Саме вони значною мірою зумовлюють вартість системи, її загальну технологічну, економічну та екологічну ефективність.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Свого часу, різними аспектами водорегулювання на осушуваних землях, розробкою теорії та гідромеханічного методу з обґрунтування типу, конструкції й параметрів ЗКДМ ДС, які працюють у режимі осушення та підґрунтового зволоження, займалися такі вітчизняні та зарубіжні вчені: Авер'янов С.Ф., Балзарявичус П.Ю., Гейтман В.Г., Єнно Ю.П., Івицький А.І., Кравченко В.П., Кожушко Л.Ф., Костяков О.М., Лабренцис В.І., Лазарчук М.О., Мурашко А.І., Олійник О.Я., Пивовар М.Г., Поляков В.Л., Ридигер В.Р., Рокочинський А.М., Скрипник О.В., Старіков Х.М., Сташук В.А., Хлапук М.М., Шкінкіс Ц.Н., Якушев А.І., Янголь А.М., Яцик А.В. [4; 6; 7] та ін.

Для підвищення ефективності функціонування ДС із двобічним регулюванням водного режиму осушуваних земель у 70–80-ті роки минулого століття інтенсивно розроблялись питання щодо автоматизації управління водорегулюванням та виробничих процесів розподілу води на осушувально-зволожувальних системах засобами гідроавтоматики (Баховець Б.О., Дупляк В.Д., Коваленко П.І., Ковальчук Ю.Г., Кумачьов В.І., Матус С.К., Наумчук О.М., Пастушенко В.Й., Тищенко О.І., Ткачук Я.В., Чалий Б.І., Яцик М.В. та ін.) [8].

Дані розробки щодо методології створення й функціонування дренажних систем були високого наукового рівня, отримали всебічне визнання, увійшли у відповідні галузеві нормативи і були широко впроваджені на практиці в умовах виробництва. Але, як показали

світова й вітчизняна практика та накопичений досвід [8; 9], на жаль, так і не був досягнутий необхідний рівень економічної й екологічної ефективності реалізації гідромеліорацій через, насамперед, недостатню досконалість методології проектування і розрахунку такого роду об'єктів та її невідповідності сучасним вимогам, в тому числі не врахування взаємозв'язку між режимом роботи ЗКДМ і водним режимом осушуваних земель.

При розв'язанні широкого класу інженерних гідравлічних задач щодо типу конструкції та параметрів напірних трубопроводів за наявності недосконалої теорії виникають складнощі, пов'язані з неможливістю визначити розподіл загальної турбулентної кінематичної в'язкості, осереднених швидкостей в трубопроводах, дотичних напружень та кутової швидкості обертання часток рідини й визначити достатньо науково обґрунтовані технологічні та конструктивні параметри напірних трубопроводів, в тому числі дренажних. Це визначає об'єктивну необхідність подальшого розвитку повної теорії руху турбулентного потоку.

Над вирішенням цієї проблеми працювало багато вчених: Альтшуль А.Д., Великанов М.А., Дайслер Р., Драйдена Х.Л., Дюренда В.Ф., Железняков Г.В., Карман Т., Кисельов П.Г., Колмогоров А.М., Куллушайло С., Макавєєв В.М., Нікітін І.К., Лойцянский Л.Г., Обухов О.М., Прандтль Л., Рейхардт Г., Ротта Д., Смыслов В.В., Тейлор Дж., Толмін В., Фрідман О.О., Шліхтінг Г. [10–20] та ін. Ними були запропоновані напівемпіричні, на їх погляд універсальні, теорії турбулентних течій, в яких невідомі зв'язки між турбулентними напруженнями і осередненими швидкостями деформацій конкретизовані на основі відповідних гіпотез, якісних фізичних домислів, теорій розмірностей, що були отримані при узагальненні як власних, так і експериментальних матеріалів інших дослідників.

Але розроблені та запропоновані ними напівемпіричні теорії не можуть бути універсальними, оскільки вони обмежені діапазоном умов їх отримання та застосування, що зумовило необхідність прийняття відповідних припущень.

За цими напівемпіричними теоріями було запропоновано моделі за степеневим та логарифмічним профілями. Широкого розповсюдження набув логарифмічний профіль, незважаючи навіть на те, що ця залежність не відповідає граничним умовам на осі та на внутрішній поверхні трубопроводу. З метою забезпечення граничних умов на внутрішній

поверхні трубопроводу вченими розроблені двошарові та тришарові моделі, проте вони теж не відповідають граничним умовам по осі потоку трубопроводу [20].

Продовжуються дослідження [16; 17] у напрямку оцінки ефективності руху потоку як у складових дренажних трубопроводах, так і в ЗКДМ в цілому. Це дасть можливість удосконалити методи проектування й розрахунку технологічних та конструктивних параметрів ДС.

У зв'язку з цим, **метою дослідження** є подальший пошук нових підходів до удосконалення методів розрахунку закритої колекторно-дренажної мережі дренажних систем, які працюють у режимі осушення та підгрунтового зволоження, на основі обґрунтування взаємозв'язку та врахування впливу ефективності її роботи на ефективність регулювання водного режиму осушуваних земель.

Матеріали та методи досліджень. Виконано аналіз й узагальнення існуючих досліджень та загальноприйнятих методів з обґрунтування типу, конструкції та параметрів ЗКДМ як основного регулюючого елемента ДС при осушенні та підгрунтовому зволоженні осушуваних земель.

Для визначення наявності структурного зв'язку між режимом роботи ЗКДМ та водним режимом меліорованого поля при розгляді ДС не суто як технічної, а як складної природно-технічної системи, було використано інструментарій системного підходу та системного аналізу.

При проведенні теоретичних досліджень застосовано методи математичного моделювання гідродинамічної структури турбулентного потоку в напірних трубопроводах із використанням загальноновизнаних диференціальних рівнянь Нав'є-Стокса.

Для підтвердження адекватності отриманих аналітичних моделей використано загальноприйняті методи статистичного опрацювання з використанням ЕОМ загальноновизнаних результатів експериментальних досліджень Нікурадзе І. та Шевельова Ф.О. щодо вивчення закономірностей розподілу осереднених швидкостей турбулентного потоку в напірних трубопроводах.

Результати дослідження та їх обговорення. Згідно з [4; 8] та ін., при застосуванні найсучаснішої методології системного підходу та системного аналізу до створення і функціонування водогосподарсько-меліоративних об'єктів, ДС постають як складні природно-технічні еколого-економічні системи, в яких має місце структурний взаємо-

зв'язок виду *ефект* \Leftrightarrow *режим* \Leftrightarrow *технологія* \Leftrightarrow *конструкція*, що визначає необхідність більш детальних досліджень закономірностей взаємопов'язаних процесів руху води як в основних елементах, так і в системі в цілому.

Тому, за аналогією та в розвиток такого підходу, доцільно виділити та розглянути підсистему виду *грунт* \Leftrightarrow *режим рівня ґрунтових вод* \Leftrightarrow *ЗКДМ як основний регулюючий елемент ДС*, елементи якої мають структурний ієрархічний та гідравлічний взаємозв'язок. При цьому, характерною особливістю ДС з двостороннім регулюванням є те, що процеси руху водного потоку в елементах ЗКДМ ДС при роботі її в режимі осушення та підгрунтового зволоження є аналогічними, але взаємопротилежними і реалізуються, використовуючи одну й ту ж КДМ.

Відповідно, означений зв'язок між режимом рівня ґрунтових вод та ЗКДМ забезпечується трансформацією фільтраційного руху відносно рівномірного та суцільного потоку в різнорідну структуру сукупності відокремлених водних турбулентних потоків в ієрархічно та гідравлічно зв'язаних напірних дренажних трубопроводах як складових елементах ЗКДМ з різними умовами формування їх градієнтів напорів та швидкостей при її роботі в режимі осушення і навпаки – при її роботі в режимі підгрунтового зволоження. Це може бути відображено відповідною підсистемою виду *режим руху ґрунтового потоку* \Leftrightarrow *режим руху потоку в ЗКДМ* \Leftrightarrow *режим руху потоку в окремому дренажному трубопроводі як основному елементі ЗКДМ*.

Своєю чергою, згідно загальної теорії руху водного потоку в напірному трубопроводі, ефективність режиму потоку в ЗКДМ визначається параметрами гідродинамічної структури розподілу швидкостей в поперечному перерізі потоку в окремому колекторно-дренажному трубопроводі як основному її елементі, що визначає ефективність роботи кожного такого елемента і ЗКДМ в цілому.

Структурно-логічна схема ієрархічного та гідравлічного взаємозв'язку і впливу режиму роботи ЗКДМ на режим рівня ґрунтових вод меліорованого поля, ефективність чого визначається гідродинамічною структурою розподілу швидкості в поперечному перерізі потоку у дренажному трубопроводі як в окремому елементі регулюючої мережі, представлена на рис. 1.

У зв'язку з тим, що існуючі залежності розподілу осереднених швидкостей в трубопроводах, в тому числі і дренажних, не відповідають граничним умовам біля стінки

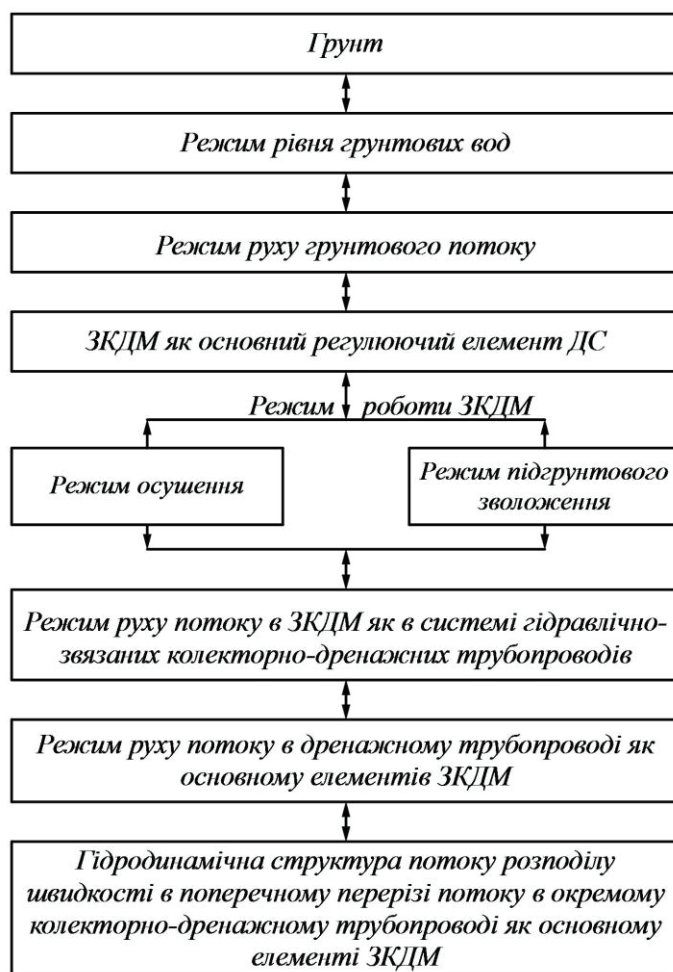


Рис. 1. Структурно-логічна схема ієрархічного та гідравлічного взаємозв'язку і впливу режиму роботи ЗКДМ на режим рівня ґрунтових вод меліорованого поля

трубопроводу (степеневі рівняння), а запропоновані логарифмічні рівняння не відповідають граничним умовам не тільки біля стінки, а й на осі трубопроводу [20], виникає об'єктивна необхідність у подальшому розвитку та поглибленні даної теорії.

І. Нікурадзе було виконано ґрунтовні експериментальні дослідження щодо вивчення режимів руху потоку в трубопроводах з однорідною зернистою шорсткістю і гідравлічно гладких трубах та розподілом осереднених швидкостей. Ф.А. Шевельов у лабораторних умовах на гідравлічних та аеродинамічних установках дослідив режими руху потоку та розподіл швидкостей в сталевих та чавунних трубопроводах [16]. На основі цих експериментів було побудовано графіки залежності коефіцієнта гідравлічного опору λ від числа Рейнольдса Re , на яких розкриті режими руху потоку в трубопроводах.

При турбулентному режимі в областях доквадратичного та квадратичного руху потоку коефіцієнт гідравлічного опору зале-

жить не тільки від числа Рейнольдса, але й від шорсткості внутрішньої поверхні трубопроводу. Тому існує велика кількість залежностей, які широко представлені в довідковій літературі [12; 14]. Але слід відмітити, що графік залежності зміни коефіцієнта гідравлічного опору від числа Рейнольдса розкриває тільки режими руху, але не розкриває гідродинамічної структури потоку, яку необхідно враховувати при гідравлічних розрахунках трубопроводів.

Рівняння розподілу осередненої швидкості руху рідини при ламінарному режимі було отримано в результаті замкнення диференціального рівняння Нав'є-Стокса в диференціальній формі Стоксом Дж. та врахування рівняння неперервності та прийняття крайових умов [16]

$$u_{x,l} = \lambda Re^2 \frac{\nu}{8d^3} (r_0^2 - r^2). \quad (1)$$

Залежність (1) не може бути застосована для визначення розподілу швидкостей для турбулентного режиму, а існуючі залежності

розподілу осереднених швидкостей в трубопроводі не відповідають граничним умовам біля стінки трубопроводу (степеневі рівняння), а запропоновані логарифмічні рівняння не відповідають граничним умовам біля стінки і на осі трубопроводу. Отже було запропоновано наступне вирішення такої проблеми.

Нами було прийнято основну гіпотезу [16], що отримана з диференціального рівняння Нав'є-Стокса залежність (1), придатна для розрахунку осереднених швидкостей також при турбулентному режимі руху рідини, але для цього необхідно замінити в рівнянні Нав'є-Стокса молекулярну кінематичну в'язкість ν на загальну турбулентну кінематичну в'язкість ν_{tot} , яка включає кінематичну в'язкість на внутрішній поверхні трубопроводу ν_s та турбулентну кінематичну в'язкість ν_t , яка виникає за рахунок переміщення мас з одного шару в інший, як рекомендував Буссінеск Ж.В.

Тоді отримуємо [16]

$$u_{xt} = \lambda \operatorname{Re}^2 \frac{\nu^2}{64 \nu_{tot} r_0^3} (r_0^2 - r^2), \quad (2)$$

де ν_{tot} – загальна турбулентна кінематична в'язкість потоку, яка враховує молекулярну кінематичну в'язкість на стінці трубопроводу ν_s та турбулентну кінематичну в'язкість між шарами потоку ν_t .

Переміщення молекул рідини на внутрішній поверхні трубопроводу обмежене, тому кінематична в'язкість на внутрішній поверхні трубопроводу ν_s менша за молекулярну в'язкість рідини ν . За проведеними нами статистичними дослідженнями можна прийняти проміжну гіпотезу, що ν_s залежить від коефіцієнта гідравлічного опору і визначається за залежністю

$$\nu_s = \lambda \nu. \quad (3)$$

Турбулентна кінематична в'язкість між шарами потоку, як показують проведені статистичні дослідження, теж не є сталою фізичною величиною і також потребує додаткових досліджень.

Тому для отримання графіка залежності відносної загальної кінематичної в'язкості вздовж радіуса на основі експериментальних даних, рівняння (2) приведено до вигляду [16]

$$\frac{\nu_{tot}}{\nu} = \frac{\nu \lambda \operatorname{Re}^2}{64 u_{xt} r_0^3} (r_0^2 - r^2). \quad (4)$$

Відповідно було прийнято проміжну гіпотезу, щодо того що сума відносної турбулентної кінематичної в'язкості в точці потоку й відносної відстані до даної точки у відповідних степенях дорівнює одиниці

та враховано кінематичну в'язкість на внутрішній поверхні трубопроводу ν_s [16].

Тому, загальна турбулентна кінематична в'язкість визначається за рівнянням [16]

$$\nu_{tot} = \frac{1}{r_0^{nm}} \left(\nu_{tmax}^{1/m} (r_0^n - r^n) + \nu_s^{1/m} r_0^n \right)^m, \quad (5)$$

де невідомі параметри визначаються за системою рівнянь

$$\left. \begin{aligned} \nu_{tmax} &= k \nu \lambda \operatorname{Re}; \\ k &= a \lg \operatorname{Re} \lg(100\lambda) + b; \\ m &= c \lg \operatorname{Re} \lg(100\lambda) + d; \\ n &= 2 / m; \\ \nu_s &= \lambda \nu; \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

де ν_{tmax} – максимальне значення турбулентної кінематичної в'язкості, яка виникає на осі трубопроводу; k , m і n – постійні параметри для певної області турбулентного режиму руху потоку; $(\lg \operatorname{Re}; \lg(100\lambda))$ – координати на графіку Нікурадзе, які враховують області гідравлічного опору турбулентного режиму; a , b , c , d – постійні коефіцієнти, які визначаються на основі експериментальних даних.

Вихідні розрахункові параметри k і m , які визначаються рівнянням (6), включають невідомі постійні коефіцієнти a , b , c , d . Їх значення отримані на основі експериментальних профілів загальної турбулентної кінематичної в'язкості, що визначені з експериментальних досліджень Нікурадзе І. та Шевельова Ф.О., за методом найменших квадратів із довірчою ймовірністю 95% і, відповідно, дорівнюють $a = -0,000675$; $b = 0,0273$; $c = -0,0195$; $d = 0,915$.

З урахуванням рівняння (6) рівняння (5) буде мати вигляд [16]

$$\nu_{tot} = \frac{\nu \lambda}{r_0^{nm}} \left((k \operatorname{Re})^{1/m} (r_0^n - r^n) + r_0^n \right)^m. \quad (7)$$

Враховуючи рівняння загальної кінематичної в'язкості (7), залежність розподілу осередненої швидкості потоку (2) при турбулентному режимі прийме вигляд [17]

$$u_{xt} = \frac{\nu \operatorname{Re}^2 (r_0^2 - r^2)}{64 \left((k \operatorname{Re})^{1/m} (r_0^n - r^n) + r_0^n \right)^m r_0}. \quad (8)$$

На рисунку 2 представлена порівняльна характеристика профілів осереднених швидкостей руху рідини для різних режимів та їх областей.

Тоді максимальна осереднена швидкість потоку при турбулентному режимі визначається з рівняння (8) при $r = 0$

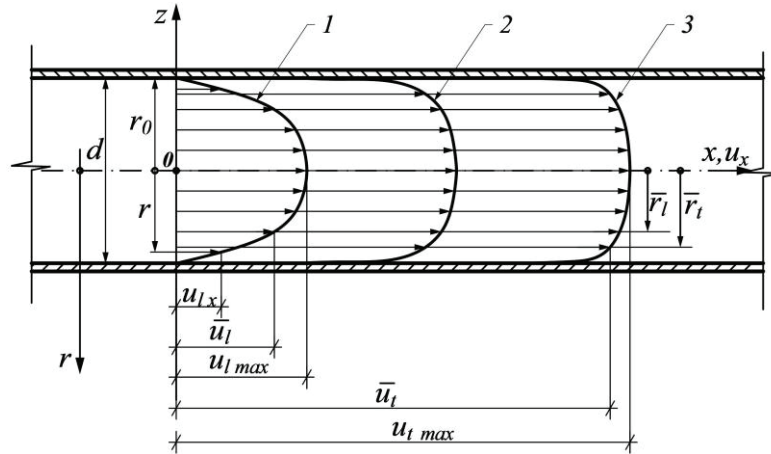


Рис. 2. Розподіл осередненої швидкості руху рідини: 1 – для ламінарного режиму руху потоку визначається за формулою (1); 2 – для області гідравлічно гладкого опору при турбулентному режимі за (8); 3 – для областей доквадратичного та квадратичного опору при турбулентному режимі за (8)

$$u_{x l \max} = \frac{\nu \operatorname{Re}^2}{64 r_0 \left((k \operatorname{Re})^{1/m} + 1 \right)^m}, \quad (9)$$

а на внутрішній поверхні трубопроводу – при $r = r_0$ дорівнює нулю $u_{x l} = 0$.

Для порівняння, при ламінарному режимі руху рідини максимальна осереднена швидкість потоку визначається як

$$u_{x l \max} = \lambda \operatorname{Re}^2 \frac{\nu}{8 d^3} r_0^2. \quad (10)$$

Відстань від осі трубопроводу до точок, що мають середню швидкість \bar{r} при турбулентному режимі, виражається рівнянням у неявній формі

$$\frac{\operatorname{Re} \left(r_0^2 - \bar{r}^2 \right)}{32 \left((k \operatorname{Re})^{1/m} \left(r_0^n - \bar{r}^n \right) + r_0^n \right)^m} = 1. \quad (11)$$

Вона не є сталою і залежить від коефіцієнта гідравлічного опору та числа Рейнольдса.

Для порівняння, при ламінарному режимі руху рідини відстань від осі трубопроводу до точок, що мають середню швидкість, становить

$$\bar{r}_l = \frac{r_0}{\sqrt{2}}. \quad (12)$$

Тоді відношення максимальної швидкості до середньої в трубопроводі при турбулентному режимі визначається як

$$\frac{u_{x l \max}}{\bar{u}_x} = \frac{\left((k \operatorname{Re})^{1/m} \left(r_0^n - \bar{r}^n \right) + r_0^n \right)^m}{\left((k \operatorname{Re})^{1/m} + 1 \right)^m \left(r_0^2 - \bar{r}^2 \right)}. \quad (13)$$

Для порівняння, при ламінарному режимі руху рідини відоме відношення максимальної швидкості до середньої в трубопроводі має вигляд

$$\frac{u_{x l \max}}{\bar{u}_{x l}} = 2. \quad (14)$$

Для прикладу на рисунку 3 приведено профілі осереднених швидкостей для трубопроводу діаметром 10 см та приведені точки експериментальних досліджень, виконаних Нікурадзе І.

Адекватність встановлених та запропонованих нових теоретичних положень та отриманих на їх основі аналітичних моделей підтверджується практично повним співпадінням (з довірчою ймовірністю 95%) розрахованих за ними основних параметрів турбулентного потоку з результатами експериментальних досліджень провідних і визнаних вчених у цій галузі науки Нікурадзе І. та Шевельова Ф.О. шляхом статистичного їх опрацювання загальноприйнятими методами з використанням ЕОМ [16, 19].

Висновки. На підставі проведених теоретичних досліджень отримані удосконалені теоретичні положення в подальший розвиток загальної теорії турбулентного руху потоку в напірних трубопроводах, які, на відміну від наявних напівемпіричних теорій, дають змогу шляхом розкриття повної гідродинамічної структури потоку для всіх областей турбулентного режиму в ньому на основі застосування отриманих універсальних рівнянь побудувати профіль розподілу загальної турбулентної кінематичної в'язкості та осередненої швидкості.

На основі застосування системної методології, на відміну від [16; 17], отримано структуру ієрархічного і гідравлічного взаємозв'язку між водним режимом поля з режимом

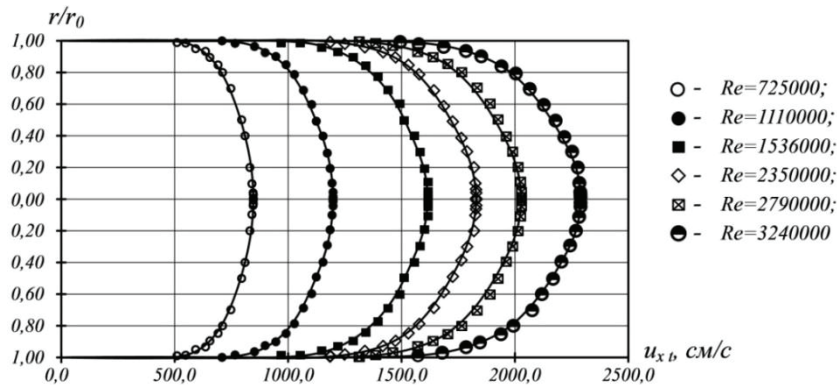


Рис. 3. Профілі осереднених швидкостей при турбулентному режимі в області гідравлічно гладкого опору для трубопроводу діаметром 10 см

роботи ЗКДМ, ефективність роботи якої, своєю чергою, визначається режимом руху потоку в дренажній трубі як основному її елементі. В подальшому це дозволить удосконалити методи проектування й розрахунку ДС

технологічних та конструктивних параметрів і, тим самим, забезпечити загальну технічну, технологічну, економічну та екологічну ефективність функціонування їх відповідно до сучасних вимог.

Бібліографія

1. Evaluation of climate change in Polissia region and ways of adaptation to it / Kovalenko P. et al. // *Journal of Water and Land Development*. 2019. Vol. 41. 72–82.
2. Оптимізація розрахунку осушувальних систем та управління ними / Лазарчук М.О. та ін., ; ред. Лазарчука М.О. Рівне, 2009. 354 с.
3. Сапсай Г.І., Бадинський Л.О., Величко С.В. Гідрологічна дія закритого дренажу при зміні його технічного стану : монографія. Івано-Франківськ : НАІР, 2013. 128 с.
4. Природообустройство Полесья : монографія / ред. Ю.А. Мажайского, А.Н. Рокочинского, А.А. Волчека, О.П. Мешика, Е. Езнаха. Рязань : Мещер. ф-л ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, 2017. 902 с.
5. Посібник до ДБН В.2.4.-1-99. Меліоративні системи та споруди (розділ 3. Осушувальні системи). Метеорологічне забезпечення інженерно-меліоративних розрахунків у проектах будівництва й реконструкції осушувальних систем / А.М. Рокочинський та ін. Київ. 2008. 63 с.
6. Хлапук М.М., Тищенко О.І. Підвищення ефективності і надійності осушувально-зволожувальних систем // *Вісник інженерної академії України*. 2003. Вип. 2. С. 57–65.
7. Коваленко П.І., Яцик М.В., Поляков В.П. Управління вологозабезпеченістю сільськогосподарських культур на меліорованих землях з урахуванням динаміки факторів зовнішнього середовища // *Меліорація і водне господарство*. 1996. Вип. 82. С. 3–12.
8. Меліорація та облаштування Українського Полісся. Т. 1. / ред. Я.М. Гадзала, В.А. Сташука, А.М. Рокочинського. Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2017. 932 с.
9. Шестаков В.М. Теоретические основы оценки подпора водопонижения и дренажа. Москва : МГУ, 1965. 233 с.
10. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. Москва : Наука, 1978. 736 с.
11. Киселев П.Г. Справочник по гидравлическим расчетам. Москва : Энергия, 1972. 316 с.
12. Nikuradse J. Gesetzmäßigkeiten der turbulenten Strömung in glatten Röhren. *Forsch. Arb. Ing. Wes.*, 1932, 356 n.
13. Nikuradse J. Strömungsgesetze in rauchen Röhren *Forsch. Ver. Dtsch. Ing.*, 1933. 361 n.
14. Шевелев Ф.А. Исследование основных гидравлических закономерностей турбулентного движения в трубах. Москва : Госстройиздат, 1953. 208 с.
15. Logarithmic scaling of turbulence in smooth-and rough-wall pipe flow / Hultmark M. et al. // *Fluid Mech*. 2013. Vol. 728. 376–395.
16. Дослідження розподілу загальної турбулентної кінематичної в'язкості в трубопроводах при турбулентному режимі / Хлапук М.М. та ін. // *Вісник НУВГП*. 2019. Вип. 4(88). С. 3–17.
17. До розвитку теорії руху потоку в трубопроводах при турбулентному режимі / Хлапук М.М. та ін. // *Вісник НУВГП*. 2019. Вип. 3(87). С. 3–18.

18. Volk L.R. Improvement of approaches and methods of turbulent flow theory in the pipes // *Вісник ОДАБА*. 2020. Вип. 80. С. 103–113.
19. Дослідження профілю осередненої швидкості потоку в трубопроводах при турбулентному режимі в області гідравлічно гладкого опору / Хлапук М.М. та ін. // *Вісник НУВГП*. 2020. Вип. 1(89). С. 3–11.
20. Волк Л.Р. Аналіз розвитку підходів до побудови профілів осередненої швидкості потоку при турбулентному режимі в трубопроводах // *Гідроаеромеханіка в інженерній практиці: XXV Міжнар. наук.-практ.конф. : тези доп.* Київ, 2020. С. 252–255.

References

1. Kovalenko, P., Rokochinskiy, A., Jeznach, J., & Volk, P. (2019). Evaluation of climate change in polissia region and ways of adaptation to it. *Journal of Water and Land Development*, 41, 72–82.
2. Lazarchuk, M.O., Cherenkov, A.V., & Rokochynskiy, A.M. (2009). *Optimizatsiia rozrakhunku osushvalnykh system ta upravlinnia nymy* [Optimization of drainage systems calculation and management]. Rivne : NUWEE. [in Ukrainian]
3. Sapsay, G.I., Badinsky, L.O., & Velichko, S.V. (2013). *Hidrolohichna diia zakrytoho drenazhu pry zmini yoho tekhnichnoho stanu* [Hydrological action of closed drainage when changing its technical condition] Ivano-Frankivsk : NAIR. [in Ukrainian]
4. Mazhayskiy, Yu.A., Rokochinskiy, A.N., Volchek, A.A., Meshik, O.P., & Eznakh, E. (2017). *Prirodoobustroystvo Polesia* [Nature management of Polesie]. Iss. 2, Vol. 1. Ryazan : Meshcher. f. VNIIGiM im. A.N. Kostyakova. [in Ukrainian]
5. *Posibnyk do DBN V.2.4-1-99 Melioratyvni systemy ta sporudy* [Guide to DBN V.2.4-1-99 Reclamation systems and structures]. Kyiv : Ukrvodproekt. [in Ukrainian]
6. Khlapuk, M.M., & Tyshenko, O.I. (2003). *Pidvyshchennia efektyvnosti i nadiinosti osushvalno-zvolozhuvalnykh system* [Improving the efficiency and reliability of dehumidification and humidification systems]. *Bulletin of the Engineering Academy of Ukraine*, 2, 57–65. [in Ukrainian]
7. Kovalenko, P.I., Yatsyk, M.V., & Poliakov, V.P. (1996). *Upravlinnia volohozabezpechenistiu silskohospodarskykh kultur na meliorovanykh zemliakh z urakhuvanniam dynamiky faktoriv zovnishnoho seredovyscha* [Management of moisture supply of agricultural crops on reclaimed lands taking into account the dynamics of environmental factors]. *Land reclamation and water management*, 82, 3–12. [in Ukrainian]
8. Hadzalo, Ya.M., Stashuk, V.A., & Rokochynskiy, A.M. (Ed.) (2017). *Melioratsiia ta oblashtuvannia Ukrainського Polissia* [Reclamation and arrangement of the Ukrainian Polesie]. Kherson : OLDI-PLUS. [in Ukrainian]
9. Shestakov, V.M. (1965). *Teoreticheskie osnovy ocenki podpora vodoponizheniya i drenazha* [Theoretical bases of estimation of water lowering and drainage support]. Moskva : MGU. [in Russian]
10. Loitsianskiy, L.H. (1978). *Mekhanika zhidkosti i gaza* [Fluid and gas mechanics]. Moskva : Nauka. [in Russian]
11. Kiselev, P.G. (1972). *Spravochnik po gidravlicheskim raschetam* [Hydraulic Calculation Reference]. Moskva : Energy. [in Russian]
12. Nikuradse, J. (1932). *Gesetzmassigkeiten der turbulenten Strömung in glatten Rohren*. *Forsch. Arb. Ing. Wes.* [in German]
13. Nikuradse, J. (1933). *Strömungsgesetze in rauchen Rohren*. *Forsch. Ver. Dtsch. Ing.* [in German]
14. Shevelev, F.A. (1953). *Issledovaniye osnovnykh gidravlicheskiy zakonostey turbulentnogo dvizheniya v trubakh* [Study of the main hydraulic laws of turbulent motion in pipes]. Moskva : Gosstroyizdat. [in Russian]
15. Hultmark, M., Vallikivi, M., Bailey, S.C.C., Smits, A.J. (2013). Logarithmic scaling of turbulence in smooth-and rough-wall pipe flow. *Fluid Mech*, 728, 376–395.
16. Khlapuk, M.M., Moshynskiy, V.S., Bezusiak, O.V., & Volk, L.R. (2019). *Doslidzhennia rozpodilu zahalnoi turbulentnoi kinematychnoi viazkosti v truboprovodakh pry turbulentnomu rezhymi* [Investigation of the distribution of total turbulent kinematic viscosity in pipelines in turbulent mode]. *Visnyk NUWEE*, 4(88), 3–17. [in Ukrainian]
17. Khlapuk, M.M., Moshynskiy, V.S., Bezusiak, O.V., & Volk, L.R. (2019). *Do rozvytku teorii rukhu potoku v truboprovodakh pry turbulentnomu rezhymi* [To the development of the theory of flow in pipelines in turbulent mode]. *Visnyk NUWEE*, 3(87), 3–18. [in Ukrainian]
18. Volk, L.R. (2020). Improvement of approaches and methods of turbulent flow theory in the pipes. *Visnyk ODABA*, 80, 103–113.

19. Khlapak, M.M., Moshynskiy, V.S., Bezusiak, O.V., & Volk, L.R. (2020). Doslidzhennia profilu osередnenoї shvydkosti potoku v truboprovodakh pry turbulentnomu rezhymi v oblasti hidravlichno hladkoho oporu [Investigation of the profile of the averaged flow rate in pipelines in turbulent mode in the region of hydraulically smooth resistance]. *Visnyk NUWEE*, 1(89), 3–11. [in Ukrainian]

20. Volk, L.R. (2020). Analiz rozvytku pidkhodiv do pobudovy profiliv osередnenoї shvydkosti potoku pry turbulentnomu rezhymi v truboprovodakh [Analysis of the development of approaches to the construction of profiles of the averaged flow rate in turbulent mode in pipelines]. *Hidroaeromekhanika v inzhenernii praktysii: XXV Mizhnarodna nauk.-prakychn. konf. Kyiv*, 252–255. [in Ukrainian]

Л.Р. Волк, А.В. Безусьяк, П.П. Волк

Усовершенствование расчета закрытой коллекторно-дренажной сети дренажных систем

Аннотация. Вызовы современности и изменения климата, а также выработка ресурса, определяют необходимость совершенствования типа, конструкции и параметров закрытой коллекторно-дренажной сети, как определяющего регулирующего элемента дренажных систем в проектах их реконструкции и модернизации. Поэтому рассмотрена необходимость и научно-методические подходы к совершенствованию расчета закрытой коллекторно-дренажной сети дренажных систем, работающих в режиме осушения и подпочвенного увлажнения, на основании учета влияния эффективности ее работы на эффективность регулирования водного режима осушаемых земель. На основе применения системной методологии определено наличие и структура иерархической и гидравлической взаимосвязи между водным режимом поля с режимом работы закрытой коллекторно-дренажной сети, эффективность работы которой, в свою очередь, определяется режимом движения потока в дренажной трубе как основном ее элементе. Через имеющееся несовершенство общей теории движения турбулентного потока в напорном трубопроводе, в том числе дренажном, относительно недостаточной научной обоснованности распределения скоростей в потоке, на основании выполненных теоретических и экспериментальных исследований предложены сравнительно новые научные положения в отличие от имеющихся полумпирических теорий по оценке гидродинамической структуры потока в напорном трубопроводе. Это позволяет путем раскрытия полной гидродинамической структуры потока для всех областей турбулентного режима в нем, на основании применения полученных универсальных уравнений, построить профиль распределения общей турбулентной кинематической вязкости и осредненной скорости. Рассмотренный подход позволит оценить эффективность движения потока как в составляющих дренажных трубопроводах, так и в закрытой коллекторно-дренажной сети в целом и в дальнейшем усовершенствовать методы проектирования и расчета ее технологических и конструктивных параметров и, тем самым, обеспечить общую техническую, технологическую, экономическую и экологическую эффективность функционирования дренажных систем в соответствии с современными требованиями.

Ключевые слова: усовершенствование, расчет, закрытая коллекторно-дренажная сеть, дренажная система

L.R. Volk, O.V. Bezusyak, P.P. Volk

Improving the dimensioning of closed collecting and drainage network of drainage systems

Abstract. Today's challenges and the climate change along with the current depletion of resources call for the improvement of the type, design and parameters of the closed collecting and drainage network, which is a key regulatory element of drainage systems in projects of their reconstruction and modernization. Therefore, the paper examines the need for and scientific and methodological approaches to improving the dimensioning of a closed collecting and drainage network of drainage systems operating in the regime of drainage and subsoil humidification based on the impact of the network efficiency on the efficiency of regulation of drained lands water regime. Through the system methodology application, determined is the existence and structure of the hierarchical and hydraulic relationship between the field water regime and the operation regime of the closed collecting and drainage network, the efficiency of which depends on the flow regime in the drainage pipe, which is the network's main element. Due to the current flaws in the general theory of turbulent flow in a pressure pipe, including a drainage one, which are related to the lack of scientific foundation for the velocity distribution in the flow, and based on the conducted theoretical and experimental research, the relatively new scientific findings are proposed, that contrast the existent semi-empirical theories for assessing the hydrodynamic structure of the flow in the pressure pipe. This allows to discover the entire hydrodynamic structure of the flow for all turbulence areas therein, and, based on the application of the obtained universal equations, to design a distribution profile of the overall turbulent kinematic viscosity and averaged velocity. The presented approach will enable the efficiency assessment of flow both in constituent drainage pipes and in a closed collecting and drainage network in general. Also, the approach will further be helpful in improving the methods of designing and dimensioning technological and structural parameters of the network and ensuring the total technical, technological, economic, and environmental efficiency of drainage systems in line with the modern requirements.

Key words: improvement, dimensioning, closed collecting and drainage network, drainage system

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202101-284>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/284>

УДК 626.81/84:631.67

ГІДРОДИНАМІЧНА МОДЕЛЬ ФОРМУВАННЯ СТОКУ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ДРЕНАЖУ В УМОВАХ БЕЗСТІЧНИХ І СЛАБОДРЕНОВАНИХ ЗРОШУВАНИХ ЗЕМЕЛЬ СУХОСТЕПОВОЇ ЗОНИ УКРАЇНИ

В.В. Морозов¹, канд. с.-г. наук, О.В. Морозов², докт. с.-г. наук, Є.В. Козленко³, канд. с.-г. наук

¹ Херсонський державний аграрно - економічний університет, Херсон, Україна;

<https://orcid.org/0000-0002-2594-883X>; e-mail: morozov17041950@gmail.com;

² Херсонський державний аграрно - економічний університет, Херсон, Україна;

<https://orcid.org/0000-0002-5617-0813>; e-mail: morozov-2008@ukr.net;

³ Інститут зрошувального землеробства НААН, Херсон, Україна;

<https://orcid.org/0000-0003-3001-8220>; e-mail: evgsn@i.ua

Анотація. У статті наведені результати досліджень, на основі яких одержана гідродинамічна модель формування дренажного стоку закритого горизонтального дренажу на безстічних і слабодренованих зрошуваних землях у сухостеповій зоні України. Актуальність досліджень полягає в їх необхідності при проектуванні систем горизонтального дренажу, визначенні оптимальних міждренних відстаней, режимів функціонування та оцінки ефективності дренажу при його експлуатації в умовах зрошення сучасною дощувальною технікою із закритою внутрішньогосподарської мережі. Мета дослідження – розробка узагальненої гідродинамічної моделі формування стоку закритого горизонтального дренажу на фоні зрошення із закритою внутрішньогосподарської мережі на безстічних і слабодренованих землях, якими характеризуються водороздільні рівнини та приморські низовини сухостепової зони України. Завдання дослідження: визначення основних умов і факторів формування стоку горизонтального дренажу; визначення структури притоку ґрунтової води до дрен при оптимальних міждренних відстанях закритої внутрішньогосподарської мережі; визначення перспектив та напрямів подальших досліджень. Методи і методика дослідження: багаторічні (1975–2020 рр.) польові дослідження на дренажних ділянках із різними міждренними відстанями в типових гідрогеологічних умовах для водороздільних масивів та приморських низовин; водобалансові дослідження; теоретичні методи дослідження (аналіз і синтез, порівняння, узагальнення, районування); для визначення структури притоку ґрунтових вод до дрен застосовано метод електрогідродинамічних аналогій на лабораторному інтеграторі ЕГДА 9/60. В результаті дослідження визначено, що в умовах закритої водогосподарської мережі можливо збільшення міждренних відстаней від 120–220 м до 240–400 м. При всіх вивчаємих умовах безстічних та слабодренованих водороздільних рівнин і приморських низовин основними джерелами, що формують режим ґрунтових вод і дренажного стоку, є атмосферні опади 420 мм або 55,0% приходної частини водного балансу, зрошувальна вода – 340 мм або 45,0% приходної частини, в тому числі 266 мм або 35,0% від поливів і 75 мм або 10,0% від фільтрації з каналів. Аналіз гідродинамічної моделі формування дренажного стоку показує, що при дренажних відстанях 240–400 м приток із зони вище дна дрени складає 2,6–4,8% від загального притоку до дрени. Висхідний потік під дном дрени попадає до неї під середнім кутом 60° і складає при всіх варіантах міждренної відстані 95,2–97,2% загального притоку. При збільшенні відстані між дренами з 240 до 300–400 м горизонтальний приток із зони нижче дна дрени зменшується при відповідному збільшенні висхідного потоку під дном дрени. Середня ширина висхідного потоку до дрени на межі активної зони ґрунтових вод (9,0–10,0 м нижче дрен) дорівнює 13,0–20,0 м. Одержана модель доповнює існуючу теоретико-методичну базу знань для проектування горизонтального дренажу і необхідна в перспективних дослідженнях із формування експертних систем для оптимізації параметрів і режимів функціонування зрошення і дренажу в умовах сучасної широкозахватної дощувальної техніки з поливом із закритою внутрішньогосподарської мережі.

Ключові слова: зрошення, дренаж горизонтальний, формування дренажного стоку, гідродинамічна модель, сухостепова зона

Актуальність дослідження. Стратегія зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 р. вказує, що в сучасних умовах їх відновлення є ключовим фактором розвитку аграрного сектора економіки, нарощування експортного потенціалу України, мінімізації впливу глобальних і регіональних змін клімату на процеси соціально-економічного розвитку регіонів [1]. На безстічних і слабодренованих землях сухостепової зони України, яка охоплює Херсонську, Миколаївську, Одеську, Запорізьку області та АР Крим, штучний дренаж є необхідним радикальним еколого – меліоративним заходом для забезпечення відповідного еколого – меліоративного стану зрошуваних земель. Найбільше розповсюдження на зрошуваних масивах сухостепової зони мають системи систематичного закритого горизонтального дренажу.

При відновленні і подальшому розвитку зрошення передбачається реконструкція і модернізація існуючого дренажу, а також проектування і будівництво нових систем закритого горизонтального дренажу. До того ж актуальним є узагальнення накопиченого науково-виробничого досвіду з усіх аспектів інженерних вишукувань, проектування, будівництва та експлуатації систем закритого горизонтального дренажу.

При обґрунтуванні оптимальних параметрів і режимів роботи горизонтального дренажу, оцінки його ефективності на безстічних і слабодренованих землях необхідною є інформація, яка характеризує гідродинамічну модель формування дренажного стоку в умовах сучасної закритої внутрішньогосподарської зрошувальної мережі.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Фундаментальні основи проектування закритого горизонтального дренажу, визначення його оптимальних параметрів та формування дренажного стоку висвітлені в роботах класиків вітчизняної меліоративної науки [2; 3; 4; 14]. Проектуванням, будівництвом та дослідженням ефективності горизонтального дренажу в зоні зрошення України займалися вчені УкрНДПіМ (нині – ІВПіМ НААН), УКРДПРОВОДГОСПу (нині – ВАТ «Укрводпроект»), Інституту ґрунтознавства і агрохімії імені О.Н. Соколовського (нині – ННЦ «ІА імені О.Н. Соколовського»), Херсонського сільськогосподарського інституту (нині – Херсонський державний аграрно-економічний університет), Каховської, Одеської і Кримської гідрогеолого-меліоративних експедицій та регіональних проектних організацій [4; 9; 10; 11; 12; 15; 16].

Класифікація гідрогеологічних умов зрошуваних масивів (Кац Д.М., 1976) [5] показує, що основні зрошувальні системи в Південному регіоні України розташовані в умовах слабодренованих та безстічних територій.

Чл.-кор. НАН України Олійником О.Я. розроблено основи фільтраційних розрахунків горизонтального дренажу в складних гідрогеологічних умовах стосовно до задач меліорації земель аридної зони, проведені теоретичні фільтраційні дослідження до різних варіантів дрен [6], які спрямовані на визначення оптимальних параметрів горизонтального дренажу.

Теоретичне обґрунтування підходу до моделювання дренажних систем, що сформульоване і розроблене Поляковим В.Л. [7], дозволяє розробляти надійні методи інженерних розрахунків дренажу. Однак, як відмічає сам автор (Поляков В.Л., 2018), для повноцінної реалізації запропонованого підходу необхідно мати в повному обсязі відповідну інформацію [7]. На формування бази даних фактичної інформації, яка необхідна в кожних конкретних природно – господарських умовах сухостепової зони для визначення оптимальних параметрів горизонтального дренажу (а це, переважно, міждренні відстані), значною мірою спрямована дана робота.

В роботі [8], автори акцентують увагу на необхідність забезпечення надійними фактичними вихідними даними для інженерних вишукувань, проектування оптимальних параметрів горизонтального дренажу на зрошуваних землях, а також для прогнозування гідрогеолого-меліоративного стану зрошуваних та прилеглих до них земель.

На вивчення умов, факторів і особливостей формування стоку горизонтального дренажу та ефективності його функціонування в різних гідрогеологічних умовах на зрошуваних системах півдня України спрямовані дослідження Савчука Д.П., Шевченка А.М., Бабіцької О.В., Котиковича І.В., Харламова О.І. та ін., що необхідні для відновлення дренажних систем, боротьби з підтопленням земель, для роботи горизонтального дренажу на фоні зрошення із закритою водогосподарською мережі [11; 12]. Формуванню дренажного стоку на сучасних зрошувальних системах півдня України, в тому числі рисових систем, присвячені дослідження [9; 10; 16], формуванню дренажного стоку і його хімічного складу на зрошуваних землях [17; 18] та інших вчених. З цих досліджень витікає, що для кожних регіональних гідрогеологічних умов залишається актуальним питання проведення

досліджень, спрямованих на формування бази даних і бази знань щодо всіх аспектів функціонування горизонтального дренажу, включаючи розробку гідродинамічних моделей формування дренажного стоку.

Мета дослідження – розробка узагальненої гідродинамічної моделі формування стоку закритого горизонтального дренажу на фоні зрошення із закритої внутрішньогосподарської мережі на безстічних і слабодренованих землях, якими характеризуються водороздільні рівнини та приморські низовини сухостепової зони України.

Завданням дослідження є визначення: основних умов і факторів формування стоку горизонтального дренажу; структури притоку ґрунтової води до дрен при оптимальних міждренних відстанях закритої внутрішньогосподарської мережі; перспектив та напрямів подальших досліджень.

Матеріали і методи дослідження. В роботі узагальнені матеріали багаторічних досліджень проблемної Науково-дослідної лабораторії еколого-меліоративного моніторингу агроєкосистем сухостепової зони ім. професора Д.Г. Шапошникова Херсонського державного аграрно-економічного університету, Управління каналів Інгулецької зрошувальної системи, Снігурівської гідрогеолого-меліоративної партії за період 1975–2020 рр.

Основними методами досліджень є польові експерименти з різними варіантами параметрів закритого горизонтального дренажу на дослідно-виробничих ділянках (ДВД) Інгулецької зрошувальної системи, яка є типовою для водороздільних рівнин, та в зоні Північно-Кримського каналу, яка є типовою для приморських низовин. Типовість дослідно-виробничих ділянок для відповідних регіонів обґрунтована методом районування території [5; 15]. Застосовані методи системного

підходу і аналізу, індукції та дедукції, порівняння, аналітичного огляду наукової літератури [15]. Для визначення структури притоку ґрунтових вод до дрен застосовано метод електро-гідродинамічних аналогій (ЕГДА) на лабораторному інтеграторі ЕГДА 9/60 [13].

Результати дослідження та їх обговорення. На зрошуваних слабодренованих і безстічних територіях сухостепової зони основними факторами регулювання водного режиму зрошуваних земель є водоподача і водовідведення, яке здійснюється за допомогою штучного дренажу – горизонтального та вертикального. Закритий горизонтальний дренаж може застосовуватись на більшості зрошуваних земель для попередження і боротьби з їх підтопленням та вторинним засоленням ґрунтів.

Безстічні і слабодреновані землі сухостепової зони України при одношаровій побудові пласта четвертинних лесовидних еолово-делювіальних суглинків із коефіцієнтами фільтрації 0,2–0,7 м/добу характеризуються глибоким заляганням (15,0–20,0 м) водоопіру в червоно-бурих глинах (коефіцієнт фільтрації – 0,0001 м/добу) та середньо- і високомінералізованими ґрунтовими водами (Д.М. Кац, 1976) [5]. На рис. 1 представлені основні гідрогеологічні умови (геофільтраційні схеми), якими характеризуються водороздільні рівнини та приморські низовини сухостепової зони України [5].

Системи закритого горизонтального дренажу почали будувати на півдні України з середини 60-х років минулого століття. Найбільш активних масштабів будівництво горизонтального дренажу набуло в 70-ті, 80-ті роки в Миколаївській, Херсонській, Одеській та АР Крим на Інгулецькій, Краснознам'янській, Татарбунарській, Дунай-Дністровській зрошувальних системах та в зоні Північно – Кримського каналу.

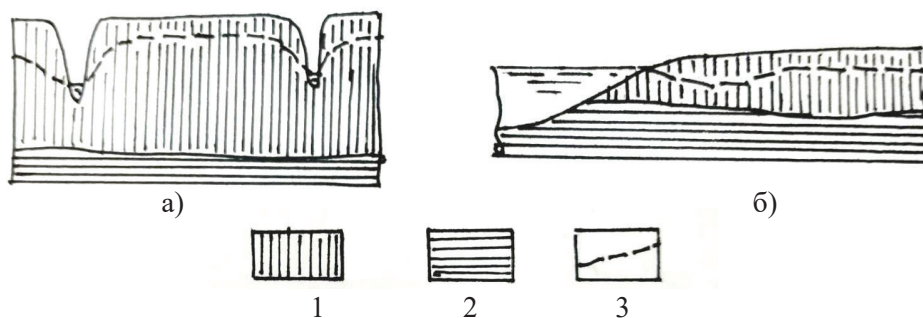


Рис. 1. Основні типи гідрогеологічних умов зрошуваних масивів сухостепової зони України: а – водороздільні рівнини; б – приморські низовини; 1 – еолово-делювіальні лесовидні суглинки; 2 – водоопірні породи (глини); 3 – рівень ґрунтових вод

Джерело: [5]

В дослідженнях, спрямованих на підвищення ефективності закритого горизонтального дренажу, ключове місце займає дренажний стік, який становить собою відведення залишкової гравітаційної води із зони аерації та зони насичення за допомогою дренажної системи. Умови і фактори формування стоку горизонтального дренажу є інформаційною основою при визначенні оптимальних параметрів дренажу та режиму його функціонування.

При визначенні оптимальних параметрів закритого горизонтального дренажу і структури притоку ґрунтової води до дрен у відповідних гідрогеологічних і водогосподарських умовах необхідна узагальнена модель формування дренажного стоку. Для одержання такої моделі на паперовій електричній моделі профільного потоку на інтеграторі ЕГДА 9/60 будувалась гідродинамічна сітка з визначенням на ній розрахункових смуг у придренній зоні для середньобагаторічних умов всіх вивчаємих варіантів із різними міждренними відстанями (240 м, 300 м, 400 м) та середній глибині закладки дрен – 3,0 м (рис. 2). В розрахунках електричної моделі застосовували дані багаторічних досліджень на ДВД горизонтального дренажу.

При даних параметрах дренажу умовах напір ґрунтових вод над дренаю дорівнював 0,5; 0,6 і 0,8 м, що відповідає найбільш розпов-

сюдженому діапазону режиму роботи горизонтального дренажу в сухостеповій зоні України. При інфільтраційному живленні ґрунтових вод їх рух до дрен відмічається в придренній зоні як у горизонтальному, так і вертикальному напрямку. На значній площі міждрення, яке займає близько 80%, відбувається вертикальне переміщення ґрунтових вод, яке пов'язане з гравітацією та гідростатичним тиском інфільтраційних вод. По мірі заглиблення та приближення до дрен низхідні потоки ґрунтової води починають горизонтально переміщуватися в напрямку до дрен (рис. 2).

Враховуючи незначну відмінність у густині ліній току у дрен, а відповідно, і у притоці ґрунтової води до дрени, при всіх досліджуємих відстанях між дренами, які є найбільш поширеними і перспективними для сухостепової зони, можливо уявити загальну схему (модель) формування дренажних вод при функціонуванні закритого горизонтального дренажу. Дана модель необхідна для виявлення кількості ґрунтової води, яка поступає з різних шарів зони насичення, а також для прогнозів впливу багаторічного зрошення і дренажу на еколого-меліоративний стан земель.

При гідродинамічних розрахунках був застосований методичний підхід, запропонований І.К. Дуїоновим (1978) [13], згідно з яким рух потоку ґрунтових вод розглядається в 3-х шаровому просторі (рис. 2г):

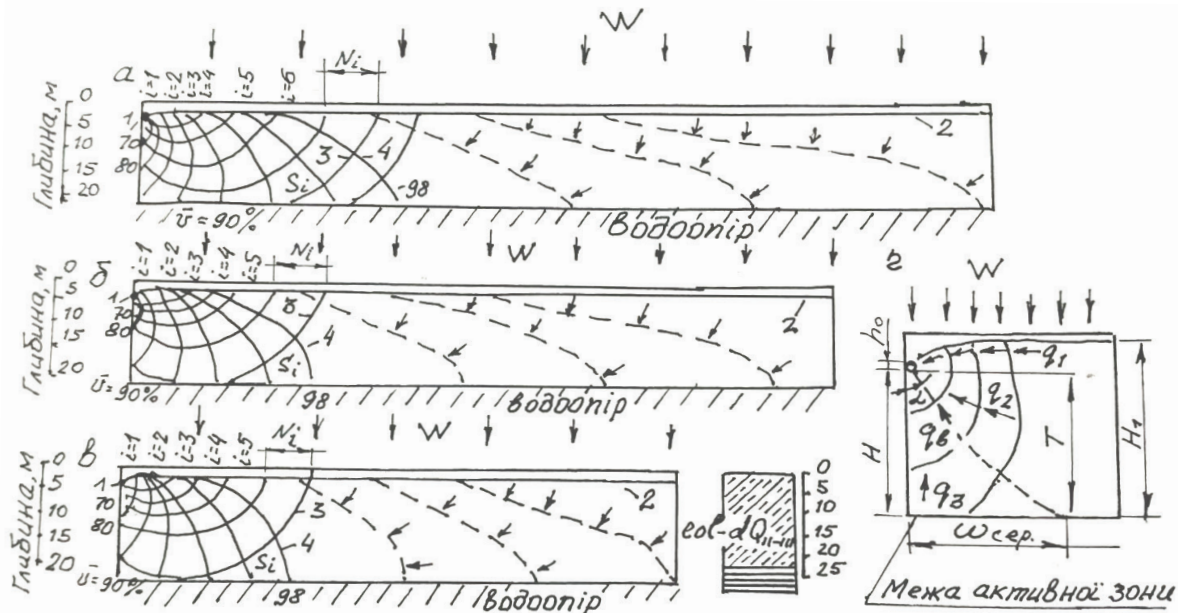


Рис. 2. Гідродинамічна сітка дренажного потоку ґрунтових вод при їх інфільтраційному живленні (W) та різних міждренних відстанях: міждренна відстань: а – 400 м; б – 300 м; в – 240 м; г – основна схема живлення горизонтального дренажу; 1 – дрена; 2 – рівень ґрунтових вод; 3 – лінії току; 4 – лінії рівних потенціалів течії ґрунтових вод

– 1 – вище дна дрени – потік ґрунтових вод під дією гідравлічного ухилу рухається в горизонтальному напрямі до дрени – q_1 ;

– 2 – нижче дна дрени – потік рухається в горизонтальному напрямі під дією аналогічного гідравлічного ухилу до дрени – q_2 ;

– 3 – під дном дрени – висхідний потік ґрунтових вод під дією п'єзометричного тиску рухається неширокою смугою в напрямі до дрени – q_3 .

При аналізі живлення горизонтального дренажу введені означення:

– Q – приток до 1,0 м дрени з одного боку;

– B – половина міждренної відстані;

– h – напір ґрунтових вод у середині міждренної відстані;

– h_0 – наповнення води в дрени ($h_0 = 0,4 - 0,5 d_{др}$);

– $d_{др}$ – діаметр дрени;

– T – потужність активної зони, під якою розуміється такий шар води, по якому відбувається приток води до дрени та в якому відображається вплив інфільтраційного живлення на зміну п'єзометричного напору. В даній схемі T , як це доведено в роботах [13; 14] та підтверджено результатами даних досліджень, не перевищує подвійної – потрійної глибини закладання дрени і приймається рівною 9–10 м;

– H – п'єзометричний напір на глибині T під дном дрени;

– H_1 – п'єзометричний напір у середині міждрення;

– $\omega_{сеп}$ – ширина висхідного потоку води до дрени на межі активної зони формування дренажного стоку;

– W – інтенсивність інфільтраційного живлення ґрунтових вод, що визначається польовими водобалансовими в т. ч. лізиметричними дослідженнями.

Приток ґрунтової води до 1,0 п.м дрени, з одного боку, згідно зі схемою (рис. 2г), буде дорівнювати [10]:

$$Q = q_1 + q_e \quad (1)$$

де:

$$q_e = q_2 + q_3 \quad (2)$$

Відповідно:

$$Q = q_1 + q_e + q_3 \quad (3)$$

де:

$$q_1 = \frac{K \times (h^2 - h_0^2)}{B} \quad (4)$$

$$q_2 = \frac{2 \times k \times T (h - h_0)}{B} \quad (5)$$

$$q_e = q_2 + q_3 = K \times \omega_{сеп} \frac{H - T}{T}, \quad (6)$$

де K – коефіцієнт фільтрації ґрунту, середнє значення – 0,45 м/добу.

$$Q = K \frac{(h^2 - h_0^2)}{B} + K \times \omega_{сеп} \times \frac{H - T}{T}. \quad (7)$$

Отже, при визначеному в результаті досліджень Q , можливо одержати значення q_3 :

$$q_3 = Q - (q_1 + q_2). \quad (8)$$

При відомих значеннях q_2 і q_3 можливо одержати середню смугу висхідного потоку до дрени на межі активної зони $\omega_{сеп}$:

$$\omega_{сеп} = \frac{T \times (q_2 + q_3)}{K \times (H - T)}. \quad (9)$$

Поблизу дрени лінії рівного напору становлять собою дуги концентричних окружностей, тому $\omega_{сеп}$ може визначатися [10] із залежності:

$$\omega_{сеп} = T \times tg \alpha, \quad (10)$$

звідки:

$$tg \alpha = \frac{\omega_{сеп}}{T}, \quad (11)$$

де: α – кут, обмежений вертикальною лінією, що проходить через вісь дрени, та лінією, що огинає зону висхідного потоку q_e під дном дрени.

Узагальнені результати досліджень та розрахунків притоку води, яка поступає в дрени з різних шарів ґрунтових вод, наведені в табл. 1.

Аналіз результатів досліджень та розрахунків показує, що на варіантах із міждренною відстанню $B=400$ м середньобаторічне значення модуля дренажного стоку в не вегетаційний період дорівнює 0,03 л/с з 1 га, що відповідає притоку до дрени з одного боку $Q = 0,05$ м³/добу до 1,0 п. м. При $h = 0,76$ м і $h_0 = 0,05$ м q_1 , визначене за формулою 4, дорівнює 0,001 м³/добу до 1,0 п.м дрени. За формулами 5 і 8 визначені значення q_2 і q_3 , а також їх значення у відсотках від Q . За формулами 9 і 11 визначені $\omega_{сеп}$ та α . В таблиці наведені результати розрахунків витрат води, яка поступає у дрени в характерні періоди року для середньобаторічних кліматичних і водогосподарських умов.

Важливо відзначити, що при різних міждренних відстанях принципових відмінностей між одержаними величинами притоку до дрени та співвідношеннями ґрунтової води, яка поступає у дрени в різні за водністю роки і періоди досліджень, не виявлено.

Аналіз просторової гідродинамічної моделі формування дренажного стоку показує, що

1. Розрахунок притоку води, яка поступає у дрени з різних шарів ґрунтових вод у невегетаційні (Н) та у вегетаційні (В) періоди року

Міждренна відстань	Період року	q , л/с з 1 га	Приток, м ³ /добу до 1 м дрени				Приток, % від Q				$\omega_{\text{сєр}}$, м	α , град.
			Q	q_1	q_2	q_3	q_1	q_2	q_3	$q_2 + q_3$		
240	Н	0,019	0,022	0,001	0,015	0,006	4,5	68,2	27,3	95,5	14,0	57
	В	0,027	0,028	0,001	0,024	0,008	3,6	85,7	10,7	96,4	13,5	56
	за рік	0,023	0,024	0,001	0,020	0,007	4,2	83,3	12,3	95,8	13,8	59
300	Н	0,028	0,036	0,001	0,022	0,013	2,8	61,1	36,1	97,2	14,0	57
	В	0,029	0,038	0,001	0,023	0,014	2,6	60,6	36,8	97,4	14,8	58
	за рік	0,028	0,036	0,001	0,022	0,013	2,7	60,8	36,3	97,1	14,0	57
400	Н	0,041	0,062	0,003	0,042	0,017	4,8	67,7	27,5	95,2	19,7	65
	В	0,043	0,065	0,003	0,044	0,018	4,6	67,7	27,7	95,4	18,9	64
	за рік	0,042	0,063	0,003	0,043	0,017	4,7	67,7	27,6	95,3	19,3	65

при всіх вивчаємих діапазонах міждренної відстані 240–400 м приток із зони вище дна дрени складає всього 2,6–4,8% від загального притоку дрени. Висхідний потік під дном дрени q_0 , що попадає до неї під середнім кутом $\alpha_{\text{сєр}} = 60^\circ$, складає на всіх вивчаємих варіантах горизонтального дренажу 95,2–97,2% загального притоку. При міждренних відстанях менше ніж 240 м відмічається більш висока питома вага притоку до дрени в горизонтальному напрямі нижче дна дрени (q_2). При збільшенні відстані між дренами до 300–400 м значення q_2 зменшуються при відповідному збільшенні висхідного потоку під дном дрени (q_3). Середня ширина висхідного потоку до дрени ($\omega_{\text{сєр}}$) на межі активної зони дорівнює 13,0–20,0 м.

Результати розрахунків притоку води до дрен, що одержані при вивченні гідродинамічних схем функціонування закритого горизонтального дренажу, показують, що в дрени глибиною в середньому 3,0 м, при всіх вивчаємих відстанях між дренами поступає незначна частина інфільтраційних вод, а основна маса ґрунтових вод поступає з нищезалягаючих горизонтів середньо – та більш високомінералізованих ґрунтових вод товщі, що знаходяться на 9,0–10,0 м нижче дрен.

В дослідженнях функціонування закритого горизонтального дренажу і розрахунках щодо збільшення міждренних відстаней при переході на закриту внутрішньогосподарську зрошувальну мережу слід враховувати дренажну дію колекторів – дрен, які формують значну кількість сумарного колекторно – дренажного стоку та у відповідні періоди року залишають дрени, особливо їх верхову частину, сухими

Ці особливості формування дренажного стоку можуть бути використані при розрахунках оптимальних параметрів горизонтального

дренажу в процесі його проектування, в прогнозних розрахунках ефективності функціонування горизонтального дренажу, при оцінці можливості використання дренажних вод для зрошення, а також при оцінюванні технічної та меліоративної ефективності дренажу в процесі його багаторічної експлуатації.

Узагальнення результатів досліджень водного балансу в умовах закритої водогосподарської зрошувальної мережі і горизонтального дренажу показує, що для середньобагаторічних умов формування дренажного стоку при сумарній кількості води, що поступає на 1 га, 7500–7700 м³/га (середнє – 7600 м³/га) ведення при оптимальних параметрах і режимі роботи горизонтального дренажу та нормативному технічному стані дренажних систем досягає 1100–1300 м³ з 1 га (середнє 1200 м³ з 1 га або 0,040 л/с з 1 га) і складає в середньому 15,0% від кількості води, що поступає на 1 га.

Загалом, в сухостеповій зоні на слабодренуваних та безстічних землях середньобагаторічний дренажний стік в умовах закритої внутрішньогосподарської зрошувальної мережі при питомій протяжності горизонтального дренажу 25–42 погонних метра на 1 га, при відсутності відтоку в гідрографічну мережу, складає 12–20% від сумарної кількості води, яка поступає на 1 га. Враховуючи одержані дані можливо стверджувати, що дренажний стік формується, в основному, під впливом інфільтраційного живлення ґрунтових вод атмосферними опадами і поливами (близько 60%) та фільтрації з каналів (40%).

В середньобагаторічному розрізі основними джерелами, що формують режим ґрунтових вод і дренажного стоку на ділянках із горизонтальним дренажем в умовах змін клімату, є атмосферні опади 420,0 мм або

55,0% приходної частини, зрошувальна вода – 340,0 мм або 45,0% приходної частини водного балансу, в тому числі 266,0 мм або 35,0% від поливів і 75,0 мм або 10% від фільтрації із зрошувальних каналів.

Основними витратними статтями водного балансу зрошуваних із закритої водогосподарської мережі та дренажних земель є: сумарне випаровування – 614 мм або 81,0% витратної частини, дренажний стік – 126 мм або 16,5% витратної частини та випаровування з ґрунтових вод – 18,0 мм або 2,4% витратної частини. Для дренажного стоку закритого горизонтального дренажу при іригаційно-кліматичному режимі ґрунтових вод характерним є пік у період вегетаційних поливів і спад в осінне – зимовий період. Дренажний стік складає – 80–90% всіх витрат ґрунтових вод при всіх міждренних відстанях.

Модулі дренажного стоку ефективно працюючого горизонтального дренажу змінюються в широкому діапазоні 0,010–0,090 л/с з 1 га, максимальні їх значення відрізняються в багатоводні по забезпеченості атмосферними опадами роки. При підтримці нижнього порога вологості зрошуваних ґрунтів 0,7–0,8 НВ дренажний стік забезпечують відведення ґрунтових вод в солей з активної товщі ґрунтів та ґрунтоутворних порід (в основному це еолово-делювіальні, середні лесові суглинки з коефіцієнтами фільтрації 0,3–0,5 м/добу), зниження рівня ґрунтових вод до 2,0–2,9 м.

Вищенаведені результати польових і лабораторних досліджень, а також виявлені перерви в дії горизонтального дренажу з питомою протяжністю дрен 30–45 п. м. на 1 га свідчать про можливість збільшення відповідних міждренних відстаней на закритій внутрішньогосподарській зрошувальній мережі на 10–20% і більше, тобто з 120–150 м до 200–400 м. В умовах розрідження дренажної мережі до 25–30 п. м. на 1 га збільшення міждренної відстані середньорічний модуль дренажного стоку може досягати 0,040–0,080 л/с з 1 га.

При переході на закриту внутрішньогосподарську зрошувальну мережу з поливом сучасною дощувальною технікою середньорічний модуль дренажного стоку знижується порівняно з умовами поливу з відкритою зрошувальною мережі і складає в середньому 0,040 л/с з 1 га. Максимальні значення модуля до 0,10 л/с з 1 га відмічаються в період піку вегетаційних поливів в багатоводні по забезпеченості атмосферними водами роки ($P = 5–20\%$), мінімальні значення – 0,005–0,010 л/с з 1 га в осінньо-зимовий період маловодних років ($P = 70–80\%$).

Для визначення терміну функціонування горизонтального дренажу, його фільтра може бути корисна така інформація. В 2013 р. були проведені розкопки азбестоцементної дрени на ДВД в КСП «Баратівське», які показали технічну цілісність базальтового фільтра на дрени, що функціонувала більше 45 років. В 2013 р. був також обстежений технічний стан дрен (азбестоцементних, гончарних і ПВХ) на ДВД в КСП «Україна» в Кримському Присивашші, який показав, що дрени та їх фільтри працювали майже 40 років в проектному режимі, це дозволяє зробити висновок, що горизонтальний дренаж, побудований без технічних порушень, спроможний працювати в проектному режимі понад 40–45 років.

Перспективи подальших досліджень.

При обґрунтуванні оптимальних параметрів і режимів роботи закритого горизонтального дренажу на слабодренуваних і безстічних зрошуваних землях водороздільних рівнин та приморських низовин сухостепової зони України актуальними питаннями подальших досліджень є: розробка гідрогеохімічних моделей формування дренажних вод у різних за складністю гідрогеохімічних умовах; розробка та апробація методів прогнозів мінералізації та хімічного складу дренажних вод, у тому числі методів водного і сольового балансів, нейронних мереж та ГІС – технологій; питання нормування дренажного гідро-хімічного стоку; розвиток методів досліджень водного і сольового балансу зрошуваних дренажних земель; оптимізація еколого-меліоративного режиму зрошуваних ландшафтів; розробка і впровадження експертних систем еколого-меліоративного моніторингу зрошуваних земель, включаючи формування бази даних і бази знань; розробка науково-методичних рекомендацій щодо впровадження результатів досліджень ефективності дренажу при реконструкції, модернізації, проектуванні, будівництві та експлуатації систем горизонтального дренажу в умовах змін клімату та вдосконалення гідромеліоративних систем.

Висновки. Сухостепова зона України, в якій зосереджена найбільша кількість зрошуваних територій, характеризується основними геоморфологічними умовами – водороздільними рівнинами та приморськими низовинами з безстічними і слабодренуваними землями. При обґрунтуванні оптимальних параметрів і режимів роботи закритого горизонтального дренажу необхідне визначення умов і факторів формування дренажного стоку та

розробка гідродинамічної моделі формування дренажного стоку в умовах закритої внутрішньогосподарської зрошувальної мережі.

На безстічних і слабодренованих землях сухостепової зони України дренажний стік, в основному, формується під впливом інфільтраційного живлення ґрунтових вод атмосферними опадами і поливами (близько 60%) та фільтрації з каналів (40%).

Основна маса ґрунтових вод поступає в дренажні труби з товщі, що залягає на 9,0–10,0 м нижче дрени. Дренажний стік на 95% формується за рахунок висхідного потоку ґрунтових вод, що поступає в дрени під кутом 60°. Середня ширина висхідного потоку на нижній межі активності товщі ґрунтових вод дорівнює 13,0–20,0 м.

Для дренажного стоку закритого горизонтального дренажу при іригаційно-кліматичному режимі ґрунтових вод характерним є пік у період вегетаційних поливів і спад в осінне – зимовий період. Дренажний стік складає – 80–90% всіх витрат ґрунтових вод при збільшенні міждренних відстаней в умовах закритої внутрішньогосподарської мережі з 120–150 до 200–400 м.

Перспективним напрямом подальших досліджень, спрямованих на підвищення технічної та еколого-меліоративної ефективності закритого горизонтального дренажу, є розробка експертних систем еколого-меліоративного моніторингу, які включають формування бази даних і бази знань (в тому числі моделі і прогнози) з урахуванням всіх особливостей функціонування дренажу в умовах зрошення.

Бібліографія

1. Стратегія зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 року: схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 14.08.2019 р. № 688-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/688-2019-p#Text>
2. Костяков А.Н. Основы мелиораций: 6-е изд., перераб. и доп. Москва : Сельхозизд, 1960. 622 с.
3. Аверьянов С.Ф. Борьба с засолением орошаемых земель. Москва : Колос, 1978. 288 с.
4. Олейник А.Я., Насиковский В.П., Шапран В.Я. Методы расчета мелиоративного дренажа в сложных гидрогеологических условиях: пособие к расчетам. Киев, 1975. 21 с.
5. Кац Д.М. Влияние орошения на грунтовые воды. Москва : Колос, 1976. 272 с.
6. Олейник А.Я. Геогидродинамика дренажа. Киев : Наукова думка, 1984. 284 с.
7. Поляков В.Л. Расчет неустановившегося действия мелиоративного дренажа с углубленным учетом влияния зоны аэрации и инфильтрации. *Гидродинамика и акустика*. Киев, 2018. Том 1(91), № 1, С. 53–69.
8. Розрахунок і проектування дренажу на зрошувальних системах : навч. посіб. / Доценко В.І. та ін. Дніпро : ДДАЕУ, 2018. 270 с.
9. Тупицын Б.А., Морозов В.В., Колесников В.В., Асатрян В.Т. Причины и условия формирования дренажного стока на орошаемых землях юга Украины. / Тупицын Б.А. та ін. В кн.: *Совершенствования водохозяйственного водоснабжения, гидротехнических сооружений и гидравлических расчетов мелиоративных систем. Тр. Кишиневского с.-х. института*, Кишинев, 1978, С. 119–124.
10. Козленко Є.В., Морозов О.В., Морозов В.В. Інгулецька зрошувальна система: стан, проблеми та перспективи розвитку : монографія / за ред. О.В. Морозова. Херсон : Айлант, 2020. 204 с.
11. Савчук Д., Шевченко А., Бабіцька О., Котикович І., Харламов О., Землянська Д. Особливості відновлення дренажних систем. / Савчук Д. та ін. *Управління водними ресурсами в умовах змін клімату* : матеріали всеукр. наук.-практ. конф. (м. Київ, 21 берез. 2017 р.). Київ, 2017. С. 240–241.
12. Савчук Д.П., Харламов О.І., Котикович І.В. Горизонтальний дренаж на фоні зрошення дощувальною машиною «Фрегат». *Водне господарство України*. 2019, № 1–2. С. 12–18.
13. Дуюнов И.К. Мелиорация земель в условиях напорного питания грунтовых вод. Москва : Колос, 1978. 191 с.
14. Ковда В.А. Почвенный покров, его улучшение, использование и охрана. Москва : Наука, 1981. 183 с.
15. Морозов В.В. Ландшафтні меліорації: навч. посіб. Херсон : Вид-во ХДУ, 2007. 224 с.
16. Дудченко В.В., Корнбергер В.Г., Морозов В.В., Морозов О.В., Дудченко К.В. Рисові зрошувальні системи: використання дренажно-скидних вод : монографія / Дудченко В.В. та ін. Херсон : ФОП Грінь Д.С., 2016. 217 с.
17. Hoffman G. et al. Minimising salt in drain water by irrigation management // *Agricultural Water Management*, 1977, № 3, P. 233–252.

18. Meek B. et al. Chemical characterisation of the gaseous and liquid emiraments of subsurface drain systems. *Soil Se. Soc. America J.*, 1978, № 42, 5, P. 693–698.

References

1. Stratehiia zroshennia ta drenazhu v Ukraini na period do 2030 roku [Irrigation and drainage strategy in Ukraine until 2030.]: Skhvaleno rozporiadzhenniam Kabinetu Ministriv Ukrainy № 688-p. (2019, August 14). *Uriadovyi kurier*, 170. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/688-2019-%D1%80> [in Ukrainian]
2. Kostyakov, A.N. (1960). *Osnovy melioratsiy [Basics of reclamation]: 6-e izd., pererab. i dop.* Moskva : Selhozizd. [in Russian]
3. Averyanov, S.F. (1978). *Borba s zasoleniem oroshaemyih zemel [Combating salinization of irrigated lands].* Moskva : Kolos. [in Russian]
4. Oleynik, A.Ya., Nosikovskiy, V.P., & Shapran, V.Ya. (1975). *Metodyi rascheta meliorativnogo drenazha v slozhnyih gidrogeologicheskikh usloviy: posobie k raschetam [Methods for calculating reclamation drainage in difficult hydrogeological conditions: manual for calculations].* Kiev. [in Russian]
5. Kats, D.M. (1976). *Vliyanie orosheniya na gruntovyye vodyi [Impact of irrigation on groundwater].* Moskva : Kolos. [in Russian]
6. Oleynik, A.Ya. (1984). *Geogidrodinamika drenazha [Drainage geohydrodynamics].* Kiev : Naukova dumka. [in Russian]
7. Polyakov, V.L. (2018). *Raschet neustanovivshegosya deystviya meliorativnogo drenazha s uglublennym uchetom vliyaniya zonyi aeratsii i infiltratsii [Calculation of the unsteady action of ameliorative drainage with in-depth consideration of the influence of the zone of aeration and infiltration].* *Gidrodinamika i akustika*, Vol. 1(91), 1, 53–69. [in Russian]
8. Dotsenko, V.I., Kovalenko, V.V., Rudakov, L.M., & Tkachuk, T.I. (2018). *Rozrakhunok i proektuvannia drenazhu na zroshuvalnykh systemakh: navch. posib. [Calculation and design of drainage on irrigation systems: textbook. way].* Dnipro : DDAEU. [in Ukrainian]
9. Tupitsin, B.A., Morozov, V.V., Kolesnikov, V.V., & Asatryan, V.T. (1978). *Prichiny i usloviya formirovaniya drenazhnogo stoka na oroshaemyih zemlyah yuga Ukrainy [Reasons and conditions for the formation of drainage flow on irrigated lands in the south of Ukraine].* *Sovershenstvovaniya vodohozyaystvennogo vodospobzheniya, gidrotehnicheskikh sooruzheniy i gidravlicheskih raschetov meliorativnyih sistem.* Tr. Kishinevskogo s.-h. instituta, 119–124. [in Russian]
10. Kozlenko, Ye.V., Morozov, O.V., & Morozov, V.V. (2020). *Inhuletska zroshuvalna systema: stan, problemy ta perspektyvy rozvytku : monohrafiia [Ingulets irrigation system: state, problems and prospects of development : monograph].* Kherson : Ailant. [in Ukrainian]
11. Savchuk, D., Shevchenko, A., Babitska, O., Kostykovych, I., Kharlamov, O., & Zemlianska, D. (2017). *Osoblyvosti vidnovlennia drenazhnykh system [Features of restoration of drainage systems].* *Upravlinnia vodnymy resursamy v umovakh zmin klimatu : Vseukr. nauk.-prakt. konf. Kyiv*, 240–241. [in Ukrainian]
12. Savchuk, D.P., Kharlamov, O.I., & Kotykovych, I.V. (2019). *Horyzontalni drenazh na foni zroshennia doshchuvalnoiu mashynoiu “Frehat” [Horizontal drainage on the background of irrigation by sprinkler «Frigate»].* *Vodne hospodarstvo Ukrainy*, 1–2, 12–18. [in Ukrainian]
13. Duyunov, I.K. (1978). *Melioratsiya zemel v usloviyah napornogo pitaniya gruntovyih vod [Land reclamation in conditions of pressurized groundwater supply].* Moskva : Kolos. [in Russian]
14. Kovda, V.A. (1981). *Pochvennyi pokrov, ego uluchshenie, ispolzovanie i ohrana [Soil cover, its improvement, use and protection].* Moskva : Nauka. [in Russian]
15. Morozov, V.V. (2007). *Landshaftni melioratsii: navch. posib. [Landscape reclamation : textbook. way].* Kherson : Vyd-vo KhDU. [in Ukrainian]
16. Dudchenko, V.V., Kornberher, V.H., Morozov, V.V., Morozov, O.V., & Dudchenko, K.V. (2016). *Rysovi zroshuvalni systemy: vykorystannia drenazhno-skydnykh vod : monohrafiia [Rice irrigation systems: the use of drainage and wastewater : monograph].* Kherson : FOP Hrin D.S. [in Ukrainian]
17. Hoffman, G. et al. (1977). *Minimising salt in drain water by irrigation manadgement – Agricultural [Minimising salt in drain water by irrigation manadgement – Agricultural].* *Water Management*, 3, 233–252. [in English]
18. Meek, B. (1978). *Chemical characterisation of the gaseous and liquid emiraments of subsurface drain systems [Chemical characterisation of the gaseous and liquid emiraments of subsurface drain systems].* *Soil Sc. Soc. America J.* 42, 5, 693–698. [in English]

В.В. Морозов, А.В. Морозов, Е.В. Козленко
Гидродинамическая модель формирования стока
горизонтального дренажа в условиях бессточных
и слабодренированных орошаемых земель сухостепной зоны Украины

Аннотация. В статье приведены результаты исследований, на основе которых получена гидродинамическая модель формирования дренажного стока закрытого горизонтального дренажа на бессточных и слабодренированных орошаемых землях в сухостепной зоне Украины. Актуальность исследований заключается в их необходимости при проектировании систем горизонтального дренажа, определении оптимальных междренних расстояний, режимов функционирования и оценки эффективности дренажа при его эксплуатации в условиях орошения современной дождевальной техникой из закрытой внутрихозяйственной сети. Цель исследования – разработка обобщенной гидродинамической модели формирования стока закрытого горизонтального дренажа на фоне орошения из закрытой внутрихозяйственной сети на бессточных и слабодренированных землях, которыми характеризуются водораздельные равнины и приморские низменности сухостепной зоны Украины. Задачи исследования: определение основных условий и факторов формирования стока горизонтального дренажа; определение структуры притока грунтовых вод к дрене при оптимальных междренних расстояниях в условиях закрытой внутрихозяйственной сети; определение перспектив и направлений дальнейших исследований. Методы и методика исследования: многолетние (1975–2020 гг.) полевые опыты на дренажных участках с различными междренними расстояниями в типичных гидрогеологических условиях для водораздельных массивов и приморских низменностей; водобалансовые исследования; теоретические методы исследования (анализ и синтез, сравнение, обобщение, районирование) для определения структуры притока грунтовых вод к дрене применен метод электро-гидродинамических аналогий на лабораторном интеграторе ЭГДА 9/60. В результате исследования установлено, что в условиях закрытой водохозяйственной сети возможно увеличение междренних расстояний от 120–220 м до 240–400 м. При всех изучаемых природно-технических условиях бессточных и слабодренированных водораздельных равнин и приморских низменностей основными источниками, формирующими режим грунтовых вод и дренажного стока, являются атмосферные осадки 420 мм или 55,0% приходной части водного баланса, оросительная вода – 340 мм или 45,0% приходной части, в том числе 266 мм или 35,0% от поливов и 75 мм или 10,0% от фильтрации из каналов. Анализ гидродинамической модели формирования дренажного стока показывает, что при дренажных расстояниях 240–400 м приток из зоны выше дна дрены составляет 2,6–4,8% от общего притока в дрены. Восходящий поток под дном дрены попадает в нее под средним углом 60° и составляет при всех изучаемых вариантах 95,2–97,2% от общего притока. При увеличении расстояния между дренами от 240 до 300–400 м горизонтальный приток из зоны ниже дна дрены уменьшается при соответствующем увеличении восходящего потока под дном дрены. Средняя ширина восходящего потока в дрены на грани активной зоны грунтовых вод (9,0–10,0 м ниже дрен) равна 13,0–20,0 м. Полученная модель дополняет существующую теоретико-методическую базу знаний для проектирования горизонтального дренажа и необходима в перспективных исследованиях по формированию экспертных систем для оптимизации параметров и режимов функционирования орошения и дренажа в условиях современной широкозахватной дождевальной техники с поливом из закрытой внутрихозяйственной сети.

Ключевые слова: орошение, дренаж горизонтальный, формирование дренажного стока, гидродинамическая модель, сухостепная зона

V.V. Morozov, O.V. Morozov, Y.V. Kozlenko

Hydrodynamic model of the formation of horizontal drainage runoff on drainless and slightly drained irrigated lands in the dry steppe zone of Ukraine

Abstract. The article presents the results of the research, which are the basis of making a hydrodynamic model of the formation of drainage runoff of closed horizontal drainage on drainless and slightly drained irrigated lands in the dry steppe zone of Ukraine. The relevance of the research is in their need when designing the systems of horizontal drainage, determining drain spacing, modes of operation and the evaluation of drainage efficiency during its operation when irrigating with the use of modern sprinklers from a closed farm network. The objective of the research is to develop a generalized hydrodynamic model of formation of closed horizontal drainage runoff when irrigating from a closed farm network on drainless and slightly drained lands, which are typical for the watershed plains and coastal lowlands of the dry steppe zone of Ukraine. The task of the research to determine the basic conditions and factors of formation of horizontal drainage runoff, to specify the structure of groundwater inflow to the drains when having optimal drain spacing in the closed farm network and to define the prospects and areas of further research. Research methods and techniques: long-term (1975–2020) field experiments on drained areas with different drain spacing in typical hydrogeological conditions for watersheds and

coastal lowlands; water balance studies; theoretical research methods (analysis and synthesis, comparison, generalization, zoning); to determine the structure of groundwater inflow to the drains, the method of electrohydrodynamic analogies when using the laboratory integrator EGDA 9/60 was applied. As a result of the research it was determined that in the conditions of a closed water farm network it is possible to increase drain spacing from 120–220 m to 240–400 m. When studying all the conditions of drainless and slightly drained watershed plains and coastal lowlands, the main sources forming the regime of groundwater and drainage runoff are the precipitation of 420 mm or 55.0% of water input, irrigation water – 340 mm or 45.0%, including 266 mm or 35.0% from irrigation and 75 mm or 10.0% from filtration from the canals. The analysis of the hydrodynamic model of drainage runoff formation shows that when having drain spacing as 240–400 m, the inflow from the zone located above the bottom of the drain is 2.6–4.8% of the total inflow to the drain. The ascending flow under the bottom of the drain enters it at an average angle of 60° and in all variants of drain spacing is 95.2–97.2% of the total inflow. When drain spacing increases from 240 to 300–400 m, the horizontal inflow from the area located below the bottom of the drain decreases with a corresponding increase in the ascending flow under the bottom of the drain. The average width of the ascending flow to the drain at the edge of the active zone of groundwater (9.0–10.0 m below the drain) is 13.0–20.0 m. The resulting model complements the existing theoretical and methodological knowledge base for designing horizontal drainage and is necessary in perspective researches on the formation of expert systems for optimization of the parameters and modes of irrigation and drainage functioning when applying modern broadcast sprinkler equipment irrigating from the closed farm network.

Key words: irrigation, horizontal drainage, drainage runoff formation, hydrodynamic model, dry steppe zone

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202101-266>Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/266>

УДК 631.671:633.34

ВПЛИВ ВОДНОГО СТРЕСУ НА ЕВАПОТРАНСPIРАЦІЮ СОЇ

О.В. Журавльов¹, канд. с.-г. наук, А.П. Шатковський², докт. с.-г. наук,
В.В. Васюта³, докт. с.-г. наук¹ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0001-7035-219X>; e-mail: zhuravlov_olexandr@ukr.net;² Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-4366-0397>; e-mail: andriy-1804@ukr.net;³ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0001-7786-1843>; e-mail: v.vladvir1@gmail.com

Анотація. За результатами спостережень встановлено, що при зниженні вологості ґрунту відбувається непропорційне зменшення середньодобової евапотранспірації (ЕТс). Так, в інтервалі вологості ґрунту 94–80% від НВ ЕТс становила 9,76 мм/добу, а 70–62% НВ – її величина зменшувалася в 3 рази. За досягнення вологості ґрунту 58,5% НВ величина ЕТс не перевищувала 0,5 мм/добу, що в 20 разів менше за початкову. Встановлено, що зниження вологості ґрунту на 10% НВ в інтервалі 90–70% НВ відбувається за 3 доби, а з 70 до 60% НВ та з 60 до 58% НВ – за 8 діб. За вологості ґрунту 70% НВ і нижче фактична евапотранспірація менша за ЕТ₀, що підтверджує вплив водного стресу на евапотранспірацію рослин сої. За розрахунками коефіцієнту водного стресу (K_s) отримано математичну модель на основі залежності K_s від вологості ґрунту у відсотках від найменшої вологості. Середня абсолютна відсоткова похибка (МАРЕ) моделі становить 8,6%, що відповідає високій точності отриманої залежності. У діапазоні вологості ґрунту від 58 до 80% НВ коефіцієнт водного стресу розраховується за формулою: $K_s = -0,0011 \cdot НВ^2 + 0,1925 \cdot НВ - 7,4541$. За вологості ґрунту 80% НВ і вище $K_s = 1$. Проведено комплексну порівняльну оцінку існуючих методів розрахунку коефіцієнта водного стресу K_s та встановлено, що фактичні значення K_s за вологості ґрунту 80–70 і 60–65% від НВ на 8–14% та 72–32%, відповідно, менші, ніж K_s FAO 56, та на 35–40% більші за визначення методом Saxton. Підтверджено необхідність врахувати зниження евапотранспірації при розрахунку водного балансу в умовах водного стресу рослин. Розрахунок евапотранспірації (ЕТс) методом Penman-Monteith, без урахування коефіцієнта водного стресу показав, що величина фактичного та розрахункового водного балансу співпадає лише до рівня вологості ґрунту 62% НВ. За подальшого зниження вологості ґрунту розрахункова вологість ґрунту була на 20% НВ нижчою за фактичну, що призвело до похибок при визначенні вологості ґрунту після поливів, оскільки фактична її величина дорівнювала майже 100% НВ, а розрахункова – 60% від НВ. Доведено, що визначення водного балансу розрахунковими методами без урахування коефіцієнта водного стресу призводить до значних помилок. Отже, при розрахунках евапотранспірації рослин сої необхідно враховувати вплив водного стресу.

Ключові слова: коефіцієнт водного стресу, евапотранспірація, метод Penman-Monteith, водний баланс, соя

Постановка проблеми. Оперативне і точне визначення часу початку поливу є дуже важливим із точки зору підтримання оптимального водного режиму ґрунту, що запобігає виникненню водного стресу рослин. Стан водного стресу в рослинах настає, коли запаси води в ґрунті не забезпечують умови їх нормального росту і розвитку. Тому для прогнозування та оперативного управління водним режимом ґрунту необхідно застосовувати моделі, які б адекватно описували стан водного стресу залежно від інтенсивності евапотранспірації (ЕТс) рослин. Це дозволить при розрахунку водного балансу враховувати вплив водного стресу на величину транспірації рослин [1].

Транспірація залежить від метеопараметрів, вологості ґрунту та виду культури. Поширеним підходом щодо моделювання ЕТс є обчислення потенційної евапотранспірації ($ET_{potential}$), яка є вихідною величиною для визначення фактичної евапотранспірації (ET_{actual}) на основі функції вологості ґрунту $f(\beta)$ [2; 3; 4; 5; 6].

$$ET_{actual} = f(\beta) \cdot ET_{potential}, \quad (1)$$

де ET_{actual} – фактична евапотранспірація, мм;
 $f(\beta)$ – функція вологості ґрунту; $ET_{potential}$ – потенціальна евапотранспірація, мм.

Потенційна евапотранспірація виникає за умови наявності необхідної кількості води, достатньої для нормального росту і розвитку

суцільного рослинного покриву. За відношення $E_{Tactual}/E_{Tpotential}$ близькому до одиниці рослини оптимально забезпечені ґрунтовою вологою, продихи максимально відкриті і рослини здатні активно регулювати свій водообмін на високому рівні. У разі, коли відношення $E_{Tactual}/E_{Tpotential}$ менше за 1, рослини починають відчувати водний стрес. Продихи поступово закриваються і рослина переходить у фізіологічний стан економії води та гальмує активний ріст вегетативної маси. За використання близько 50% доступної води в ґрунті спостерігається зниження евапотранспірації, а за вологості ґрунту, яка дорівнює точці в'янення, вона практично припиняється [7; 8].

Дослідженнями евапотранспірації ячменю за збільшення дефіциту води в ґрунті [9] встановлено, що транспірація є величиною відносно стабільною до того моменту, поки дефіцит не перевищить 65% від об'єму доступної води в зоні кореневої системи. Залежно від ступеня та тривалості водного стресу зниження транспірації становило 11–40%, де більша частина її зменшення викликала підвищення опору продихів. Дослідженнями водного стресу низки інших культур встановлено, що зниження E_{Tc} чаберу запашного, залежно від умов водного стресу, становило 14–37% [10], сої – 19–66% [11], цибулі ріпчастої – 15–30% [12], кукурудзи на зерно – 7–39% [13] та пшениці озимої – 8–30% [14].

Моделювання евапотранспірації показало, що прогнозування транспірації на основі тільки середньої вологості ґрунту в зоні кореневої системи може бути надмірним спрощенням, особливо за умови, що рослини можуть компенсувати нестачу води за умови розміщення коріння у сухому ґрунті [15; 17]. Тому контроль E_{Tc} при обліку середньої вологості ґрунту повинен бути максимально точним і, відповідно, модель слід розглядати як гіпотезу, яку необхідно перевірити [16; 17].

Актуальність дослідження. В Україні соя є стратегічною культурою. Посівні площі у 2018 р. становили понад 1,7 млн га [18], що

складає біля 18% від загальної площі всіх технічних сільськогосподарських культур. Один із факторів високої продуктивності культури на зрошенні є контроль евапотранспірації.

На сьогодні великого поширення визначення евапотранспірації набув розрахунковий метод Penman-Monteith [19; 23]. За цим методом спочатку визначають еталонну евапотранспірацію (E_{T0}) – швидкість евапотранспірації з еталонної поверхні без дефіциту води. За еталонну поверхню приймається гіпотетичний трав'яний покрив висотою 0,12 м, опором поверхні 70 с/м, альбедо 0,23. Розрахунок евапотранспірації проводять для добре удобрених, розвинутих культур, які вирощують у певній кліматичній зоні на значній площі угідь за оптимального рівня вологості ґрунту при досягненні повної продуктивності (стандартні умови). Якщо умови вирощування відрізняються від стандартних, то рослини зазнають водного стресу. Вплив водного стресу на евапотранспірацію культури визначається коефіцієнтом водного стресу (K_s) [20]. Отже, визначення коефіцієнта водного стресу при розрахунках евапотранспірації сої методом Penman-Monteith, у межах зональних кліматичних умов, є актуальним завданням.

Метою дослідження було визначення коефіцієнта водного стресу рослин сої та адаптація методу Penman-Monteith для визначення E_{Tc} в умовах водного стресу.

Матеріали і методи дослідження. Польові дослідження проведено у 2018 р. у виробничих умовах у межах землекористування ФГ «Магістраль сервіс» (с. Ромашки, Мелітопольський р-н, Запорізька обл.). Локація Google Maps: 46.7860 п. ш. 35.1604 сх.д., висота над рівнем моря 30,5 м.

ґрунт дослідної ділянки – темно-каштанові низькогумусо-акумулятивні. Найменшу вологоємність (НВ) визначали методом заливання майданчика [21], щільність складення ґрунту визначали методом ріжучого кільця [22] (табл. 1).

1. Водно-фізичні властивості ґрунту

Шар ґрунту, см	Щільність складання т/м ³	Найменша вологоємність (НВ)	
		від маси сухого ґрунту, %	від об'єму, %
0-10	1,21	29,7	35,9
11-20	1,31	27,1	35,5
21-30	1,28	26,4	33,8
31-40	1,31	25,7	33,7
41-50	1,33	24,1	32,1
51-60	1,34	23,1	31,0
0-60	1,30	26,02	33,65

Метеорологічні параметри та розрахунки ET_0 проводили за показниками інтернет-метеостанції iMetos® by Pessl Instruments. ET_c розраховували за методом Penman-Monteith за формулою:

$$ET_c = K_c \cdot ET_0, \quad (2)$$

де ET_0 – еталонна евапотранспірація, мм; K_c – коефіцієнт культури [23].

Вологість ґрунту та ET_{actual} визначали за допомогою датчика вологості ґрунту Sentek Drill & Drop (довжина зонду 60 см) на базі інтернет-метеостанції.

Коефіцієнт водного стресу розраховували згідно [7; 8; 20] як відношення

$$K_s = \frac{ET_{actual}}{ET_{potential}} \quad (\text{за } ET_{actual} > ET_{potential} \text{ } K_s=1). \quad (3)$$

Отриманий коефіцієнт порівнювали з рекомендованими методиками розрахунку [20; 24; 25]:

$$1. \quad K_s = \frac{TAW - Dr}{TAW - RAW} \quad (\text{за } Dr < RAW, K_s = 1), \quad (4)$$

де K_s – коефіцієнт водного стресу; Dr – виснаження кореневої зони, мм; TAW – загальна доступна ґрунтова волога в кореновому шарі ґрунту, мм; RAW – легкодоступна ґрунтова волога, мм.

$$2. \quad K_s = \frac{\beta_{20\text{см}}}{\beta_{HB}}, \quad (5)$$

де $\beta_{20\text{см}}$ – об'ємна вологість ґрунту на глибині 20 см, % від об'єму; β_{HB} – найменша вологоємність (НВ), % від об'єму.

$$3. \quad K_s = \frac{W}{W_0} \quad (\text{за } W > W_0 \text{ } K_s = 1), \quad (6)$$

де W – продуктивна волога кореневого шару ґрунту, мм; W_0 – критичне значення продуктивної вологості ґрунту, за якого фактичне випаровування дорівнює потенційному випаровуванню.

Результати досліджень та їх обговорення.

Дослідження з визначення коефіцієнта водного стресу було проведено у два етапи: у перший, який тривав з 27 травня по 8 червня, вологість ґрунту знижували до 70% НВ у шарі ґрунту 0–60 см, у другий, який тривав з 10 червня по 01 липня, висушування продовжували до 55–60% НВ (рис. 1). З 26 по 30 червня вологість ґрунту майже не змінювалась і знаходилась на рівні 58,3% НВ. Опади, які випали 30 червня (5,2 мм), підвищили вологість до 59,5% НВ. 01 липня було проведено полив нормою 40 мм. Спостереженнями за евапотранспірацією на першому етапі досліджень встановлено, що за зниження вологості ґрунту від 99,4% до 80,9% від НВ (26.05–02.06) середньодобова ET_{actual} становила 5,42 мм/добу, ET_0 – 5,11 мм/добу. За подальшого зниження вологості ґрунту до 70,4% НВ (02.06–8.06) середньодобове значення ET_{actual} знизилось до 3,57 мм/добу, ET_0 – 4,86 мм/добу. За вологості ґрунту 80–70% НВ розрахований коефіцієнт водного стресу становив $K_s = 0,66$.

Перед другим етапом досліджень 09 червня провели вегетаційний полив нормою 45 мм. Початкова вологість ґрунту в шарі 0–60 см для другого етапу досліджень становила 94,1% НВ. Спостереженнями встановлено, що за зниження вологості ґрунту відбувалось зменшення середньодобової ET_{actual} , про що свідчить зміна напрямку тренду лінії вологості ґрунту (рис. 1). За досягнення вологості ґрунту 58,5%

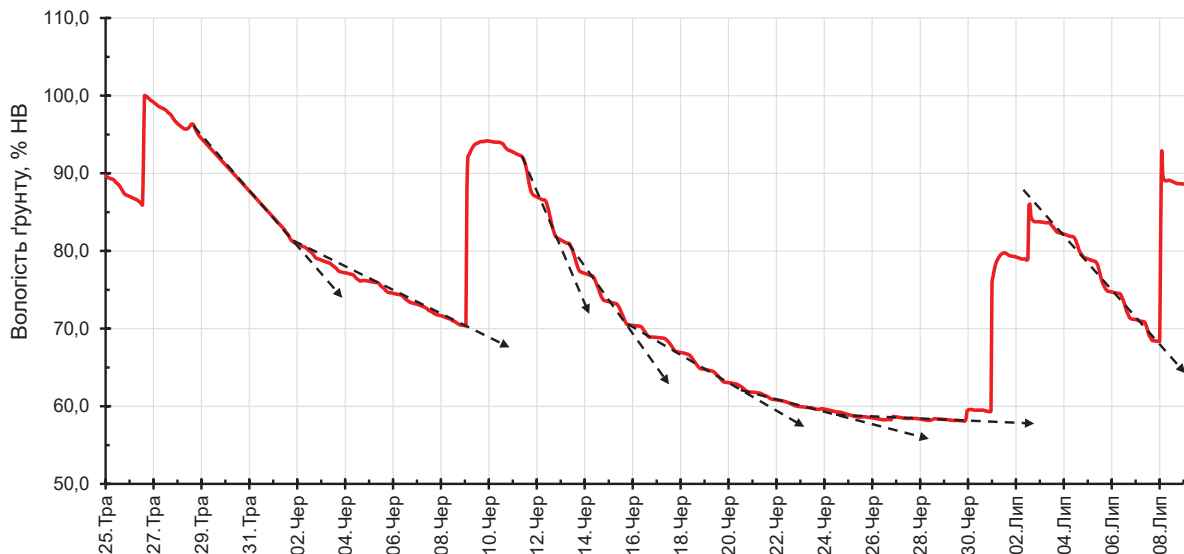


Рис. 1. Динаміка вологості ґрунту на посівах сої за період досліджень

НВ 26 червня ET_{actual} майже зупинилась і становила лише 0,5 мм/добу, що у 20 разів менше за ET_{actual} на початку спостережень. За наступні 4 доби вологість ґрунту знизилась лише на 0,4% НВ і станом на 29 червня становила 58,1% від НВ. Спостереженнями встановлено, що в інтервалі вологості ґрунту 94–80% від НВ, ET_{actual} становила 9,76 мм/добу, а за вологості ґрунту 70–62% від НВ ET_{actual} знизилась у 3 рази і становила 3,23 мм за добу (рис. 2).

За досягнення вологості ґрунту 60% від НВ водний стрес рослин почав поступово зростати і зниження вологості на 1–2% від НВ зменшувало ET_{actual} на 1,21–1,08 мм/добу. Так, за вологості 60–59% від НВ ET_{actual} становило 0,94 мм/добу або 10% від початкової. Слід зауважити, що зниження вологості ґрунту на 10% від НВ – з 90 до 70% НВ проходило за кожні 3 доби. Процес зниження вологості ґрунту з 70 до 60% НВ та з 60 до 58% НВ вже відбувався за кожні 8 діб. Отже, зниження вологості ґрунту з 90 до 70% НВ відбувалося зі швидкістю 2,5% НВ, з 70 до 60% від НВ –

1,25% НВ, а з 60 до 58% НВ – 0,25% НВ за добу. За вологості ґрунту 70% НВ і нижче фактична евапотранспірація є меншою за ET_0 і, відповідно, необхідно коригувати ET_c , оскільки виникають умови водного стресу, а розрахункові методи цього не враховують.

За результатами визначення коефіцієнта водного стресу (K_s) було отримано математичну модель на основі залежності K_s від вологості ґрунту у відсотках від найменшої вологоємності ґрунту (рис. 3).

У діапазоні вологості ґрунту від 58 до 80% від НВ коефіцієнт водного стресу розраховують за формулою:

$$K_s = -0,0011 \cdot HB^2 + 0,1925 \cdot HB - 7,4541, \quad (7)$$

де HB – вологість ґрунту, % від НВ.

За вологості ґрунту 80% НВ і вище $K_s = 1$. Візуалізацію результатів розрахунків за формулою 7 відображено на рисунку 4, де наведено експериментальний і теоретичний коефіцієнти водного стресу. Середнє арифметичне значення, стандартне відхилення

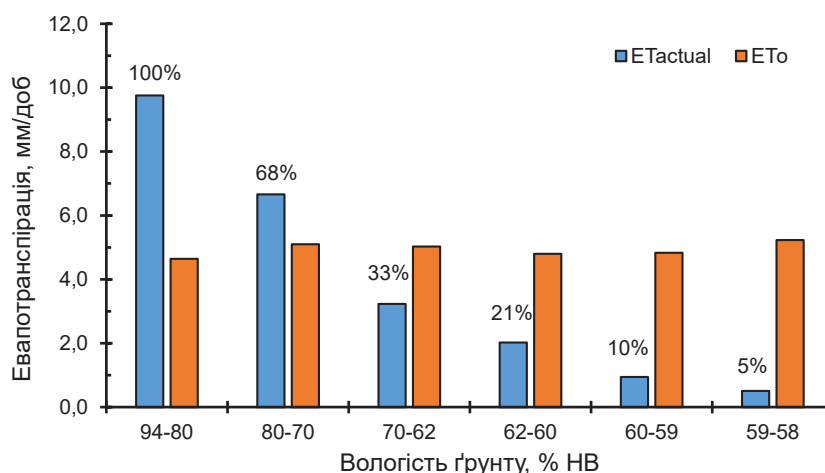


Рис. 2. Евапотранспірація сої залежно від вологості ґрунту

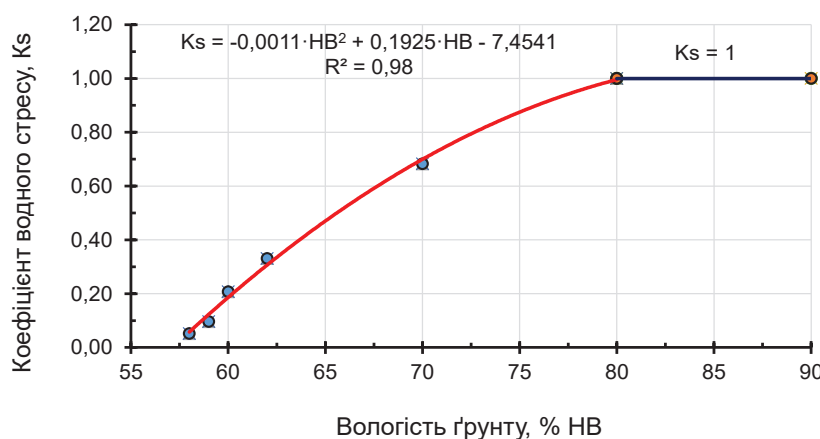


Рис. 3. Залежність коефіцієнта водного стресу рослин сої від вологості ґрунту

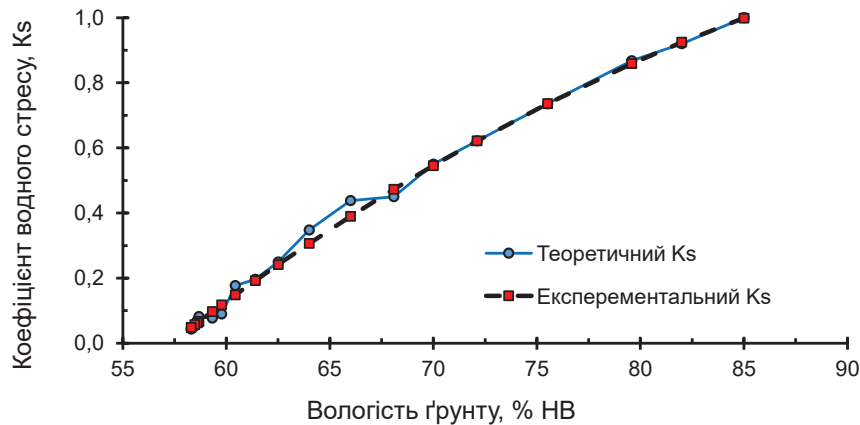


Рис. 4. Експериментальний та розрахунковий коефіцієнт водного стресу сої

експериментальних та розрахованих даних становлять 0,387; 0,326 та 0,383; 0,326 відповідно. Для встановлення точності отриманої моделі було розраховано середню абсолютну відсоткову похибку (МАРЕ) [26], яка становить 8,6% та виконано розрахунок точності прогнозу моделі, який становить 91,4%. Похибка МАРЕ отриманої моделі менше 10%, що відповідає високій точності отриманої залежності.

За результатами порівняння отриманої моделі 7 з рекомендованими методиками визначення коефіцієнта водного стресу встановлено, що розрахунок K_s за вмістом продуктивної вологи у ґрунті, запропонований методиками 4 (FAO 56 [20]) та 6 (Будько М.І., 1971 [25]), однаковий. Отриманий K_s за методиками 4 та 6, в межах вологості ґрунту 70–80% від НВ, на 8–14% більший, ніж у запропонованій моделі. За подальшого зниження вологості ґрунту різниця між моделями зростає

(рис. 5). Так, за вологості 60–65% від НВ різниця, відповідно, становить 0,34 (72%) та 0,20 (32%). Величини K_s , отримані за методикою 5 (Saxton, 1986 [2; 24]), знаходяться в межах 0,3–0,6. За вологості ґрунту 64–80% від НВ значення K_s за моделлю 5 менші, ніж визначені за формулою (7), а за вологості ґрунту 58–64% НВ, навпаки, – більші. Відповідно, за вологості ґрунту 70–80% від НВ K_s за моделлю 5 на 40–34% менший, ніж у запропонованій.

На основі результатів порівняльного аналізу можна зробити висновок, що модель 5 для цього виду ґрунтової відміни не підходить. Найменша різниця між отриманою моделлю та моделями 4 і 6 знаходиться для вологості ґрунту в межах 70–80% від НВ, а за зниження рівня вологості ґрунту і, відповідно, зростання водного стресу ця різниця збільшується.

Розрахунок евапотранспірації (ЕТс) за методом Penman-Monteith (P-M) без ураху-

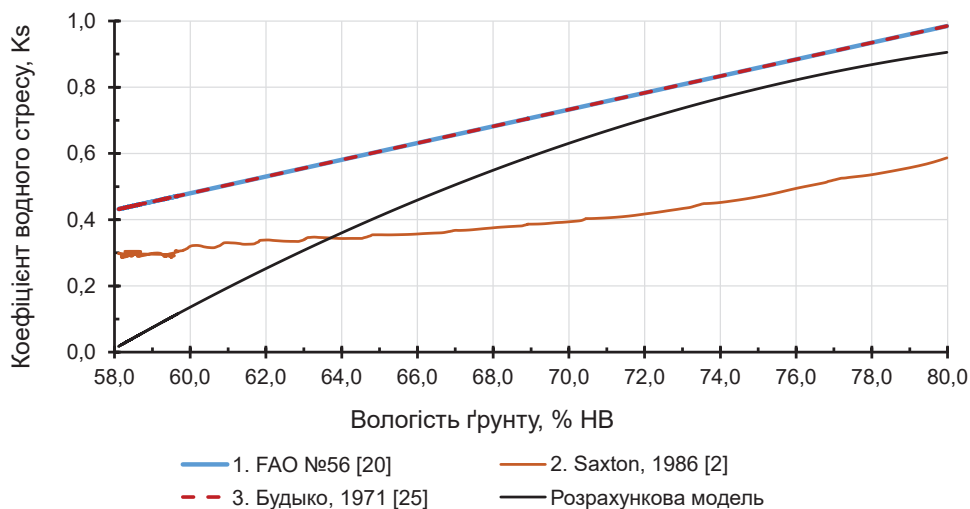


Рис. 5. Залежність коефіцієнта водного стресу сої від вологості ґрунту, розрахованого за різними методиками

вання коефіцієнта водного стресу виявив, що фактичний та розрахунковий водний баланс співпадають лише до рівня вологості ґрунту 62% від НВ (рис. 6). За подальшого зниження вологості ґрунту ET_{actual} практично відсутня, проте розрахунки ET_c за методом Р-М показали, що на 30 червня вологість ґрунту становила 40,4% від НВ, тоді як фактична вологість ґрунту не знижувалась нижче 59,5% від НВ. Після проведення трьох вегетаційних поливів фактична вологість станом на 17 липня піднялася до 99% від НВ, а за розрахунками методом Р-М лише до 60% від НВ. Розрахунки ET_c методом Penman-Monteith не відповідали фактичним величинам і досягли їх лише при врахуванні коефіцієнта водного стресу. Отже, все вищенаведене вказує на необхідність обов'язкового врахування впливу водного стресу за визначення величини евапотранспірації рослин сої з метою запобігання неточно-

стей при регулюванні водного режиму ґрунту та визначенні елементів водного балансу розрахунковими методами.

Висновки. На основі комплексного порівняльного аналізу існуючих методів розрахунку коефіцієнтів водного стресу K_s встановлено, що запропонована модель визначення K_s забезпечує високу точність, а середня абсолютна відсоткова похибка (МАРЕ) становить 8,6%. Отримані величини K_s на 8–14% та 72–32% за вологості ґрунту 80–70% від НВ та 60–65% від НВ відповідно менші за K_s FAO 56 [20], Будико М.І., 1971 [25] та на 35–40% вищі за метод Saxton, 1986 [2; 24]. Отже, за проведення розрахунків ET_c методом Penman-Monteith для запобігання суттєвих неточностей при регулюванні водного режиму ґрунту та визначенні елементів водного балансу необхідно обов'язково враховувати коефіцієнт водного стресу.

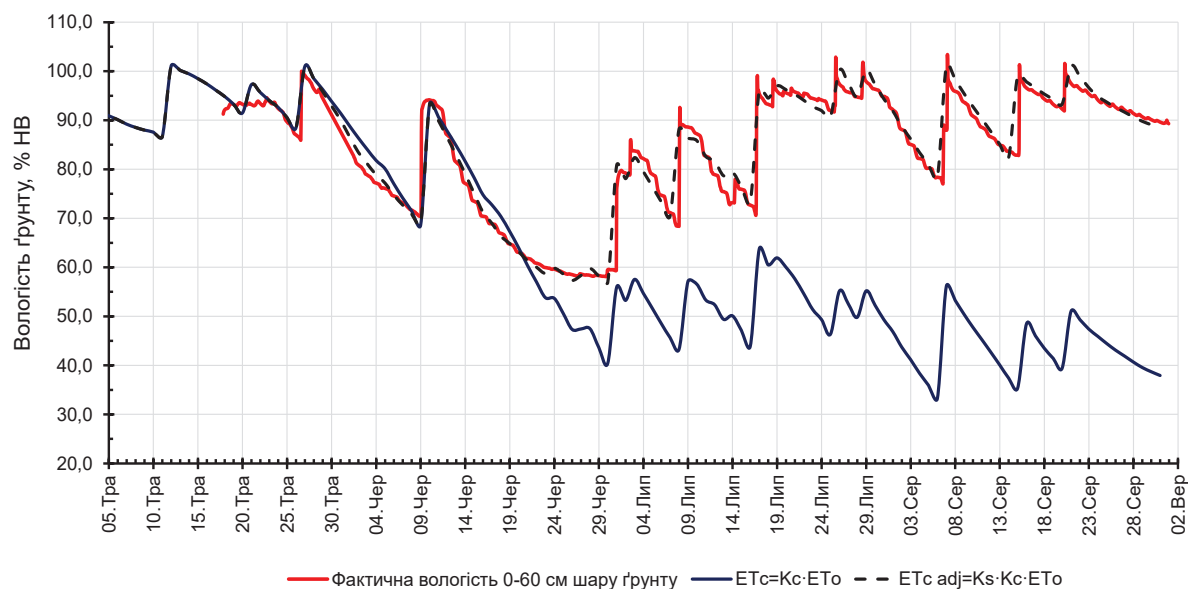


Рис. 6. Динаміка фактичної та розрахункової вологості ґрунту в посівах сої

Бібліографія

1. Response of Crops to Limited Water: Understanding and Modeling Water Stress Effects on Plant Growth Processes. Vol. 1; Ed. L.R. Ahuja, V.R. Reddy, S.A. Saseendran, Qiang Yu First. Madison, 2008. 435 p. DOI: 10.2134/advagricystmodell
2. Saxton K.E., Rawls W.J., Romberger J.S., Papendick R.I. Estimating generalized soil-water characteristics from texture // *Soil Science of America Journal*. 1986. Vol. 50. № 4. P. 1031–1036. DOI: 10.2136/sssaj1986.03615995005000040039x
3. Vivoni E.R., Moreno H.A., Mascaro G. et al. Observed relation between evapotranspiration and soil moisture in the North American monsoon region // *Geophysical Research Letters*. 2008. Vol. 35 № 22. L 22403. DOI: 10.1029/2008GL036001
4. Методика оценки биологического водопотребления посевов для решения задач управления водным режимом / Козырева Л.В. и др. // *Агрофизика*. 2013. № 4(12). С. 12–19.

5. Шумова Н.А. Оценка и анализ испарения, транспирации и запасов воды в почве полей яровой пшеницы за безморозный период в различные по водности годы // *Экосистемы: Экология и Динамика*. 2018. Том 2. № 2. С. 65–88. DOI: 10.24411/2542-2006-2018-10009
6. Полуэктов Р.А., Кумаков В.А., Василенко Г.В. Моделирование транспирации посевов сельскохозяйственных растений // *Физиология растений*. 1997. Том 44. № 1. С. 68–73.
7. Evaporation, evapotranspiration and soil moisture. *The Guide to Hydrological Practices. Vol. I Hydrology – From Measurement to Hydrological Information (WMO No. 168)*. A publication of the Commission for Hydrology, 2008. 296 p.
8. Шейн Е.В. Курс физики почв. Москва : Изд-во МГУ, 2005. 432 с.
9. Jamieson P.D., Francis G.S., Wilson D.R., Martin R.J. Effects of water deficits on evapotranspiration from barley // *Agricultural and Forest Meteorology*. 1995. Vol. 76. P. 41–58. DOI: 10.1016/0168-1923(94)02214-5
10. Saeedinia M., Hosseinian S.H., Beiranvand F. The Effect of Water Stress on Evapotranspiration and Morphological Characteristics of *Satureja Hortensis* // *Iranian Journal of Soil and Water Research*. 2017. Vol. 50 № 8 P. 2063–2072. DOI: 10.22059/IJSWR.2019.276349.668131
11. Середньодобове випаровування та сумарне водоспоживання сої залежно від режиму зрошення, фону живлення та сорту при вирощуванні на Півдні України / Гамаюнова В.В. та ін. // *Зрошуване землеробство*. 2010. № 53. С. 11–18.
12. Василюта В.В., Журавльов О.В. Водоспоживання цибулі ріпчастої на краплинному зрошенні в південному регіоні України // *Зрошуване землеробство*. 2009. № 52. С. 10–15.
13. Вплив умов вологозабезпеченості, фону мінерального живлення та густоти стояння рослин на урожайність ділянок гібридизації кукурудзи в умовах зрошення / Коковіхін С.В. та ін. // *Зрошуване землеробство*. 2011. № 56. С. 20–25.
14. Wenhui Zhao, Leizhen Liu, Qiu Shen et al. Effects of Water Stress on Photosynthesis, Yield, and Water Use Efficiency in Winter Wheat // *Water*. 2020 Vol. 12(8). № 2127. DOI: 10.3390/w12082127
15. Guswa A., Celia M., Rodriguez-Iturbe I. Models of soil moisture dynamics in ecohydrology: A comparative study // *Water Resources Research*. 2002. Vol 38(9). № 1166. DOI: 10.1029/2001WR000826
16. Reinder A. Feddes, Holger Hoff, Michael Bruen et al. Modeling root water uptake in hydrological models and climate models // *Bulletin of the American Meteorological Society*. 2001. Vol. 82. P. 2797–2810. DOI: 10.1175/1520-0477(2001)082<27972810
17. Shirley A. Kurc, Eric E. Small. Dynamics of evapotranspiration in semiarid grassland and shrubland ecosystems during the summer monsoon season, central New Mexico // *Water Resources Research*. 2004. Vol. 40. W09305. DOI: 10.1029/2004WR003068
18. Посівні площі сільськогосподарських культур за їх видами у 2018 році. Державна служба статистики України. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua> (дата звернення: 10.05.2021).
19. Romashchenko M., Shatkowski A., Zhuravlev O. Features of application of the «Penman–Monteith» method for conditions of a drip irrigation of the Steppe of Ukraine (on example of grain corn) // *Journal of Water and Land Development*. 2016. № 31. P. 123–127. DOI: 10.1515/jwld-2016-0043
20. Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M. Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper. 1998. No. 56. Rome. FAO pp. 300. URL: <http://www.fao.org/3/x0490e/x0490e00.htm> (дата звернення: 11.05.2021).
21. Горянский М.М. Методика полевых опытов на орошаемых землях. Киев : Урожай, 1970. 84 с.
22. ДСТУ Б В.2.1-17:2009. [Чинний від 2010.10.01] Ґрунти. Методи лабораторного визначення фізичних властивостей. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 36 с. (Національний стандарт України).
23. Shatkovskiy A.P., Romashchenko M.I., Vasyuta V.V. et al. Evaluation of the «Penman–Monteith» model for determination of soybeans evapotranspiration in irrigated conditions of the Steppe of Ukraine. *Modern Phytomorphology*. 2020. Vol. 14. P. 111–113. DOI: 10.5281/zenodo.4449887
24. Brandes D., Wilcox D. Evapotranspiration and soil moisture dynamics on a semiarid ponderosa pine hillslope. *Journal of the American Water Resources Association*. 2000. Vol. 36. № 5. P. 965–974. DOI: 10.1111/j.1752-1688.2000.tb05702.x
25. Будыко М.И. Климат и жизнь. Ленинград : Гидрометеиздат. 1971. 472 с.
26. Shcherbakov M.V., Brebels A.A., Shcherbakova N.L. et al. A Survey of Forecast Error Measures. *World Applied Sciences Journal*. 2013. № 24. P. 171–176. DOI: 10.5829/idosi.wasj.2013.24.itmies.8003.

References

1. Ahuja, L.R., Reddy, V.R., Saseendran, S.A., & First, Q.Y. (Ed.). (2008). Response of Crops to Limited Water: Understanding and Modeling Water Stress Effects on Plant Growth Processes. Vol. 1. Madison. DOI: 10.2134/advagricsystmodell
2. Saxton, K.E., Rawls, W.J., Romberger, J.S., & Papendick, R.I. (1986). Estimating generalized soil-water characteristics from texture. *Soil Science of America Journal*, 50(4), 1031–1036. DOI: 10.2136/sssaj1986.03615995005000040039x
3. Vivoni, E.R., Moreno, H.A., & Mascaro, G.I. et al. (2008). Observed relation between evapotranspiration and soil moisture in the North American monsoon region. *Geophysical Research Letters*, 35(22), 22403. DOI: 10.1029/2008GL036001
4. Kozyreva, L.V., Sitdikova, Yu.R., Yefimov, A.Ye., & Dobrokhотов, A.V. (2013). Metodika otsenki biologicheskogo vodopotrebleniya posevov dlya resheniya zadach upravleniya vodnym rezhimom [Methodology for assessing the biological water consumption of crops for solving problems of water management]. *Agrofizika*, 4(12), 12–19. [in Russian]
5. Shumova, N.A. (2018). Otsenka i analiz ispareniya, transpiratsii i zapasov vody v pochve poley yarovoy pshenitsy za bezmorochnyy period v razlichnyye po vodnosti gody [Assessment and analysis of evaporation, transpiration and water reserves in the soil of spring wheat fields for a frost-free period in years of different water content]. *Ekosistemy: Ekologiya i Dinamika*, 2(2), 65–88. DOI: 10.24411/2542-2006-2018-10009 [in Russian]
6. Poluektov, R.A., Kumakov, V.A., & Vasilenko, G.V. (1997). Modelirovaniye transpiratsii posevov selskokhozyaystvennykh rasteniy [Modeling of transpiration of crops of agricultural plants]. *Fiziologiya rasteniy*, 44(1), 68–73. [in Russian]
7. Evaporation, evapotranspiration and soil moisture. (2008). *The Guide to Hydrological Practices. Vol. 1 Hydrology – From Measurement to Hydrological Information (WMO No. 168)*. A publication of the Commission for Hydrology.
8. Shein, E.V. (2005). Kurs fiziki pochv [Soil physics course]. Moscow: Izd-vo MGU. [in Russian]
9. Jamieson, P.D., Francis, G.S., Wilson, D.R., & Martin R.J. (1995). Effects of water deficits on evapotranspiration from barley. *Agricultural and Forest Meteorology*, 76, 41–58. DOI: 10.1016/0168-1923(94)02214-5
10. Saedinia, M., Hosseinian, S.H., & Beiranvand, F. (2017). The Effect of Water Stress on Evapotranspiration and Morphological Characteristics of *Satureja Hortensis*. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 50(8), 2063–2072. DOI: 10.22059/IJSWR.2019.276349.668131
11. Hamayunova, V.V., Pysarenko, P.V., Suzdal, O.S., & Kazano, O.O. (2010). Srednodobove vyparuvannya ta sumarne vodospozhyvannya soyi zalezno vid rezhymu zroshennya, fonu zhyvlennya ta sortu pry vyroshchuvanni na Pivdni Ukrayiny [Average daily evaporation and total water consumption of soybeans depending on the irrigation regime, feeding background and variety when grown in the South of Ukraine]. *Zroshuvane zemlerobstvo*, 53, 11–18. [in Ukrainian]
12. Vasyuta, V.V., & Zhuravlov, O.V. (2009) Vodospozhyvannya tsybuly ripchastoyi na kraplynomu zroshenni v pivdenomu rehioni Ukrayiny [Water consumption of onion on drip irrigation in the southern region of Ukraine]. *Zroshuvane zemlerobstvo*, 52, 10–15. [in Ukrainian]
13. Kokovikhin, S.V., Pysarenko, P.V., Prisyazhnyy, Yu.I., & Pilyarska, O.O. (2011). Vplyv umov volohozabezpechenosti, fonu mineralnoho zhyvlennya ta hustoty stoyannya roslyn na urozhaynist dilyanok hibrydyzatsiyi kukurudzy v umovakh zroshennya [Influence of moisture supply conditions, mineral nutrition background and plant density on the yield of maize hybridization plots under irrigation conditions]. *Zroshuvane zemlerobstvo*, 56, 20–25. [in Ukrainian]
14. Wenhui, Zhao, Leizhen, Liu, & Qiu, Shen et al. (2020). Effects of Water Stress on Photosynthesis, Yield, and Water Use Efficiency in Winter Wheat. *Water*, 12(8), 2127. DOI: 10.3390/w12082127
15. Guswa, A., Celia, M., & Rodriguez-Iturbe, I. (2002). Models of soil moisture dynamics in ecohydrology: A comparative study. *Water Resources Research*, 38(9), 1166. DOI: 10.1029/2001WR000826
16. Reinder, A., Feddes, Holger Hoff, & Michael Bruen et al. (2001) Modeling root water uptake in hydrological models and climate models. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 82, 2797–2810. DOI: 10.1175/1520-0477(2001)082<27972810:
17. Shirley A., Kurc, & Eric E., Small. (2004). Dynamics of evapotranspiration in semiarid grassland and shrubland ecosystems during the summer monsoon season, central New Mexico. *Water Resources Research*, 40, W09305. DOI: 10.1029/2004WR003068

18. Posivni ploshchi silskohospodarskykh kultur za yikh vydamy u 2018 rotsi [Sown areas of agricultural crops by their types in 2018]. Derzhavna sluzhba statystyky Ukrayiny. Retrieved from: <http://www.ukrstat.gov.ua> [in Ukrainian]
19. Romashchenko, M., Shatkowski, A., & Zhuravlev, O. (2016). Features of application of the «Penman–Monteith» method for conditions of a drip irrigation of the Steppe of Ukraine (on example of grain corn). *Journal of Water and Land Development*, 31, 123–127. DOI: 10.1515/jwld-2016-0043
20. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D.A., & Smith, M.I. (1998). Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. Rome: FAO. Retrieved from: <http://www.fao.org/3/x0490e/x0490e00.htm>
21. Goryanskiy, M.M. (1970). Metodika polevykh opytov na oroshayemykh zemlyakh [Methodology of field experiments on irrigated lands]. Kiev : Urozhai. [in Russian]
22. Grunty. Metody laboratornoho vyznachennya fizychnykh vlastyvostey [Soils. Methods of laboratory determination of physical properties]. (2010). DSTU B V.2.1-17:2009. Natsionalnyi standart Ukrayiny. Kyiv: Minrehionbud Ukrayiny. [in Ukrainian]
23. Shatkovskiy, A.P., Romashchenko, M.I., & Vasyuta, V.V. et al. (2020). Evaluation of the «Penman–Monteith» model for determination of soybeans evapotranspiration in irrigated conditions of the Steppe of Ukraine. *Modern Phytomorphology*, 14, 111–113. DOI: 10.5281/zenodo.4449887
24. Brandes, D., Wilcox, D. (1971). Evapotranspiration and soil moisture dynamics on a semi-arid ponderosa pine hillslope. *Journal of the American Water Resources Association*, 36(5), 965–974. DOI: 10.1111/j.1752-1688.2000.tb05702.x
25. Budyko, M.I. (1971). Klimat i zhizn [Climate and life]. Leningrad: Gidrometeoizdat. [in Russian]
26. Shcherbakov, M.V., Brebels, A.A., & Shcherbakova, N.L. et al. (2013). A Survey of Forecast Error Measures. *World Applied Sciences Journal*, 171–176. DOI: 10.5829/idosi.wasj.2013.24.itmies.8003

А.В. Журавлев, А.П. Шатковский, В.В. Васюта

Влияние водного стресса на эвапотранспирацию сои

Аннотация. По результатам наблюдений установлено, что при снижении влажности почвы происходит непропорциональное уменьшение среднесуточной эвапотранспирации (ET_c). Так, в интервале влажности почвы 94–80% от НВ ET_c составляла 9,76 мм/сутки, а 70–62% от НВ – ее величина уменьшалась в 3 раза. При достижении влажности почвы 58,5% от НВ величина ET_c не превышала 0,5 мм/сутки, что в 20 раз меньше начальной. Установлено, что снижение влажности почвы на 10% от НВ в интервале 90–70% от НВ происходит за 3 суток, а с 70 до 60% НВ и с 60 до 58% НВ – за 8 суток. При влажности почвы 70% от НВ и ниже фактическая эвапотранспирация меньше ET_0 , что подтверждает влияние водного стресса на эвапотранспирацию сои. По расчетам коэффициента водного стресса (K_s) получена математическая модель на основе зависимости K_s от влажности почвы в процентах от наименьшей влагоемкости. Средняя абсолютная процентная ошибка (MAPE) которой составляет 8,6%, что соответствует высокой точности полученной зависимости. В диапазоне влажности почвы от 58 до 80% от НВ коэффициент водного стресса рассчитывается по формуле: $K_s = -0,0011 \cdot НВ^2 + 0,1925 \cdot НВ - 7$. При влажности почвы 80% от НВ и выше $K_s = 1$. Проведена комплексная сравнительная оценка существующих методов расчета коэффициента водного стресса K_s и установлено, что фактические значения K_s при влажности почвы 80–70% и 60–65% от НВ на 8–14% и 72–32%, соответственно, меньше, чем K_s FAO 56, и на 35–40% больше за определение методом Saxton. Подтверждена необходимость учета снижения эвапотранспирации при расчете водного баланса в условиях водного стресса растений. Расчет эвапотранспирации (ET_c) методом Penman–Monteith, без учета коэффициента водного стресса, показал, что величина фактического и расчетного водного баланса совпадает только до уровня влажности почвы 62% от НВ. При дальнейшем снижении влажности почвы расчетная влажность почвы была на 20% от НВ меньше фактической, что привело к ошибкам при определении влажности почвы после поливов, поскольку фактическая ее величина равнялась почти 100% НВ, а расчетная – 60% от НВ. Доказано, что определение водного баланса расчетными методами без учета коэффициента водного стресса приводит к значительным ошибкам. Следовательно, при расчетах эвапотранспирации растений сои необходимо учитывать влияние водного стресса.

Ключевые слова: коэффициент водного стресса, эвапотранспирация, метод Penman–Monteith, водный баланс, соя

O.V. Zhuravlov, A.P. Shatkovskyi, V.V. Vasiuta

Effects of water stress on evapotranspiration of soybean

Abstract. Based on the results of observations, it was specified that when decreasing soil moisture there is a disproportionate decrease in the average daily evapotranspiration (ET). Thus, in the range of soil moisture of 94–80% minimum moisture-holding capacity (MMHC) ET was 9,76 mm a day, and in the range of 70–62% MMHC – its value decreased by 3 times. When the soil moisture reached 58,5% MMHC, the value of ET did not exceed 0,5 mm a day, which is 20 times less than the initial one. It was determined that the decrease in soil moisture by 10% in the range of 90–70% MMHC occurs during 3 days, and from 70 to 60% MMHC and from 60 to 58% MMHC – during 8 days. When soil moisture is 70% MMHC and below, the actual evapotranspiration is less than ET_0 that proves the effect of water stress on soybeans ET. When calculating water stress coefficient (Ks), a mathematical model based on the dependence of Ks on soil moisture as a percentage of MMHC was obtained. The average absolute percentage error (MAPE) is 8,6%, which corresponds to the high accuracy of the obtained dependence. In the range of soil moisture from 58 to 80% MMHC, the water stress coefficient is calculated by the formula $K_s = -0.0011 \cdot FC^2 + 0.1925 \cdot FC - 7,4541$. When having soil moisture as 80% MMHC and above, $K_s = 1$. A comprehensive comparative assessment of existing methods for calculating water stress coefficient Ks was taken and it was found out that the actual values of Ks when having soil moisture as 80–70 and 60–65% MMHC by 8–14% and 72–32%, respectively, less than Ks FAO 56, and by 35–40% larger than those determined by Saxton method. It was proved the need of taking into account the reduction in evapotranspiration when calculating water balance under water stress of plants. The calculation of evapotranspiration (ET) by the Penman–Monteith method, without taking into account the water stress coefficient, showed that the value of the actual and calculated water balance coincides only when soil moisture does not exceed 62% MMHC. With a further decrease in soil moisture, the estimated soil moisture was 20% less than the actual, which led to the errors in determining soil moisture after irrigation, because its actual value was almost 100% MMHC, and the estimated one was only 60% MMHC. It was proved that the determination of water balance by calculation methods without taking into account the water stress coefficient leads to significant errors. Therefore, when calculating evapotranspiration, it is necessary to take into account the effect of water stress on plants.

Key words: water stress coefficient, evapotranspiration, Penman-Monteith method, water balance, soybeans

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202101-285>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/285>

УДК 633.15:631.51.021:631.8:631.67(477.7)

ВПЛИВ РІЗНИХ СИСТЕМ ОСНОВНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ ТА УДОБРЕННЯ НА ВРОЖАЙНІСТЬ ЗЕРНА КУКУРУДЗИ В ЗРОШУВАНИХ УМОВАХ ПІВДНЯ УКРАЇНИ

Р.А. Вожегова¹, докт. с.-г. наук, А.С. Малярчук², канд. с.-г. наук, Н.Д. Резніченко³,
Д.І. Котельников⁴, канд. с.-г. наук

¹ Інститут зрошуваного землеробства, м. Херсон, сел. Наддніпрянське, 73483;
<https://orcid.org/0000-0002-3895-5633>, e-mail: izz.ua@ukr.net;

² Інститут зрошуваного землеробства, м. Херсон, сел. Наддніпрянське, 73483;
<https://orcid.org/0000-0001-5845-269x>, e-mail: baktroban@ukr.net;

³ Асканійська державна сільськогосподарська дослідна станція ІЗ НААН, Херсонська обл., Каховський р-н,
с. Тавричанка, вул. 40-річчя Перемоги, 74862;
<https://orcid.org/0000-0002-5741-6379>, e-mail: nadezhda.reznichenko@ukr.net;

⁴ ФГ «ЮКОС і К», Херсонська область, Бериславський район, м. Берислав, вул. Центральна 115;
<https://orcid.org/0000-0002-8889-8841>, e-mail: dmkotel@gmail.com

Анотація. У статті відображено результати досліджень щільності складення, водопроникності та забур'яненості посівів кукурудзи в середньому за 2016–2019 рр. за різних систем основного обробітку ґрунту та удобрення. Метою досліджень було визначення впливу різних способів та глибини основного обробітку ґрунту в сівозміні та удобрення на агрофізичні властивості ґрунту та продуктивність кукурудзи в зерно-просапній сівозміні на зрошенні півдня України. Завдання дослідження полягало у визначенні впливу різних способів і глибини основного обробітку та удобрення на агрофізичні властивості темно-каштанового ґрунту та продуктивність кукурудзи в короткочасній сівозміні. Під час експерименту використовували польовий, кількісно-ваговий, візуальний, лабораторний, розрахунково-порівняльний, математично-статистичний методи та загально-визнані в Україні методики і методичні рекомендації. Дослідження проводили на дослідних полях Асканійської ДСДС ІЗ НААН України. В результаті досліджень встановлено, що, як на початку, так і в кінці вегетації за оранки на 28–30 см, у системі диференційованого обробітку показники щільності складення були найменшими та становили 1,14 г/см³ на фоні сидерації та 1,19 г/см³ без її використання, за системи безполицевого різноглибинного розпушування показники щільності складення зросли до 1,18 г/см³ на фоні сидерату та 1,26 г/см³ без його використання. Максимальні ж показники щільності складення 1,28 г/см³ спостерігались за нульового обробітку ґрунту в сівозміні без сидератів та 1,31 г/см³ з його використанням, що відповідно на 12,3 та на 10,1% вище порівняно з контролем. Найвищий рівень продуктивності кукурудзи відзначився за безполицевого різноглибинного обробітку, де показники в середньому по фактору А склали 10,93 т/га, що більше контролю на 0,52 т/га, або 5,0%, а застосування нульового обробітку призвело до найменших показників в досліді 8,71 т/га, що менше порівняно з контролем на 1,7 т/га, або 19,5%.

Ключові слова: кукурудза, основний обробіток ґрунту, система удобрення, агрофізичні властивості, забур'яненість, урожайність

Актуальність дослідження. Недостатня адаптація гібридів кукурудзи до специфіки погодних та виробничих умов стримує одержання стабільно високих урожаїв зерна. Тому експериментальне дослідження та виробниче впровадження нових та удосконалених агротехнічних заходів вирощування буде сприяти більш повній реалізації генетично обумовленого рівня продуктивності сучасних гібридів. Безумовно, гібриди по-різному реагують на умови зовнішнього середовища, змінюючи як урожайність, так і якість зерна. Одним із таких заходів є встановлення оптимального способу основного обробітку

і глибини розпушування ґрунту, а також забезпечення рослин елементами живлення за рахунок внесення мінеральних та органічних добрив у вигляді проміжних посівів гірчиці сарептської на сидерат.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Оптимальне забезпечення рослин елементами живлення, вологою та теплом сприяє досягненню високих та стабільних рівнів урожайності [1]. Внесення мінеральних добрив рекомендованою дозою підвищує урожайність на 0,40–0,55 т/га, а комплексне застосування добрив і мікробних препаратів, порівняно з контролем, сприяє зростанню

урожайності на 0,59–0,80 т/га [2; 3; 4; 5]. Водночас деякі гібриди кукурудзи підвищують урожайність при підживленні лише до дози $N_{120}P_{105}K_{105}$, подальше її збільшення призводить до зниження врожайності [6]. Водночас рівень ефективності застосування мінеральних добрив, мікробіопрепаратів залежить від інших елементів технології вирощування, в т. ч. і від основного обробітку ґрунту. Правильно підібрана система обробітку ґрунту забезпечує збереження і підвищення його родючості, попередження деградаційних процесів (ерозія, втрати гумусу), оптимізацію водного режиму і агрофізичних властивостей ґрунту. За даними різних наукових установ переваги того чи іншого основного обробітку ґрунту є неоднозначними [7; 8].

Метою дослідження було визначення впливу різних систем обробітку та удобрення на агрофізичні властивості ґрунту та продуктивність кукурудзи в зерно-просапній сівоzmіні на зрошенні півдня України. Завдання дослідження полягало у визначенні впливу різних способів і глибини основного обробітку та удобрення на агрофізичні властивості, поживний і водний режим темно-каштанового ґрунту та продуктивність ранньостиглого гібриду кукурудзи Сиваш у короткоротаційній сівоzmіні.

Матеріали та методи дослідження. Дослідження проводили протягом 2016–2019 рр. на дослідних полях Асканійської державної сільськогосподарської дослідної станції Інституту зрошувального землеробства НААН України, яка розташована в зоні дії Каховської зрошувальної системи в чотирипільній зерно-просапній сівоzmіні з таким чергуванням культур: кукурудза на зерно, ячмінь озимий + післяжнивню гірчиця сарептська на сидерат, соя, пшениця озима + післяжнивню гірчиця сарептська на сидерат. Дослід двофакторний, розгорнутий у часі та просторі:

Фактор А (основний обробіток ґрунту):

1. Оранка на глибину 28–30 см у системі диференційованого обробітку ґрунту.
2. Дисковий обробіток ґрунту на глибину 12–14 см у системі мілкого безполицевого обробітку протягом ротації сівоzmіни.
3. Чизельний обробіток на 28–30 см у системі безполицевого різноглибинного обробітку ґрунту.
4. Нульовий обробіток у системі тривалого застосування його в сівоzmіні з сівою спеціальними сівалками в попередньо необроблений ґрунт.

Дослідження проводили на фоні чотирьох органо-мінеральних систем удобрення

з різними дозами внесення мінеральних добрив під кукурудзу (Фактор В):

1. Органо-мінеральна з внесенням $N_{120}P_{40}$ + сидерація + післяжнивні рештки.
2. Органо-мінеральна з внесенням $N_{150}P_{40}$ + сидерація + післяжнивні рештки.
3. Органо-мінеральна з внесенням $N_{180}P_{40}$ + сидерація + післяжнивні рештки.
4. Органо-мінеральна з внесенням $N_{180}P_{40}$ + післяжнивні рештки.

ґрунт дослідного поля темно-каштановий середньосуглинковий з низькою забезпеченістю азотом та середньою – рухомим фосфором і обмінним калієм. Вміст гумусу в орному шарі 2,3%. Рівноважна щільність складення 1,38 г/см³, вологість в'янення 7,8%, найменша вологоємність 22,4%.

Для закладання досліду використовували зняряддя: ПЛН-5-35, Ріпер Кейс-7300, БДВП-3,0-01. Подальша технологія вирощування кукурудзи була загально визнаною для зрошуваних умов Степової зони України.

Режим зрошення забезпечував підтримання передполивного порогу зволоження під посівами культур сівоzmіни на рівні 70% НВ в шарі ґрунту 0–50 см. Під час експерименту використовували польовий, кількісно-ваговий, візуальний, лабораторний, розрахунково-порівняльний, математично-статистичний методи та загально визнані в Україні методики і методичні рекомендації [9; 10].

Результати досліджень та їх обговорення. Результати досліджень впливу способів і глибини основного обробітку та доз внесення мінеральних добрив під кукурудзу на фоні різних систем обробітку і удобрення в сівоzmіні на показники щільності складення в шарі ґрунту 0–40 см свідчать, що на початку вегетації на контролі з оранкою на 28–30 см у системі диференційованого обробітку показники щільності складення були найменшими при заорюванні гірчиці сарептської на сидерат та склали 1,14 г/см³, а без використання сидерату вони зростали до 1,19 г/см³, або на 4,4%.

За чизельного розпушування на 28–30 см у системі безполицевого різноглибинного обробітку щільність складення на сидеральному фоні становила 1,18 г/см³, а без його використання зростала до 1,26 г/см³, або на 6,8%. Порівняно з контролем зростання щільності складення на сидеральному фоні досягло 3,5%, а без сидератів – 5,9%.

Застосування дискового розпушування на 12–14 см у системі тривалого його застосування протягом ротації сівоzmіни призвело до зростання показників щільності складення на

фоні без внесення сидератів на 10,5% з показником 1,26 г/см³, а на сидеральному на 5,1% (1,25 г/см³).

Максимальні ж показники щільності складення 1,28 та 1,31 г/см³ спостерігались за нульового обробітку ґрунту в сівозміні відповідно на сидеральному і безсидеральному фоні, або на 12,3 та на 10,1% вище порівняно з контролем (табл. 1).

При визначенні щільності складення перед збиранням врожаю закономірності, відзначені на початку вегетації, збереглись.

У варіанті оранки на 28–30 см (контроль) у системі диференційованого обробітку на фоні без внесення сидерального добрива щільність складення ґрунту зросла до 1,35 г/см³ (13,4%), а при внесенні сидератів – до 1,29 г/см³ (13,2%).

За дискового обробітку на 12–14 см у системі мілкого одноглибинного розпушування на фоні сидеральної культури показники збільшились до 1,39 г/см³ без та 1,35 г/см³ із використанням сидерату, що фактично на 3,0 та 4,7% більше порівняно з контролем.

Максимальні показники щільності складення отримано за нульового обробітку 1,38 г/см³ без сидерату та 1,28 г/см³ з його використанням.

Залежно від щільності складення формувалася швидкість вбирання і фільтрації води. Так на початку вегетації кукурудзи на фоні без внесення сидерального добрива у варіанті оранки на глибину 28–30 см у системі диференційованого обробітку водопроникність складала 1,03 мм/хв, у варіанті мілкого (12–14 см) дискового розпушування на фоні беззмінного його застосування протягом ротації водопроникність зросла до 2,17 мм/хв, або в 2,1 рази порівняно з контролем. За чизельного розпушування на 28–30 см у системі різноглибинного безполицевого розпушування сформовано водопроникність на рівні 1,49 мм/хв, що фактично менше на 45,6% порівняно з контролем. Найменшими показниками в досліді відзначився варіант нульового обробітку 0,62 мм/хв, що менше в 1,66 рази порівняно з контролем. Водночас слід відзначити вплив сидерального добрива на водопроникність на початку вегетації. Так застосування сидеральної культури підвищило водопроникність за диференційованого обробітку на 49,5%, за дискового обробітку на 7,4%, за різноглибинного безполицевого розпушування в 2,86 рази порівняно з варіантами, де сидерат не використовувався.

1. Щільність складення шару ґрунту 0–40 см під посівами кукурудзи на зерно за різних систем основного обробітку ґрунту та удобрення (середнє за 2016–2019 рр.), доза добрив N₁₈₀P₄₀, г/см³

Система, спосіб і глибина основного обробітку ґрунту (А)	Шар ґрунту, см	Початок вегетації		Кінець вегетації	
		N ₁₈₀ P ₄₀ без сидерату	N ₁₈₀ P ₄₀ +сидерат	N ₁₈₀ P ₄₀ без сидерату	N ₁₈₀ P ₄₀ +сидерат
Диференційована (оранка 28–30 см)	0–10	0,98	1,00	1,29	1,19
	10–20	1,24	1,15	1,33	1,20
	20–30	1,26	1,18	1,35	1,41
	30–40	1,30	1,25	1,43	1,38
	0–40	1,19	1,14	1,35	1,29
Мілка одноглибинна (дисковий обробіток 12–14 см)	0–10	1,09	1,06	1,27	1,19
	10–20	1,34	1,36	1,47	1,44
	20–30	1,33	1,30	1,41	1,39
	30–40	1,29	1,30	1,39	1,41
	0–40	1,26	1,25	1,39	1,35
Безполицева різноглибинна (чизельне розпушування 28–30 см)	0–10	1,18	1,05	1,33	1,18
	10–20	1,30	1,17	1,46	1,30
	20–30	1,27	1,20	1,41	1,27
	30–40	1,30	1,30	1,33	1,30
	0–40	1,26	1,18	1,39	1,26
Нульовий обробіток	0–10	1,26	1,28	1,28	1,26
	10–20	1,31	1,33	1,46	1,31
	20–30	1,25	1,31	1,42	1,25
	30–40	1,30	1,31	1,33	1,30
	0–40	1,28	1,31	1,38	1,28

В кінці вегетації найменшим рівнем водопроникності відзначився варіант нульового обробітку 1,41 мм/хв, що менше порівняно з контролем у 3,27 рази. За дискового обробітку на 12–14 см у системі мілкого безполицевого розпушування показники водопроникності склали 4,30 мм/хв. Застосування чизельного обробітку на 28–30 см в системі безполицевого різноглибинного розпушування зменшило показники до 2,05 мм/хв, що менше у 2,25 рази порівняно з контролем. Водночас слід відзначити вплив сидеральної культури на водопроникність на час збирання врожаю. Так застосування сидеральної культури сприяло підвищенню водопроникності за диференційованого обробітку на 17,8%, за дискового обробітку на 79,2%, за різноглибинного безполицевого розпушування у 1,53 рази, а за нульового обробітку у 2 рази порівняно з варіантами, де сидерат не використовували (табл. 2).

Результати досліджень, проведені протягом 2016–2019 років на початку вегетації кукурудзи, дають змогу стверджувати, що за оранки на 28–30 см у системі диференційованого обробітку ґрунту (контроль) показники забур'яненості залежно від систем удобрення

коливались у межах 7–21 шт/м² із показниками вегетативної маси на рівні 16,5–53,6 г/м² та в середньому по фактору А 14 шт/м² та 38,2 г/м² зеленої маси бур'янів відповідно.

Заміна оранки чизельним розпушуванням на таку ж саму глибину в системі різноглибинного безполицевого обробітку в сівозміні сприяла зменшенню забур'яненості посівів кукурудзи порівняно з контролем на 40% за кількістю бур'янів та на 19,7% за накопиченням вегетативної маси з показниками 10 шт/м² та 31,9 г/м² відповідно.

Проведення дискового розпушування на глибину 12–14 см на фоні тривалого мілкого одноглибинного безполицевого обробітку ґрунту призвело до підвищення забур'яненості посівів в середньому по фактору А на 42,9% за кількістю бур'янів та на 36,2% за накопиченою вегетативною масою, що складало відповідно 20 шт/м² при 52,0 г/м² вегетативної маси відповідно (табл. 3)

Найвищу забур'яненість посівів кукурудзи в середньому по фактору А (25 шт/м² за кількістю бур'янів та 298,8 г/м² за накопиченою вегетативною масою) було відзначено за беззмінного нульового обробітку ґрунту,

2. Водопроникність ґрунту під посівами кукурудзи за різних систем обробітку ґрунту та удобрення (середнє за 2016–2019 рр.), мм/хв

Система, спосіб та глибина обробітку ґрунту, (А)	Удобрення (В)	Початок вегетації	Збір врожаю
Диференційована (оранка 28–30 см)	N ₁₈₀ P ₄₀ + сидерат	1,54	5,44
	N ₁₈₀ P ₄₀	1,03	4,62
Мілка одноглибинна (дисковий обробіток 12–14 см)	N ₁₈₀ P ₄₀ + сидерат	2,33	4,30
	N ₁₈₀ P ₄₀	2,17	2,40
Різноглибинна безполицева (чизельне розпушування 28–30 см)	N ₁₈₀ P ₄₀ + сидерат	4,26	3,13
	N ₁₈₀ P ₄₀	1,49	2,05
Нульовий обробіток	N ₁₈₀ P ₄₀ + сидерат	0,5	2,91
	N ₁₈₀ P ₄₀	0,62	1,41

3. Забур'яненість посівів кукурудзи за різних систем, способів і глибини основного обробітку ґрунту та удобрення (середнє за 2016–2019 рр.)

Система, спосіб і глибина основного обробітку ґрунту (А)	Доза добрив (В)								в середньому (А)	
	N ₁₂₀ P ₄₀ + сидерат		N ₁₅₀ P ₄₀ + сидерат		N ₁₈₀ P ₄₀ + сидерат		N ₁₈₀ P ₄₀ без сидерату			
	шт/м ²	г/м ²	шт/м ²	г/м ²	шт/м ²	г/м ²	шт/м ²	г/м ²	шт/м ²	г/м ²
Диференційована 28–30 (о)	7,0	16,5	10,0	35,0	17,0	47,8	21,0	53,6	14,0	38,2
Мілка (12–14) одноглибинна 12–14 (д)	11,0	37,0	16,0	49,0	22,0	59,0	30,0	62,9	20,0	52,0
Різноглибинна безполицева 28–30 (ч)	9,0	28,6	9,0	32,2	10,0	29,5	10,0	37,2	10,0	31,9
Нульова	18,0	180	23,0	290,0	23,0	277,2	34,0	448,1	25,0	298,8
В середньому (В)	11,0	65,5	15,0	101,6	18,0	103,4	24,0	150,5		

Примітка: НР₀₅ (А) = 0,8 шт./м²; 4,3 г/м²; НР₀₅ (В) = 0,8 шт./м²; 3,8 г/м²

де зростання за кількістю бур'янів досягало 78,6%, а за вегетативною масою в 7,82 рази порівняно з контролем.

Водночас слід відзначити вплив різних систем удобрення на показники забур'яненості посівів. Так за системи удобрення $N_{120}P_{40}$ + післяжнивні рештки + сидерат кількість бур'янів за варіантами основного обробітку коливалась у межах 7–18 шт./м², з вегетативною масою – 16,5–180,0 г/м².

Підвищення дози азотного добрива до N_{150} в органо-мінеральній системі удобрення з внесенням P_{40} + післяжнивні рештки + сидерат призвело до підвищення забур'яненості посівів в середньому по фактору В – 15 шт./м² та вегетативної маси – 101,6 г/м², що більше на 36,4 та 55,1% відповідно порівняно з контролем.

При подальшому збільшенні дози азотного добрива до $N_{180} + P_{40}$ + післяжнивні рештки + сидерат забур'яненість зросла до 24 шт./м², а маса бур'янів до 103,4 г/м², що більше порівняно з варіантом удобрення $N_{120}P_{40}$ + післяжнивні рештки + сидерат на 63,6% за кількістю та на 57,9% за вегетативною масою.

Використання на сидерат зеленої маси гірчиці сарептської із загортанням її в ґрунт знаряддями з різною конструкцією робочих органів і вирощування кукурудзи на зерно без сидератів порізно впливало на кількість бур'янів та накопичення вегетативної маси. За диференційованого обробітку ґрунту та дози внесення мінерального добрива $N_{180}P_{40}$ використання сидерації зменшило забур'яненість посівів на 23,5%, а вегетативну масу бур'янів на 12,1% порівняно з варіантами, де сидерат не використовували.

За системи мілкого одноглибинного обробітку кількість бур'янів при використанні сидерації зменшилась на 36,4%, проте вегетативна маса залишилась на тому ж рівні.

Використання сидерації за чизельного розпушування на 28–30 см під кукурудзу на фоні безполицевого різноглибинного обро-

бітку в сівозміні не вплинуло на кількість бур'янів, водночас вегетативна маса зменшилась на 26,1%. За нульового обробітку відзначалась максимальна ефективність сидерації, кількість бур'янів зменшилась на 47,8% а вегетативна маса на 61,7%. В середньому по фактору А слід відзначити, що застосування сидератів зменшує забур'яненість з 24 до 18 шт./м², а за вегетативною масою зі 150,5 до 103,4 г/м², або відповідно на 33,3 та 45,6%.

Аналіз результатів досліджень впливу різних систем основного обробітку ґрунту та удобрення протягом ротації сівозміни (2016–2019 рр.) свідчить про те, що найвищий рівень продуктивності кукурудзи відзначився за чизельного розпушування на 28–30 см у системі безполицевого різноглибинного обробітку на фоні органо-мінеральної системи удобрення з внесенням $N_{180}P_{40}$ + сидерати + післяжнивні рештки з показником 11,69 т/га, що вище ніж на контролі на 5,8%.

Застосування нульового обробітку викликало зниження урожайності до 8,71 т/га, або на 1,7 т/га (19,5%) порівняно з контролем.

Водночас за системи удобрення $N_{120}P_{40}$ + сидерат показники продуктивності в середньому по фактору В склали 9,50 т/га. Збільшення дози азотного добрива до 150 кг д. р./га на фоні застосування сидерації сприяло зростанню урожайності на 0,63 т/га, або 6,6% (табл. 4).

Також проводили дослідження впливу сидерації на врожайність зерна кукурудзи. На всіх варіантах, де використовували сидерат, урожайність була вищою за варіанти мінерального удобрення незалежно від способів і глибини основного обробітку ґрунту. За органо-мінеральної системи удобрення з внесенням під кукурудзу $N_{180}P_{40}$ + післяжнивні рештки рівень врожайності склав 10,0 т/га, доповнення системи удобрення сидеральною культурою сприяло зростанню урожайності до 10,68 т/га, або більше на 6,8%.

4. Урожайність зерна кукурудзи за різних систем основного обробітку ґрунту і удобрення в 4-пільній сівозміні на зрошенні (середнє за 2016–2019 рр), т/га

Система основного обробітку ґрунту (А)	Доза добрив (В)				в середньому по фактору А
	$N_{120}P_{40}$ + сидерат	$N_{150}P_{40}$ + сидерат	$N_{180}P_{40}$ + сидерат	$N_{180}P_{40}$ без сидерату	
Диференційована 28–30 (о) контроль	9,81	10,45	11,05	10,34	10,41
Мілка одноглибинна 12–14 (д)	9,54	10,31	10,94	10,27	10,27
Різноглибинна безполицева 28–30 (ч)	10,24	10,95	11,69	10,83	10,93
Нульова	8,42	8,82	9,05	8,55	8,71
В середньому по фактору В	9,50	10,13	10,68	10,00	

Примітка: $НР_{05}$ (А)=0,48 т/га; $НР_{05}$ (В)=0,14 т/га; о – оранка, д – дисковий обробіток, ч – чизельне розпушування.

Висновки. Для реалізації генетично обумовленого рівня продуктивності сільськогосподарських культур у короткоротаційних зерно-просапних сівозмiнах на зрошуваних землях у зоні дії Каховської зрошувальної системи економічно вигідно та екологічно безпечно застосовувати різноглибинний безполицевий основний обробіток із використанням ріпера Кейс – 7300 на фоні органо-мінеральної системи удобрення з використанням побічної продукції та післязливних посівів гірчиці сарептської на сидерат.

В сівозмiнах на зрошуваних землях, де кукурудза на зерно є поширеним попе-

редником озимих зернових доцільно висівати ранньостиглі гібриди кукурудзи, застосовувати органо-мінеральну систему удобрення з внесенням під кукурудзу $N_{180}P_{40}$ + післязливні рештки + сидерати та проводити чизельне розпушування на глибину 28–30 см, що сприяє зниженню витрат на основний обробіток на 20–22 %, формуванню оптимальних параметрів щільності складення, пористості, водопроникності та зниженню забур'яненості посівів, забезпечуючи умови реалізації генетично обумовленого потенціалу продуктивності на рівні 11–12 т/га.

Бібліографія

1. Землеробство з основами ґрунтознавства і агрохімії : підручник: 2-ге вид., перероб. та доповн. / В.П. Гудзь, та ін. Київ : Центр учб. л-ри, 2007. 408 с.
2. Глушко Т.В. Вплив зрошення та мінеральних добрив на урожайність гібридів кукурудзи в умовах південного Степу України. *Зрошуване землеробство*. Херсон : Айлант, 2012. № 57. С. 116–118.
3. Методичні вказівки по застосуванню розрахункового методу визначення строків поливу сільськогосподарських культур за показниками середньодобового випаровування / Писаренко В.А. та ін. Херсон : Колос, 2005. 16 с.
4. Григоров М.С. Водосберегающие технологии выращивания с.-г. культур. Волгоград : ВГСХА, 2001. 169 с.
5. Ничипорович А.А. Энергетическая эффективность и продуктивность фотосинтезирующих систем как интегральная проблема. *Физиология растений*. 1978. Т. 25. Вып. 5. С. 922–937.
6. Лисогоров К.С., Писаренко В.А. Наукові основи використання зрошуваних земель у степовому регіоні на засадах інтегрального управління природними і технологічними процесами. *Таврійський науковий вісник*. 2007. Вип. 49. С. 49–52.
7. Писаренко В.А., Мішукова Л.С., Коковіхін С.В., Присяжний Ю.І. Ефективність різних схем режимів зрошення в умовах Південного Степу України. *Зрошуване землеробство*. 2008. Вип. 50. С. 31–37.
8. Sijesh Natarajan, Jaya Basnayake, Prakash Lakshmanan, Shu Fukai (2020). Limited contribution of water availability in genotype-by-environment interaction in sugarcane yield and yield components. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 206(2). 00:1–14. Volume 206, Issue 2. April 2020 <https://doi.org/10.1111/jac.12407>
9. Unkovich M., Baldock J., Forbes M. Variability in harvest index of grain crops and potential significance for carbon accounting: examples from Australian agriculture. *Adv. Agron.* 2010. Vol. 105. P. 173–219. doi: 10.1016/S0065-2113(10)05005-4
10. Ушкаренко В.О., Вожегова Р.А., Голобородько С.П., Коковіхін С.В. Методика польового дослідження (зрошуване землеробство) / Ушкаренко В.О. та ін. Херсон : Грінь Д.С., 2014. 448 с.

References

1. Gudz', V.P., Lisopoval, A.P., Andrienko, V.O., & Ribak, M. F. (2007). *Zemlerobstvo z osnovamy ґruntoznavstva i ahrokhimii* [Agriculture with bases of soil science and agricultural chemistry]. Kyiv : Centr Uchbovoy lyteratury. [in Ukrainian]
2. Glushko, T.V. (2012). *Vplyv zroshen' nya ta mineral' nyh dobryv na urozhainist' hibrydiv kykyrydzy v umovah pivdenного Stepy Ukrainy* [Influence of irrigation and mineral fertilizers on the productivity of hybrids of corn in the conditions of south Steppe of Ukraine]. *Zroshuvane zemlerobstvo*, 57, 116–118. [in Ukrainian]
3. Pysarenko, V.A., Kokovikhin, S.V., Mishukova, L.S., & Pysarenko, P.V. (2005). *Metodychni vказivky po zastosuvannyu rozrakhunkovoho metodu vyznachennya strokiv polyvu silskohospodarskykh kultur za pokaznykamy serednodobovoho vyparovuvannya* [Guidelines for the application of the calculation method for determining the timing of irrigation of crops on the average daily evaporation]. Kherson : Kolos. [in Ukrainian]

4. Hryhorov, M.S. (2001). Vodosberehayushchye tekhnolohyy vyrashchivanyya s.-h. kultur [Watersaving technologies for growing agricultural cultures]. Volgograd : VGSXA. [in Russian]
5. Nychyporovych, A.A. (1978). Enerhetycheskaya efektyvnost y produktyvnost fotosyntezyruyushchikh system kak yntehrlnaya problema [Energy efficiency and productivity of photosynthetic systems as an integral problem]. Fiziologiya rastenij 25, 5, 922–937. [in Russian]
6. Lysohorov, K.S., & Pysarenko, V.A. (2007). Naukovi osnovy vykorystannya zroshuvanykh zemel u stepovomu rehioni na zasadakh intehrlnoho upravlinnya pryrodnyimi i tekhnolohichnyimi protsesamy [Scientific bases of use of irrigated lands in the steppe region on the basis of integrated management of natural and technological processes]. Tavriyskiy naukovy visnyk, 49, 49–52. [in Ukrainian]
7. Pisarenko, V.A., Mishukova, L.S., Kokovikhin, S.V., & Prisyazhny, Yu.I. (2008). Efektyvnist riznykh skhem rezhymiv zroshennya v umovakh Pivdennoho Stepu Ukrayiny [Efficiency of different schemes of irrigation regimes in the conditions of the Southern Steppe of Ukraine]. Zroshuvane zemlerobstvo, 50, 31–37. [in Ukrainian]
8. Sijesh Natarajan, Jaya Basnayake, Prakash Lakshmanan, & Shu Fukai (2020). Limited contribution of water availability in genotype-by-environment interaction in sugarcane yield and yield components. Journal of Agronomy and Crop Science, 206(2), 00:1–14. <https://doi.org/10.1111/jac.12407>
9. Unkovich, M., Baldock, J., & Forbes, M. (2010). Variability in harvest index of grain crops and potential significance for carbon accounting: examples from Australian agriculture. Adv. Agron, Vol. 105, 173–219. [https://doi: 10.1016/S0065-2113\(10\)05005-4](https://doi: 10.1016/S0065-2113(10)05005-4)
10. Ushkarenko, V.O., Vozhehova, R.A., Holoborodko, S.P., & Kokovikhin, S.V. (2014). Metodyka pol'ovoho doslidu: zroshuvane zemlerobstvo [The methodology of field experiment: irrigation agriculture]. Kherson: Gryn.D.S. [in Ukrainian]

Р.А. Вожегова, А.С. Мальярчук, Н.Д. Резниченко, Д.И. Котельников
Влияние разных систем основной обработки почвы и удобрения
на урожайность зерна кукурузы в орошаемых условиях юга Украины

***Аннотация.** В статье отображены результаты исследований по изучению плотности сложения, водопроницаемости и засоренности посевов кукурузы в начале и в конце вегетации в среднем за 2016–2019 гг. в зависимости от систем основной обработки почвы и удобрения и дальнейшее влияние на показатели продуктивности в орошаемых условиях юга Украины. Целью исследований было определение влияния разных способов и глубины основной обработки почвы в севообороте и удобрения на агрофизические свойства почвы и продуктивность кукурузы в зерно-пропашном севообороте на орошении юга Украины. Задача исследования заключалась в определении влияния разных способов и глубины основной обработки и удобрения на агрофизические свойства темно-каштановой почвы и продуктивность кукурузы в короткоротационном севообороте. Во время эксперимента использовали полевой, количественно-весовой, визуальный, лабораторный, расчетно-сравнительный, математически-статистический методы и общепризнанные в Украине методики и методические рекомендации. Исследования проводили на опытных полях Асканийской ГСОР ИОЗ НААН Украины. В результате исследований установлено что, как в начале, так и в конце вегетации при вспашке на 28–30 см в системе дифференцированной обработки показатели плотности были наименьшими и составляли 1,14 г/см³ на фоне сидерации и 1,19 г/см³ без ее использования, при системе безотвального разноглубинного рыхления увеличилась плотность до 1,18 г/см³ с использованием сидерата и 1,26 г/см³ без его использования, максимальные же показатели плотности почвы наблюдались при нулевой обработке почвы в севообороте 1,28 г/см³ без и 1,31 г/см³ с использованием сидерата соответственно на 12,3 и на 10,1% выше по сравнению с контролем. В то же время наибольший уровень продуктивности кукурузы отмечен при безотвальной разноглубинной обработке, где показатели в среднем по фактору А составляли 10,93 т/га, что больше контроля на 0,52 т/га, или 5,0%, а применение нулевой обработки привело к наименьшим показателям в опыте 8,71 т/га, что меньше по сравнению с контролем в среднем на 1,7 т/га, или 19,5%.*

***Ключевые слова:** кукуруза, основная обработка почвы, система удобрения, агрофизические свойства, засоренность, урожайность*

R.A. Vozhegova, A.S. Malyarchuk, N.D. Reznichenko, D.I. Kotelnikov
Effect of different basic tillage and fertilizer systems on corn grain yield,
when irrigating in the south of Ukraine

***Abstract.** The article presents the results of the research on soil bulk density and permeability as well as weediness of maize crops at the beginning and end of growing season on average for 2016–2019, applying different basic tillage and fertilizer systems. The goal of the research was to determine the effect of different methods and depth of basic tillage and fertilizers on agrophysical properties of soil and crop productivity in*

grain-row crop rotation when irrigating in the south of Ukraine. The objective of the research was to determine the effects of different methods and depths of basic tillage as well as fertilization on the agrophysical properties of dark chestnut soil and the productivity of corn in short crop rotation. During the experiment, field, quantitative-weight, visual, laboratory, calculation-comparative, mathematical-statistical methods and generally accepted in Ukraine methods and methodical recommendations were used. The research was conducted in the research fields of the Askanian SARS IIA NAAS of Ukraine. Based on the research results it was established that, both at the beginning and at the end of growing season when applying the tillage up to 28-30 cm within the system of differentiated tillage bulk density was the smallest as 1,14 g/cm³ when using green manure and 1,19 g/cm³ without its use. When applying subsurface different depth tillage, bulk density increased up to 1,18 g/cm³ when using green manure and up to 1,26 g/cm³ without its use. Maximum bulk density of 1,28 g/cm³ was observed when no tillage applied without using green manure and 1,31 g/cm³ when using it that is by 12,3 and 10,1% higher compared to the reference area, respectively. The highest corn productivity was observed when applying subsurface different depth tillage, where the average values by the factor A were about 10,93 t/ha that is higher than those obtained in the reference area by 0,52 t/ha, or 5,0%. The use of zero tillage caused the obtaining of the lowest yield in the experiment as 8,71 t/ha that is less compared to the reference area by 1,7 t/ha, or 19,5%.

Key words: maize, main tillage, fertilizer system, agrophysical properties, weediness, yield

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202101-276>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/276>

УДК 631.1:631.4

ПЕРСПЕКТИВИ МІЖНАРОДНИХ КОМПЛЕКСНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ КРУГООБІГУ ВУГЛЕЦЮ В СИСТЕМІ «ГРУНТ-РОСЛИНА-АТМОСФЕРА»

Ю.О. Тараріко¹, докт. с.-г. наук, В.П. Лукашук², канд. с.-г. наук

¹ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0001-8475-240X>; e-mail: urtar@bigmir.net;

² Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0003-0081-0962>; e-mail: vita_lukashuk@ukr.net

Анотація. Україна розташована на широті Франції, північної частини Сполучених Штатів Америки і південних районів Канади, має аналогічні з цими країнами природні умови. Різні за ґрунтово-кліматичними умовами регіони ведення землеробства в Україні можуть розглядатися як аналоги подібних за природними умовами сільськогосподарських територій в інших частинах світу. Ґрунти з високим вмістом вуглецю є більш продуктивними і здатні краще фільтрувати і очищати воду. Вода, яка утримується в ґрунті, є джерелом для 90 % світової сільськогосподарської продукції. Один із головних блоків досліджень – вивчення співвідношень основної, побічної продукції врожаю, а також кореневих і рослинних решток на різних агрофонах із використанням перспективних сортів і гібридів сільськогосподарських культур. Використання оптичних експрес-методів доцільно здійснювати за етапами органогенезу польових культур, що дозволить встановити залежності між ними, розробити критерії та індикатори для ефективного регулювання кругообігу азоту і вуглецю в системі «ґрунт-рослина-атмосфера», розробити моделі формування і трансформації кореневих та інших рослинних залишків з урахуванням мінливих агрометеорологічних факторів, сівозмін, особливостей галузевої структури аграрного виробництва, сортів і гібридів польових культур. У перспективі це дозволить визначитися зі спрямованістю селекційної роботи з метою збільшення обсягів накопичення кореневої маси і досягнути гарантовано бездефіцитного балансу органічного вуглецю в ґрунті. Також дослідження дозволять цілеспрямовано і ефективно регулювати кругообіг вуглецю і азоту як на рівні окремих аграрних виробничих систем, так і в масштабах однотипних сільськогосподарських територій і регіонів з урахуванням усієї множини змінних факторів, в т. ч. особливостей галузевої структури виробництва, змін клімату та ін.

Ключові слова: ґрунт, ґрунтова волога, вуглець, система «ґрунт – рослина – атмосфера», зміни клімату, викиди N_2O

Актуальність дослідження. Відомо, що ґрунти з високим вмістом вуглецю є більш продуктивними і здатні краще фільтрувати і очищати воду. Вода, яка утримується в ґрунті, є джерелом для 90 відсотків світової сільськогосподарської продукції. Ґрунтовий органічний вуглець має велике значення в процесі зміни клімату. У всьому світі запаси вуглецю в метровому шарі ґрунту оцінюються в 1,417 гігатонн (ГТ) – майже у два рази більше, ніж в атмосфері і в десятки разів більше рівнів щорічних антропогенних викидів. Нераціональне використання земель супроводжується викидами великих обсягів парникових газів. В результаті деградації однієї третини ґрунтів у світі викиди вуглецю в атмосферу склали 78 ГТ. Подальше скорочення запасів ґрунтового вуглецю в результаті нераціонального землекористування завдає зусиллям щодо обмеження зростання глобальної температури в цьому столітті, щоб уникнути негативних наслідків зміни клімату.

Відновлення ґрунтів на сільськогосподарських і деградованих землях може видалити до 51 ГТ вуглецю з атмосфери [1; 2].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Останнім часом проведено досить значний комплекс різнопланових досліджень стосовно кругообігу вуглецю в системі «ґрунт-рослина-атмосфера». Дослідженням цих питань займалися Скрильник С.В., Кравець Т.Ф. [3], В.В. Дегтярьов [4], Трофименко П.І. [5] та ін. Однак питання розробки моделей оптимізації кругообігу біогенних елементів і розробки агротехнологій, систем землеробства і систем аграрного виробництва, які були б здатні акумулювати більше вуглецю, скоротити викиди N_2O і підвищити ефективність використання ґрунтової вологи, вивчені недостатньо.

Мета дослідження полягає в тому, що для перспективи міжнародних комплексних досліджень кругообігу вуглецю в системі «ґрунт-рослина-атмосфера» буде встановлено

© Тараріко Ю.О., Лукашук В.П., 2021

залежності, які дозволяють розробити моделі оптимізації кругообігу біогенних елементів і запропонувати агротехнології, системи землеробства і системи аграрного виробництва, здатні акумулювати на 50% більше вуглецю, на 50% скоротити викиди N_2O і на 25% підвищити ефективність використання ґрунтової вологи.

Матеріали та методи дослідження. Застосовано теоретичні методи наукового дослідження: аналіз і синтез, порівняння, класифікація і узагальнення.

Результати дослідження та їх обговорення. Україна розташована на широті Франції, північної частини Сполучених Штатів Америки і південних районів Канади, має аналогічні з цими країнами природні умови [6]. Площа України становить 603,7 тис. км². Протяжність території між крайніми точками з півночі на південь складає 893 км. Незважаючи на відносно незначну відстань рівень зволоження коливається від надлишкового (600–700 мм) на півночі до недостатнього (250–300 мм) в сухому Степу на півдні [7]. При цьому Україна характеризується переважно рівнинним рельєфом, високоякісними ґрунтами, зокрема родючими

чорноземами, які займають 68% всіх орних земель [8]. Отже, різні по ґрунтово-кліматичних умовах регіони ведення землеробства в Україні можуть розглядатися як аналоги подібних за природними умовами сільськогосподарських територій в інших частинах світу (рис. 1).

Очевидно, що підвищуючи врожайність сільськогосподарських культур агротехнічні заходи позитивно впливають на накопичення органічних залишків в кореневмісному шарі ґрунту. Перш за все це оптимізація живильного і водно-повітряного режимів ґрунтового покриву, поліпшення його фізико-хімічних і агрофізичних параметрів. Проте на відміну від наземної біомаси точно оцінити обсяги накопичення органічного вуглецю в кореневмісному шарі значно складніше [10; 3; 11]. Важливо також враховувати саме тривалість впливу прогресивних або деструктивних агротехнологій та систем землеробства на ґрунт. Наприклад, під впливом систематичного застосування збалансованих доз органічних і мінеральних добрив запаси органічної речовини і доступних форм макро- і мікроелементів можуть зростати в 1,5–2 рази, що, своєю чергою, супроводжується відповідним

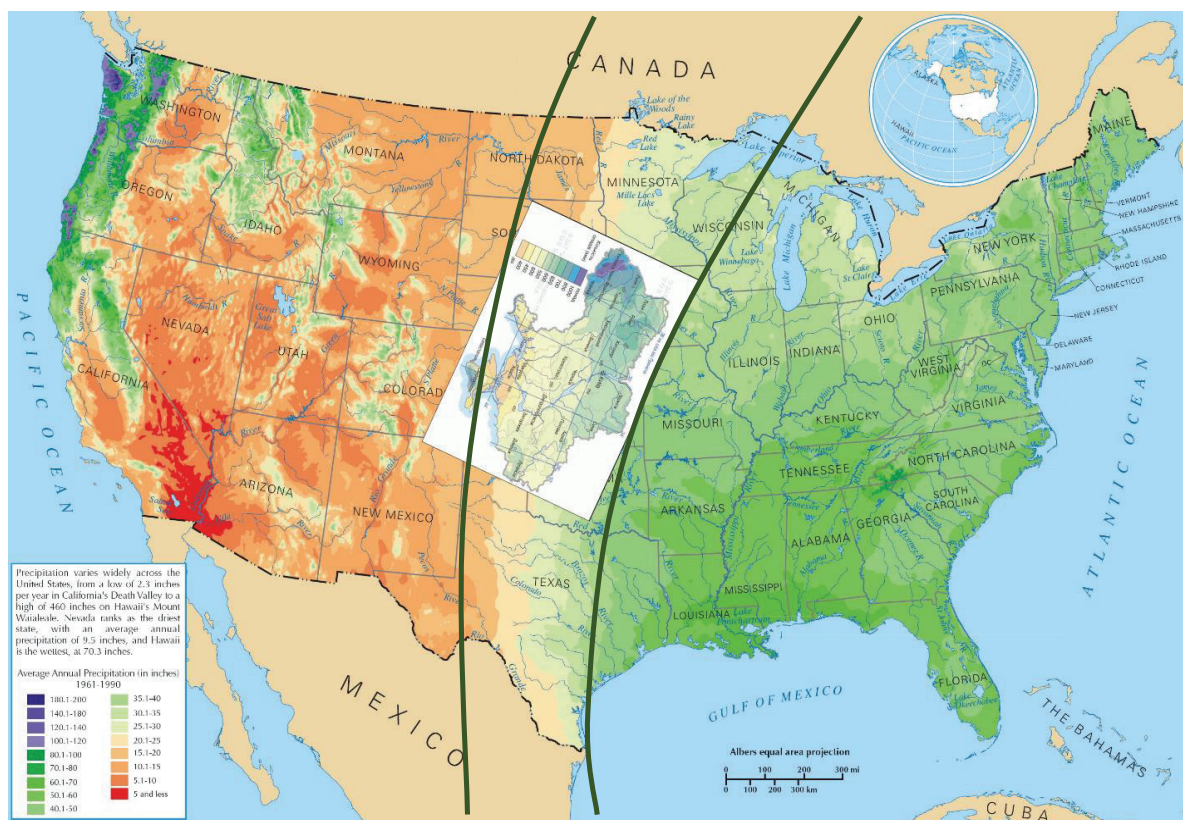


Рис. 1. Аналогічні за умовами зволоження сільськогосподарські території України і Сполучених Штатів Америки

Джерело: [9]

збільшенням продуктивності посівів щодо вихідного природного фону родючості [12; 13]. Навпаки, негативний баланс вуглецю призводить до погіршення практично всіх основних параметрів ґрунту, знижується ефективність мінеральних добрив і внаслідок падіння продуктивності сівозміни ще в більшій мірі загострюється дефіцит рослинних рештків в кореневмісному шарі [14; 4]. У зв'язку з цим ефективність різних агротехнологій або їх елементів доцільно вивчати в тривалих стаціонарних дослідках [15; 16]. Це системи застосування добрив, обробітку ґрунту, сівозміни, зрошення та осушення. Так само варіанти цих дослідів можна розглядати як елементарні моделі аграрного виробництва певної спеціалізації з відповідними рівнями рециркуляції вуглецю, азоту та інших біогенних елементів. Наприклад, варіанти з тривалим застосуванням відходів тваринництва на добриво імітують галузеву структуру з розвиненим тваринництвом; систематичне внесення тільки мінеральних добрив, заорювання соломи і зеленої маси сидератів характерно для рослинницької спеціалізації; застосування біогумусу моделює біоенергетичну спрямованість виробничої системи з отриманням біогазу та т. д. [17; 18].

Більшість експериментальних полігонів (по Україні їх понад 100) закладені в другій половині минулого століття і завдяки наявності довгих рядів інформації по врожайності культур і зміні основних параметрів ґрунтового покриву дозволяють досить об'єктивно оцінювати результати тривалого застосування різних систем землеробства або їх складових, в т. ч. за обсягами накопичення соломи, кореневої біомаси та післяжнивних решток. Більш того, основна перевага такого підходу полягає в можливості простежити закономірності трансформації накопиченої в ґрунті за вегетаційний період органічної маси в гумусові речовини і вуглекислий газ [5]. Це ж стосується зв'язаного ґрунтовими мікроорганізмами органічного і внесеного з мінеральними добривами мінерального азоту. Отже, дослідження доцільно проводити на експериментальній і інформаційній базі агротехнічних дослідів, розміщених у найбільш характерних і контрастних по ґрунтово-кліматичних умовах сільськогосподарських регіонах.

Відомо, що одним із головних блоків досліджень має стати вивчення співвідношень основної, побічної продукції врожаю, а також корневих і рослинних залишків на різних агрофонах з використанням перспективних сортів і гібридів сільськогосподар-

ських культур. Це необхідно для отримання відповідних рівнянь регресії. Важливо також встановити взаємозв'язок між фенологічними показниками на різних етапах росту і розвитку рослин (висота, площа листового апарату і ін.) і динамікою розвитку їх кореневої системи, змістом у ґрунті різних сполук азоту та інших елементів живлення, реакцією ґрунтового розчину, запасами вологи та ін.

Найважливішим фактором зростання і розвитку рослин, в т. ч. за допомогою впливу на спрямованість процесів трансформації органічного вуглецю і різних форм азоту ґрунту, є водно-повітряний режим рослини. В цьому аспекті, з одного боку, необхідно встановити значення інтенсивності росту, розвитку і проникнення в глибші горизонти ґрунтового профілю кореневої системи. З іншого боку, вимагає розуміння можливість підвищення вологоутримуючої здатності ґрунту внаслідок збільшення вмісту органічної речовини в ньому.

Відомо, що інтенсивність емісії N_2O залежить від активності засвоєння рослинами і ґрунтовими мікроорганізмами мінерального азоту ($N-NO_3 + N-NH_4$), в т. ч. мінеральних добрив. У разі його дефіциту останні заповнюють недостачу шляхом руйнування ґрунтової органічної речовини з відповідним збільшенням викидів CO_2 в атмосферу. Тобто, емісія обох газів взаємопов'язана і безпосередньо залежить від співвідношення вуглецю свіжої органічної речовини і мінерального азоту – 3:N. Отже, для визначення оптимальних інтервалів співвідношення C:N також потрібні відповідні дослідження.

Для більш глибокого розуміння спрямованості процесів трансформації органічного вуглецю і різних форм азоту важливо також встановити коефіцієнти гуміфікації (депонування) рослинних залишків, активність процесів нітрифікації, целюлозно розкладницьку і протеолітичну здатність ґрунту, активність ферментів поліфенолоксидази і пероксидази, а також провести безпосереднє пряме вимірювання обсягів емісії CO_2 і N_2O . Отже, одночасне вимірювання і визначення зазначених вище показників, в т. ч. з використанням оптичних експрес – методів, доцільно здійснювати за етапами органогенезу польових культур, що дозволить встановити залежності між ними, розробити критерії та індикатори для ефективного регулювання кругообігу азоту і вуглецю в системі «ґрунт – рослина – атмосфера», розробити моделі формування і трансформації корневих та інших рослинних залишків з урахуванням

мінливих агрометеорологічних факторів, сівозмін, особливостей галузевої структури аграрного виробництва, сортів і гібридів польових культур. У перспективі це дозволить визначитися зі спрямованістю селекційної роботи з метою збільшення обсягів накопичення кореневої маси і досягнення гарантовано бездефіцитного балансу органічного вуглецю в ґрунті.

Доцільність застосування такого підходу підтверджується раніше проведеними дослідженнями (рис. 2).

Наприклад, встановлено, що зміст стабільних гумусових сполук у чорноземі типовому не змінюється, а сезонна динаміка лабільної органічної речовини в ґрунті залежить від обсягів надходження рослинних залишків, перш за все кореневої маси, і активності їх мінералізації. Перший етап – під час росту культури і після збирання врожаю відбувається первинна деструкція свіжої кореневої маси, яка поступово відмирає протягом вегетаційного періоду з накопиченням проміжних продуктів розкладання. На другому етапі, що належить до осінньо-зимового періоду, а також до початку вегетації наступної культури, відбувається значне підвищення активності мінералізації і швидке розкладання лабільних органічних сполук, що утворилися з рослинних залишків попередньої культури. Очевидно, що ця фракція гумусових речовин є важливим резервом елементів живлення і енергетичним матеріалом для ґрунтових мікроорганізмів, що забезпечує сприятливі умови росту і розвитку культурних рослин у першій половині вегетації, коли їх коренева система розвинена недостатньо.

Можливо саме вихідна кількість детриту, поряд з іншими факторами, що впливають на

продуктивність посівів, значною мірою визначає рівень врожайності наступної культури.

Азотний режим ґрунту визначається, головним чином, виносом азоту врожаєм і спрямованістю трансформації органічних сполук (рис. 3).

За зимовий період і в першій половині вегетації у всіх культур сівозміни відбувається мінералізація лабільної органічної речовини, що утворилася з рослинних рештків попередника, з одночасним накопиченням легкогідролізованих сполук азоту, які в подальшому мінералізуються до нітратного і аміачного азоту. Саме в цей період рослини засвоюють його найбільш активно і дози азотних мінеральних добрив необхідно встановлювати з розрахунку на запланований урожай.

У перспективі проведені дослідження дозволять цілеспрямовано і ефективно регулювати кругообіг вуглецю і азоту, як на рівні окремих аграрних виробничих систем, так і в масштабах одноманітних сільськогосподарських територій і регіонів з урахуванням усієї множини змінних факторів, в т. ч. нових сортів і гібридів, особливостей галузевої структури виробництва, змін клімату та ін. (рис. 4)

Для проведення кореневого фенотипування в польових умовах пропонується використання методу НВЧ-радіометрії [19–22]. На відміну від поширених польових методів НВЧ-радіометр є пасивним недеструктивним методом дослідження. Сучасний СВЧ-радіометр (Microwave Radiometry) становить собою ефективний апаратний засіб дистанційного обстеження територій і акваторій, котрими цікавиться розробник.

НВЧ-радіометрія базується на відомому радіофізичному явищі: сухі об'єкти та

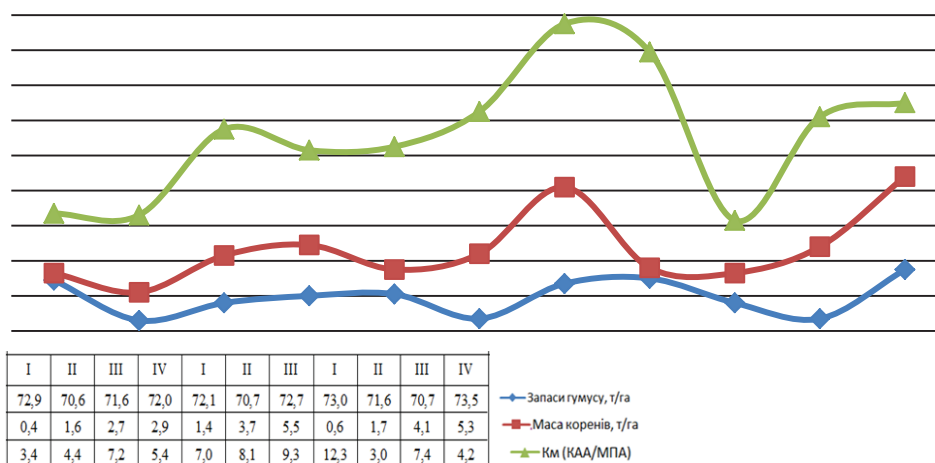


Рис. 2. Динаміка накопичення кореневої маси, запасів органічної речовини в ґрунті і активність його мінералізації протягом 3 років

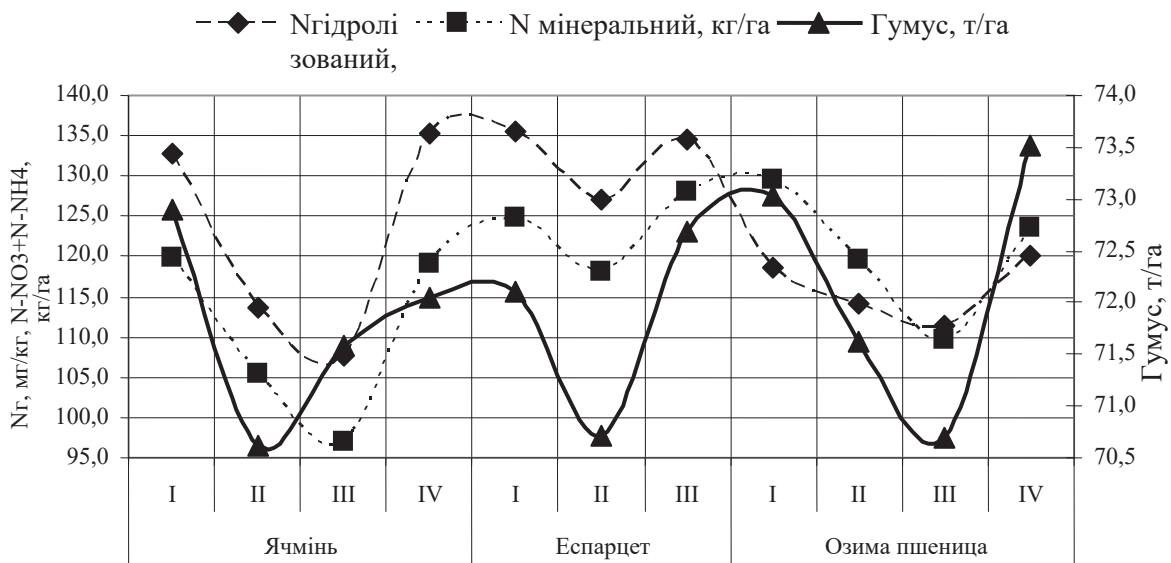


Рис. 3. Динаміка запасів гумусу та азоту в чорноземі типовому в ланці сівозміни

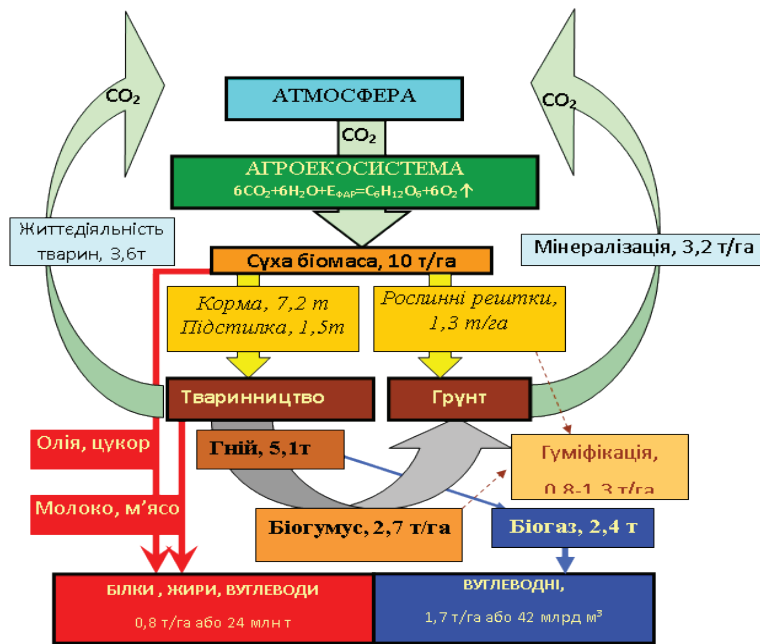


Рис. 4. Модель розподілу органічного вуглецю рослинної біомаси між продовольством, біоенергією, ґрунтом і емісією CO_2

об'єкти, насичені вологою, мають у сантиметрових діапазонах різну величину власного випромінювання. При цьому інформаційно корисною ділянкою радіодіапазону є спектр довжин електромагнітних хвиль приблизно від 2 см до 20–22 см. Отже, йдеться не про обробку відбитого сигналу (по типу радіолокації), а про вимірювання і обробку власного характеристичного випромінювання обстежуваних об'єктів.

Для сільськогосподарського використання може бути рекомендований розроб-

лений раніше вимірювальний комплекс: багатоканальні СВЧ-радіоприймачі, фотометрія, методи картування і оцінки інформації. В якості носіїв можуть застосовуватися наземні платформи і безпілотні літальні радіокеровані засоби. В якості системи, що обробляє отриманий сигнал, може використовуватися зростаюча пірамідальна мережа (ЗПМ). У ЗПМ мережева пам'ять самоналаштовується на структуру вхідної інформації, в результаті чого досягається оптимізація рішення і, на відміну від

нейронних мереж, адаптація досягається без надмірності мережі.

У ЗПМ вдається не тільки знайти залежності, що забезпечують рішення задачі, але і створити логічні описи залежностей в нотації логіки висловлювань і в явному вигляді пояснити прийняте рішення. ЗПМ є динамічною структурою, яка перебудовується залежно від того, яка надходить до неї інформація.

За рахунок асоціативності та ієрархічності мережі ЗПМ дозволяє обробляти великі обсяги даних в реальному часі, а також одночасно за універсальним алгоритмом обробляти і знаходити закономірності в різнотипних даних (як числових, так і номінальних). Цим досягається незалежність використання програмного комплексу підтримки прийняття рішень від проблемної області.

Зазначене обладнання (апаратні і програмні засоби) успішно застосовувалися протягом кількох років для оцінки водного фактора, рівня ґрунтових вод, забруднення ґрунтів і водою органікою, нафтопродуктами, для оцінки ступеня мінералізації і інших вимірів – у різних кліматичних і ґрунтових зонах. Конкретному визначенню ступеня розвитку кореневої маси в польових умовах повинна передувати невелика за обсягом дослідницька лабораторна робота.

Вартість одиниці інформації, що забезпечується СВЧ-радіометричним комплексом при використанні спецавтомашин або безпілотників, нижче, ніж вартість витрат при проведенні контактних робіт або використанні інших засобів. Запропонований комплекс, як цілісна вимірювальна система, не має рівних практично за всіма показниками. Він є найбільш ефективним, дешевим і технологічним серед відомих.

Висновки. Отже, методологія оцінки обсягів накопичення доступних форм азоту, кореневої маси та інших рослинних рештків, виявлення закономірностей їх трансформації, з урахуванням органічних добрив, в стабільні органічні речовини і парникові гази ґрунтується на проведенні вимірювань низки показників в процесі вегетації перспективних сортів і гібридів на агрофонах, що моделюють різну спеціалізацію аграрного виробництва. Залежності, встановлені між цими показниками, дозволять розробити моделі оптимізації кругообігу біогенних елементів і запропонувати агротехнології, системи землеробства і системи аграрного виробництва, здатні акумулювати на 50% більше вуглецю, на 50% скоротити викиди N_2O і на 25% підвищити ефективність використання ґрунтової вологи.

Бібліографія

1. Proceedings of the Global Symposium on Soil Organic Carbon 2017. <http://www.fao.org/about/meetings/soil-organic-carbon-symposium/key-messages/ru/>
2. Kudeyarov V.N. Current state of the carbon budget and the capacity of Russian soils for carbon sequestration // Eurasian Soil Science. 2015. Т. 48. № 9. С. 923–933.
3. Бацула О.О., Скрильник С.В., Кравець Т.Ф. Вплив добрив і рослинних решток на гумусний стан ґрунтів. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 1998. Вип. 55. С. 115–121.
4. Дегтярьов В.В. Колоїдно-хімічна характеристика гумусово-акумулятивного ґрунтоутворення і родючості природних й агрогенних чорноземів Лівобережного Лісостепу та Степу України : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. с.-г. наук : спец. 06.01.03 «Агроґрунтознавство і агрофізика». Київ, 2010. 41 с.
5. Трофименко П.І., Трофименко Н.В. Інтенсивність емісії CO_2 з ґрунтів Полісся під час вегетації культур та домінантність зумовлюючих її чинників. *Меліорація і водне господарство*. Міжв. тем. наук. зб. 2018. № 1(107). С. 47–54.
6. Атлас мира: Максимально подробная информация / руководители проекта: А.Н. Бушнев, А.П. Притворов. Москва : АСТ, 2017. С. 28–96. ISBN 978-5-17-10261-4.
7. Украинская Советская Социалистическая Республика : энцикл. справ. / гл. ред. А.В. Кудрицкий и др. Киев : УСЭ. 1987. 516 с.
8. Атлас почв Украинской ССР / под. ред. Крупского Н.К., Полупана Н.И. Киев : Урожай, 1979. 160 с.
9. Average precipitation in the lower 48 states of the USA.png. <https://translate.google.com/?hl=uk&sl=en&tl=uk&text=Average%20precipitation%20in%20the%20lower%2048%20states%20of%20the%20USA.png&op=translate>
10. Бацула О.О., Чесняк Г.Я. Розрахунок балансу гумусу в ґрунті та норм органічних добрив для його бездефіцитного вмісту. *Забезпечення бездефіцитного балансу гумусу в ґрунті*. Київ : Урожай, 1987. С. 103–107.
11. Берестецкий О.А., Возняковская Ю.М., Доросинский Л.М. Биологические основы плодородия почв. Москва : Колос, 1983. 287 с.

12. Балаєв А.Д. Вміст гумусу та лабільних органічних речовин за різного використання чорнозему типового. Науковий журнал «Рослинництво та ґрунтознавство». 2019. [V. I.] № 286, С. 173–179.
13. Лыков А.М. Воспроизводство плодородия почв в Нечерноземной зоне. Москва : Колос, 1982. 142 с.
14. Александрова Л.Н. Органическое вещество почв и процессы его трансформации. Ленинград : Наука, 1980. 286 с.
15. Довгострокові стаціонарні польові дослідження України. Реєстр атестатів. Харків : Вид. «Друкарня №13». 2006. 120 с.
16. Стаціонарні польові дослідження України. Реєстр атестатів. Київ : Аграр. наука, 2014. 146 с.
17. Формування систем аграрного виробництва на осушуваних землях Центрального Полісся // Рекомендації. Київ : ЦП «Компринт», 2016. 142 с.
18. Меліоровані агроєкосистеми. Ніжин : Видавець ПП Лисенко М.М., 2017. 696 с.
19. Kondratyev K. Ya., Johannessen O. M., Melentyev V. V. High Latitude Climate and Remote Sensing. John Wiley-Praxis Series in Remote Sensing. PRAXIS Publishing Ltd. Chichester, West Sussex, England. 1996. Chichester, UK. 200 p.
20. Радиометрическая система для сбора и обработки информации о влажности почвогрунтов с борта беспилотного летательного аппарата. Сидоров И.А. и др. / 56-я Научно-техническая конференция, посвященная 60-летию МИРЭА : сборник трудов. Москва : МИРЭА, 14–24 мая 2007 года.
21. Состояние и перспективы радиофизических исследований атмосферы и подстилающей поверхности. Г.Г. Щукин и др. / Труды ГГО, 2009, вып. 560, С. 143–167.
22. Westwater, E. R., S. Crewell, C. Mätzler, and D. Cimini. Principles of Surface-based Microwave and Millimeter wave Radiometric Remote Sensing of the Troposphere, Quaderni Della Societa Italiana di Elettromagnetismo, 1(3), September 2005. P. 50–90.

References

1. Proceedings of the Global Symposium on Soil Organic Carbon (2017). Retrieved from <http://www.fao.org/about/meetings/soil-organic-carbon-symposium/key-messages/ru/> [in Russian]
2. Kudeyarov, V.N. (2015). Current state of the carbon budget and the capacity of Russian soils for carbon sequestration. Eurasian Soil Science, T. 48, 9, 923–933.
3. Batsula, O.O., Skrylnyk, S.V., & Kravets, T.F. (1998). Vplyv dobryv i roslynnykh reshtok na humusnyi stan gruntiv [Influence of fertilizers and plant residues on the humus condition of soils]. Ahrokhimiia i ґruntoznnavstvo, 55, 115–121. [in Ukrainian]
4. Dehtiarov, V.V. (2010). Koloidno-khimichna kharakterystyka humusovo-akumuliatyvnoho gruntoutvorennia i rodiuchosti pryrodnykh y ahrohennykh chornozemiv Livoberezhnoho Lisostepu ta Stepu Ukrainy [Colloid-chemical characteristics of humus-accumulative soil formation and fertility of natural and agrogenic chernozems of the Left-Bank Forest-Steppe and Steppe of Ukraine]. Extended abstract of Doctor's thesis. Kyiv. [in Ukrainian]
5. Trofymenko, P.I., & Trofymenko, N.V. (2018). Intensyvnist emisii SO₂ z gruntiv Polissia pid chas vehetatsii kultur ta dominantnist zmovliuiuchykh yii chynnykiv [Intensity of CO₂ emissions from Polissya soils during crop vegetation and dominance of its determining factors]. Melioratsiia i vodne hospodarstvo, 107, 47–54. [in Ukrainian]
6. Bushnev, A.N., & Prytvorov, A.P. (2017). M. Atlas myra: Maksymalno podrobnaia ynformatsiia [Atlas of the world: The most detailed information]. Moskva : Yzdatelstvo ACT. [in Russian]
7. Kudrytsky, A.V. (1987). Ukraynskaia Sovetskaia Sotsyalystycheskaia Respublyka : Entsyklopediia. Spravochnik. [Ukrainian Soviet Socialist Republic : Encyclopedia. Directory]. Kyiv. [in Ukrainian]
8. Krupskoho, N.K., & Polupana, N.Y. (1979). Atlas pochv Ukraynskoi SSR [Atlas of soils of the Ukrainian SSR]. Kyiv. [in Ukrainian]
9. Average precipitation in the lower 48 states of the USA. png. Retrieved from <https://translate.google.com/?hl=uk&sl=en&tl=uk&text=Average%20precipitation%20in%20the%20lower%2048%20states%20of%20the%20USA.png&op=translate> [on English]
10. Batsula, O.O., & Chesniak, H.Ia. (1987). Rozrakhunok balansu humusu v hrunti ta norm orhanychnykh dobryv dlia yoho bezdefitsytnoho vmistu. Zabezpechennia bezdefitsytnoho balansu humusu v hrunti. [Calculation of the balance of humus in the soil and the norms of organic fertilizers for its deficient content. Ensuring a deficit-free balance of humus in the soil]. Kyiv : Urozhai. [in Ukrainian]

11. Berestetskyi, O.A., Vozniakovskaia, Yu.M., & Dorosynskyi, L.M. (1983). Byolohycheskye osnovy plodorodiya pochv [Biological bases of soil fertility]. Moskva : Kolos. [in Russian]
12. Balaiev, A.D. (2019). Vmist humusu ta labilnykh orhanichnykh rehovyn za riznogo vykorystannia chornozemu typovoho [Content of humus and labile organic substances with different use of typical chernozem]. Naukovyi zhurnal Roslynnnytstvo ta gruntoznavstvo, 286, 173–179. [in Ukrainian]
13. Lyikov, A.M. (1982). Vosproizvodstvo plodorodiya pochv v Nechernozemnoy zone [Reproduction of soil fertility in the Non-Chernozem zone]. Moskva : Kolos. [in Russian]
14. Aleksandrova, L.N. (1980). Organicheskoe veschestvo pochv i protsessy ego transformatsii [Soil organic matter and its transformation processes]. Lviv : Nauka. [in Russian]
15. Dovhostrokovyi statsionarni polovi doslidy Ukrainy. Reiestr atestativ [Long-term stationary field experiments in Ukraine. Register of certificates]. (2006). Kharkiv : Drukarnia. [in Ukrainian]
16. Statsionarni polovi doslidy Ukrainy. Reiestr atestativ [Stationary field experiments in Ukraine. Register of certificates]. (2014). Kyiv : Ahrararna Nauka. [in Ukrainian]
17. Rekomendatsii. Formuvannia system ahrarnoho vyrobnytstva na osushuvanykh zemliakh Tsentralnoho Polissia [Recommendations. Formation of systems of agricultural production on drained lands of Central Polissya]. (2016). Kyiv : TsP Komprint. [in Ukrainian]
18. Meliorovani ahroekosystemy [Reclaimed agroecosystems]. (2017). Nizhyn : PP Lysenko, M.M. [in Ukrainian]
19. Kondratyev K.Ya., Johannessen, O.M., & Melentyev, V.V. (1996). High Latitude Climate and Remote Sensing. John Wiley-Praxis Series in Remote Sensing. Chichester : Publishing Ltd.
20. Sidorov, I.A., Belousov, O.B., Shutko, A.M., Novochihin, E.P., Gorbachev, D.A., & Archer, F. (2007). Radiometricheskaya sistema dlya sbora i obrabotki informatsii o vlazhnosti pochvo-gruntov s borta bespilotnogo letatel'nogo apparata [Radiometric system for collecting and processing information on soil moisture from aboard an unmanned aerial vehicle]. 56-ya Nauchno tehnikeskaya konferentsiya, posvyashchennaya 60-letiyu MIREA : Sbornik trudov. Moskva : MIREA. [in Russian]
21. Schukin G.G., Stepanenko V.D., Obratsov S.P., Karavaev D.M., Zhukov V.Yu., & Ryibakov, Yu.V. (2009). Sostoyanie i perspektivy radiofizicheskikh issledovaniy atmosfery i podstilayushey poverhnosti [Status and prospects of radiophysical studies of the atmosphere and the underlying surface]. Trudy GGO, 560, 143–167. [in Russian]
22. Westwater, E.R., Crewell S., Mätzler C., & Cimini D. (2005). Principles of Surface-based Microwave and Millimeter wave Radiometric Remote Sensing of the Troposphere. Quaderni Della Societa Italiana di Elettromagnetismo, 1(3), 50–90.

Ю.А. Тарарико, В.П. Лукашук

Перспективы международных комплексных исследований круговорота углерода в системе «почва-растение-атмосфера»

***Аннотация.** Украина расположена на широте Франции, северной части Соединённых Штатов Америки и южных районов Канады, имеет аналогичные с этими странами природные условия. Различные по почвенно-климатическим условиям регионы ведения земледелия в Украине могут рассматриваться как аналоги схожих по природным условиям сельскохозяйственных территорий в других частях света. Почвы с высоким содержанием углерода являются более продуктивными и способны лучше фильтровать и очищать воду. Вода, удерживаемая в почве, служит в качестве источника для 90% мировой сельскохозяйственной продукции. Один из главных блоков исследований – это изучение соотношений основной, побочной продукции урожая, а также корневых и растительных остатков на различных агрофонах с использованием перспективных сортов и гибридов сельскохозяйственных культур. Использование оптических экспресс – методов целесообразно осуществлять по этапам органогенеза полевых культур, что позволит установить зависимости между ними, разработать критерии и индикаторы для эффективного регулирования круговорота азота и углерода в системе «почва – растение – атмосфера», разработать модели формирования и трансформации корневых и других растительных остатков с учётом изменяющихся агрометеорологических факторов, севооборотов, особенностей отраслевой структуры аграрного производства, сортов и гибридов полевых культур. В перспективе это даст возможность определиться с направленностью селекционной работы с целью увеличения объёмов накопления корневой массы и достижения гарантировано бездефицитного баланса органического углерода в почве. Также исследования позволят целенаправленно и эффективно регулировать круговорот углерода и азота как на уровне отдельных аграрных производственных систем, так и в масштабах однообразных сельскохозяйственных территорий и регионов с учётом всего множества изменяемых факторов, в т.ч. особенностей отраслевой структуры производства, изменений климата и др.*

***Ключевые слова:** почва, почвенная влага, углерод, система «почва-растение-атмосфера», изменения климата, выбросы N_2O*

Yu.O. Tarariko, V.P. Lukashuk

**Prospects for international integrated research
of the carbon cycle in the system “soil-plant-atmosphere”**

Abstract. Ukraine is located about at the latitude of France, the northern part of the United States and southern Canada and has similar to these countries natural conditions. Different in terms of soil and climate conditions, the regions of agriculture in Ukraine can be considered as analogues of similar natural conditions of agricultural areas in other parts of the world. Soils with a high carbon content are more productive and able to better filter and purify water. Water contained in the soil serves as a moisture source for 90% of world agricultural production. One of the main areas of research is the study of the ratios of main products and by-products of yield, as well as root and plant residues when having different soil fertility and using promising varieties and hybrids of crops. The use of optical express methods should be carried out according to the stages of organogenesis of field crops, which will enable to specify the relationships between them, to develop criteria and indicators for effective regulation of nitrogen and carbon cycle in the system “soil-plant-atmosphere”, to develop models of formation and transformation of root and other plant residues taking into account changing agrometeorological factors, crop rotations, features of the branch structure of agricultural production, varieties and hybrids of field crops. In the future, this will enable to determine the areas in the selection aimed at accumulating root mass and achieving guaranteed deficit-free balance of organic carbon in the soil. The research will enable to purposefully and effectively regulate the cycle of carbon and nitrogen, both at the level of individual agricultural production systems and on the scale of the same type of agricultural areas and regions, taking into account the whole set of variables, including features of the sectoral structure of production, climate change, etc.

Key words: soil, soil moisture, carbon, “soil-plant-atmosphere” system, climate change, N₂O emissions

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202101-267>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/267>

УДК 632.7:635.64 (477.7)

ПІВДЕННОАМЕРИКАНСЬКА МІЛЬ (*TUTA ABSOLUTA*) ТА ЗАХОДИ ЗАХИСТУ ТОМАТІВ В УМОВАХ ПІВНІЧНОГО СТЕПУ УКРАЇНИ

Ф.С. Мельничук¹, канд. с.-г. наук, С.А. Алексєєва², канд. с.-г. наук, О.В. Гордієнко³,
канд. с.-г. наук, І.М. Острик⁴, канд. с.-г. наук, А.В. Антонюк⁵, канд. техн. наук

¹ Державне підприємство «Центральна лабораторія якості води та ґрунтів» ІВПіМ НААН України,
с. Гора, Бориспільський р-н, Київська обл., Україна;
<https://orcid.org/0000-0003-2711-5185>, e-mail: melnichukf@ukr.net;

² Державне підприємство «Центральна лабораторія якості води та ґрунтів» ІВПіМ НААН України,
с. Гора, Бориспільський р-н, Київська обл., Україна;
<https://orcid.org/0000-0001-8463-4614>, e-mail: alekseeva_svetlana@ukr.net;

³ Державне підприємство «Центральна лабораторія якості води та ґрунтів» ІВПіМ НААН України,
с. Гора, Бориспільський р-н, Київська обл., Україна;
<https://orcid.org/0000-0001-9488-916X>, e-mail: gordienkoav@ukr.net;

⁴ Державне підприємство «Центральна лабораторія якості води та ґрунтів» ІВПіМ НААН України,
с. Гора, Бориспільський р-н, Київська обл., Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-1083-8080>, ostryk75@gmail.com;

⁵ Кам'янсько-Дніпровська дослідна станція ІВПіМ НААН України,
м. Кам'янка-Дніпровська, Запорізька обл., Україна;
<https://orcid.org/0000-0003-1436-3083>, antonuk.andrey88@gmail.com

Анотація. Вирощування пасльонових культур потребує достатньої кількості вологи та тепла. В Україні таким умовам найбільше відповідають південні області: Херсонська, Миколаївська, Одеська, Запорізька, а також АР Крим, де середня врожайність томатів становить близько 30 т/га, а посівні площі займають біля 470 тис. га. Томати є головними рослинами-господарями південноамериканської томатної молі. Пошкоджене листя, плоди та вегетативні бутони стають своєрідними «воротами інфекції» для ураження рослин культури грибними патогенами. Живлення фітофага на плодах томатів призводить до їх опадання. Втрати врожаю можуть сягати 100%. Пошук науково-обґрунтованих методів контролю цього фітофага, зокрема дослідження ефективності сучасних інсектицидів способом обприскування та краплинного внесення сумісно зі зрошенням проти південноамериканської томатної молі в умовах Степу України, є актуальним. При проведенні фітосанітарної оцінки дослідних ділянок томатів перед обробкою їх інсектицидами було встановлено високу чисельність личинок південноамериканської томатної молі, яка на контрольних ділянках в середньому становила 3,1–7,0 екз./рослину перед першим застосуванням інсектицидів, та 9,1–20,6 екз./рослину перед другим. Інсектицид Ексірель, СЕ (ціантраніліпрол 100 г/л) з нормами витрати 1,0 л/га та 1,5 л/га за двократного обприскування у дрібноділянковому досліді на помідорах відкритого ґрунту забезпечував ефективність проти гусениць томатної молі на рівні 91,1% та 99,5% на 3-й день після застосування, а тривалість його токсичної дії перевищувала 14 днів. В умовах закритого ґрунту при застосуванні інсектицидів способом крапельного зрошення інсектицид Верімарк, КС (ціантраніліпрол, 200 г/л) з нормами витрати 0,5 та 0,75 л/га забезпечував ефективність проти гусениць шкідника через 3 дні після внесення в середньому на рівні 92,4–100,0%, а тривалість токсичної дії становила більше двох тижнів. Використання інсектицидів одночасно з краплинним зрошенням за рахунок локального їх внесення забезпечувало високу ефективність препаратів проти личинок фітофага, не поступаючись за тривалістю токсичної дії препаратів, порівняно зі способом обприскування.

Ключові слова: помідори, південноамериканська томатна міль, фітофаг, шкідник, обприскування, краплинне внесення, інсектициди, ефективність

Вступ. Помідори пошкоджуються значною кількістю видів комах. Останнім часом основним шкідником стала південноамериканська томатна міль (латинська назва *Tuta absoluta* Meug.), яка в регіонах розповсюдження може призводити до 30–90% втрат врожаю культури. На даний час ця тропічна комаха набула значного географічного поши-

рення внаслідок зростання площ під посівами пасльонових та їх обсягів виробництва в країнах Південної Європи та Північної Африки [1; 2; 3].

Шкідник швидко став потенційною загрозою для світового виробництва цієї культури, а втрати врожаю від нього роблять вирощування помідорів збитковим.

За останні роки є неодноразові повідомлення Держпродспоживслужби України про виявлення південноамериканської томатної молі в імпортній продукції пасльонових культур. Шкідника досить часто знаходять в помідорах, імпортованих із Туреччини, Іспанії, Єгипту та Марокко, що додатково сприяє його інвазії та експансії на нові території, ускладнюючи тим самим його контроль.

Походження. Належить до ряду лускокрилих (Lepidoptera), родини виїмчатокрилімолі–Gelechiidae. Південноамериканська томатна міль уперше була описана як шкідник в Перу, хоча окремі випадки пошкодження фітофагом плодів помідору відзначали ще раніше – при обміні та торгівлі між Чилі та Аргентиною [4]. В подальшому цього шкідника виявлено в польових умовах Аргентини, Болівії, Бразилії, Чилі, Колумбії, Еквадору, Парагваю, Перу, Уругваю та Венесуели. Цей вид зустрічається на відкритих ділянках, розташованих до 1000 м над рівнем моря, а також у теплицях, зокрема в Колумбії і Перу, на висоті до 3500 м. Є повідомлення про його виявлення на острові Пасхи та інформація про пошкодження пасльонових в Японії [5; 6; 7].

У Європі вперше шкідника було виявлено в Іспанії у 2006 р., а уже через рік його появу реєстрували в Марокко, Тунісі, Алжирі, на півдні Франції, в Італії. У 2009 р. міль виявлено і в Йорданії. Впродовж одного року вона швидко поширилася і навіть подекуди повністю знищувала урожай помідорів. На сьогодні шкідник повсюдно заселив території Італії, Франції, Мальти, Великобританії,

Греції, Швейцарії, Португалії, Марокко, Алжиру, Тунісу, Лівії та Албанії (рис. 1). У 2011 р. відзначено його появу в тепличному господарстві КСУП «Брильова» Гомельської області (Білорусь), в РФ (Краснодарський край, Адигея) [8; 9; 10].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Для вирощування пасльонових культур (а саме помідорів) потрібна достатня кількість вологи та тепла. В Україні такі умови є на півдні – в Херсонській, Миколаївській, Одеській, Запорізькій областях та в АР Крим, де середня врожайність помідорів становить близько 30 т/га, а посівні площі займають біля 470 тис. га. Умови вирощування в цій зоні прирівнюються до умов Каліфорнії (США), які вважаються наближеними до ідеальних. Переважна більшість площ (майже 800 га, або 96%) – присадибні ділянки, де міль знищує врожай помідорів практично на 100% через брак обізнаності фермерів та господарів із запобіжними заходами щодо попередження занесення шкідника на ділянки, а також методами контролю його чисельності [11; 12].

В Україні є кілька повідомлень про виявлення цього шкідника: у 2012 р. знайдено в Автономній Республіці Крим на площі 1 га та в Одеській області (8 га). У 2014 р. площа під ураженими рослинами помідорів сягала 191 га (в Автономній Республіці Крим та 3 областях). У 2018 р. за даними Департаменту фітосанітарної безпеки, контролю в сфері насінництва та розсадництва загальна площа зараження фітофагом становила 830 га: в Миколаївській (796 га), Одеській (8 га) та Херсонській (26 га)

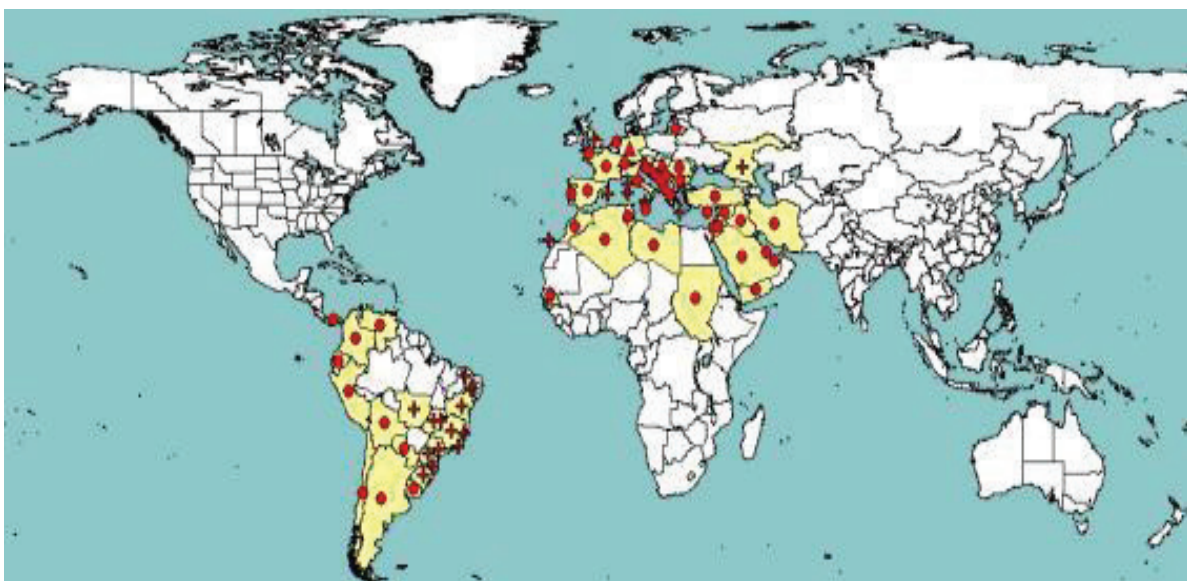


Рис. 1 Поширення *T. absoluta* Меур. в країнах світу з PQR [10]:

● поширення по всій площі країни; + обмежене поширення.

областях [13]. Станом на 01.01.2019 загальна площа зараження становить 966,57 га [14]. За підсумками національних спостережень фахівців Держпродспоживслужби і проведеного моніторингу пасльонових насаджень можна стверджувати, що на сьогодні південноамериканську томатну міль можна вважати обмежено поширеним в Україні карантинним шкідником.

Актуальність. Те, що шкідник за такий короткий період зміг розповсюдитись далеко за межі свого первинного ареалу, свідчить про його високу адаптивну здатність до кліматичних та природних умов. Також неабияку роль відіграє його спроможність до розмноження впродовж цілого року. Серед чинників, що сприяють поширенню фітофага на міжконтинентальному рівні, найбільшу роль відіграє неконтрольована торгівля зараженими плодами з частинками рослин, а локальному поширенню з одного поля на інше сприяє здатність імаго до активного льоту.

Тому дослідження ефективності сучасних інсектицидів способом обприскування та краплинного внесення сумісно зі зрошенням проти південноамериканської томатної молі в умовах Степу України є актуальним.

Морфологія та біологічні особливості розвитку. Яйце цього шкідника еліптично циліндричне зі згладженими кінцями, завдовжки 0,35–0,38 мм і завширшки 0,22–0,25 мм, біле. В міру формування в ньому личинки колір яйця змінюється на жовтий і коричневий. Хоріон покритий мікроскульптурною сіткою [15].

Гусениця майже циліндрична з чітко вираженою головою, трьома парами грудних ніг і п'ятьма парами черевних несправжніх ніг. Колір, протягом усього розвитку жовтуватий або зеленкуватий, на спині переважно більш-менш помітно інтенсивний рожевий відтінок, з чітко вираженим передньогрудним щитком.

Метелик має крила сіро-коричневого кольору 0,8–1,5 см у розмаху. Статевий диморфізм проявляється в більш темному забарвленні крил у самців, ніж в особин жіночої статі. Імаго активні в сутінках та в нічні години.

Кожна особина жіночої статі за життя відкладає на пасльонові культури 150–300 яєць. Стадія яйця триває 4–6 днів. Гусениці, які щойно вилупилися з яєць, переміщуються від місця свого відродження (особливо, якщо вони перебували в групах) і через 5–40 хвилин починають живитися паренхімою листя або м'якоттю плода. Гусениця живиться паренхімою листка, утворюючи прямий отвір до 0,2 мм в ширину. Спочатку отвори від гусені

ледь помітні, оскільки вони досить часто прикриті пелюстками. Але через декілька днів пошкоджені частини починають чорніти в результаті накопичення там екскрементів. Гусінь розвивається в живих рослинних тканинах, виїдаючи міни в паренхімі листя, стебла або плоду. На листках та стеблах вони утворюють великі ходи – міни у вигляді звивистих плям від 2,0 до 2,5 см завширшки. В процесі розвитку личинки можуть залишати свої перші місця живлення з пошкодженнями через відсутність інших умов (температура тощо) і починати пошкоджувати рослини в інших місцях.

Згодом гусениці заляльковуються всередині ушкоджених листків або в ґрунті. Розміри лялечки коливаються в межах 1,0–1,5 см. Спочатку вона має зеленкуватий колір, а потім стає коричневою. Стадія лялечки триває близько 10–15 днів. Характерною особливістю шкідника є його унікальна здатність зимувати в будь-якому стані – яйця, личинки, лялечки чи імаго. Повний життєвий цикл томатної молі триває 24–40 днів. Фітофаг може мати до 12 поколінь на рік.

Шкодочинність. Томати є головними рослинами-господарями південноамериканської томатної молі. Пошкоджене листя, плоди та вегетативні бутони стають своєрідними «воротами інфекції» для ураження рослин культури грибними патогенами. Живлення фітофага на плодах томатів призводить до їх опадання. Рослини томатів вкрай чутливі до пошкодження *T. absoluta* Meur., оскільки втрати врожаю можуть сягати 100% [1–5]. Крім них, міль може пошкоджувати всі види рослин з родини пасльонових (*Solanaceae*): баклажани, картоплю, перець, тютюн та дикорослі пасльонові, зокрема дурман, паслін, дурман.

Завдяки стрімкому розвитку та збільшенню чисельності фітофага за сприятливих погодних умов він може в досить короткі строки повністю знищити врожай томатів. Саме тому південноамериканську томатну міль вважають одним із найбільш небезпечних і шкідливих організмів цієї культури. Через високу кількість поколінь шкідник швидко розвиває резистентність до інсектицидів. До того ж захист томатів від пошкодження міль ускладнює її прихований спосіб життя та живлення всередині рослин [15].

Заходи захисту. Біологічні. Для своєчасного виявлення шкідника і його контролю потрібно щотижня проводити обстеження посадок томатів на наявність пошкоджень. Особливу увагу слід звертати на верхній і середній яруси рослин, які більшою мірою

заселяються шкідником. За два тижні до висаджування томатів необхідно встановлювати феромонні пастки для перевірки появи імаго молі на всіх етапах вирощування томатів, збору врожаю, упаковки та в місцях продажу (на складах).

При виявленні на посадках томатів імаго *T. absoluta* необхідно терміново розпочати їх масовий відлов за допомогою феромонних пасток, в яких гумовий феромонний диспенсер, оброблений штучно синтезованим гормоном самки для приманювання самців, які прилипають до покритої клеєм основи пастки. Головна роль таких пасток у відкритому ґрунті – це виявлення періоду масового льоту імаго, що допомагає визначитися зі строками проведення заходів захисту [15].

Також для контролю чисельності фітофага використовують його природних ворогів. До них відносять яйцеїдів (*Trichogramma pretiosum*, *Trichogramma achaeae* і *Trichogrammatoidea vactrae*), застосування яких на початкових стадіях появи томатної молі забезпечує високий ступінь її контролю.

Основну частину свого життя личинки шкідника знаходяться в мінах, однак у прохолодний період доби вони можуть виходити назовні, що робить їх вразливими до паразитів і хижаків, зокрема видів клопів *Macrolophus pygmaeus* і *Nesidiocoris tenuis*. Вони живляться яйцями та личинками томатного мінера, однак ці види клопів є притаманними для території Іспанії.

Також проти шкідника можна використовувати препарати на основі бактерій *Bacillus thuringiensis* та гриба *Metarhizium anisopliae* [16].

Агротехнічні заходи. Оранка, внесення органічних добрив, зрошення, дотримання сівозміни, зокрема вилучення або заміна культур, що уражуються міллю, знищення дикорослих рослин-господарів (резерваторів), таких як паслін, знищення заражених рослин та пошкоджених плодів дають добрі результати в боротьбі із цим фітофагом.

На даний момент відсутні повідомлення стосовно наявності сортів і гібридів томатів, стійких до південноамериканської томатної молі.

Хімічний контроль. У світі для захисту рослин томатів проти південноамериканської томатної молі на сьогодні успішно використовують такі діючі речовини: Індоксакарб, Емаектин бензоат, Абамактин, Спіносад, Метафлумізон, Хлорантраніліпрол – Ринаксіпір (Кораген®), Ціантраніліпрол – Ціазіпір (Ексірель®, Верімарк®) та цироазін.

Особливої уваги заслуговують інсектициди з групи Антраніламіди. Препарати з цього хімічного класу зумовлюють миттєву зупинку

живлення шкідника. В Україні для захисту польових та овочевих культур є інсектициди Кораген® (контроль основних лускокрилих шкідників – всі стадії розвитку комах), Верімарк® та Ексірель®. У світі Верімарк® та Ексірель® є дієвим інструментом проти томатної молі і тому компанія FMC розпочала процес реєстрації препаратів для захисту томатів від шкідника в Україні.

У Переліку пестицидів і агрохімікатів, дозволених до використання в Україні, не зареєстровано інсектицидів, які потрібно використовувати лише для захисту культур від південноамериканської томатної молі. Однак вітчизняні фахівці рекомендують, у разі виявлення вогнищ шкідника застосовувати препарати на основі дозволених діючих речовин (дельтаметрину, абамактину, емаектинбензоату), а також ті, які вносять при боротьбі з картопляною міллю та іншими лускокрилими на помідорах. Так, можна використовувати такі інсектициди як Белт 480 КС (Флубендіамід, 480 г/л) (обприскування в період вегетації з нормою 0,1 л/га, 2 обробки), Воліам Флексі 300 КС (тіаметоксам, 200 г/л + хлорантраніліпрол, 100 г/л) (обприскування в період вегетації з нормою 0,3–0,4 л/га, 2 обробки), Кораген 20, КС (хлорантраніліпрол, 200 г/л) (обприскування в період вегетації з нормою 0,15–0,2 л/га, 2 обробки), та ін. [14].

Мета досліджень полягає у вивченні ефективності та тривалості токсичної дії сучасних інсектицидів способом обприскування та краплинного внесення сумісно зі зрошенням проти південноамериканської томатної молі в умовах Степу України.

Матеріали та методики дослідження. Польові випробування здійснювали у 2020 р. в умовах Запорізької обл. на базі ДП «Кам'янсько-Дніпровська дослідна станція». Для досліджень використовували препарати з групи неонікотиноїдів та антраніламідів. Норма висадки розсади томатів складала 40–45 тис./га. Розмір дослідних ділянок – 28 м² (10х2,8 м), повторність – 4-кратна.

Обліки шкідників, відбір зразків та їх аналізи проводили згідно з загально-прийнятими методиками [17]. Інсектициди застосовували способом краплинного зрошення в такому порядку: спочатку використовували близько 70–80% передбаченої для зрошення кількості води, потім у підключеній до системи зрошення ємкості (200 л) готували маточний розчин препарату і починали внесення. Після застосування препарату обов'язково промивали систему такою кількістю чистої води, яка дорівнювала об'єму

системи в цілому. Виконання цієї умови забезпечувало розподіл на дослідній ділянці повної норми препарату і запобігало виникненню його невикористаних залишків в системі зрошування [18].

Результати дослідження та їх обговорення. При проведенні фітосанітарної оцінки дослідних ділянок томатів перед обробкою їх інсектицидами було встановлено високу чисельність личинок південноамериканської томатної молі. Так, в умовах ДП «Кам'янсько-Дніпровська дослідна станція» їх нараховувалось за першого обприскування в середньому 3,1–7,0 екз./рослину, а за другого – 9,1–20,6 екз./рослину на контрольних ділянках.

Як свідчать одержані дані, досліджувані препарати на помідорах були ефективними проти шкідника (рис. 2). Інсектицид Ексірель, СЕ (ціантраніліпрол 100 г/л) з нормами витрати 1,0 л/га та 1,5 л/га за двократного обприскування у дрібноділянковому досліді на помідорах відкритого ґрунту забезпечував

ефективність проти гусениць томатної молі на рівні 91,1% та 99,5% на 3-й день після застосування. При проведенні обліків на 7-й та 14-й день відмічали низьку кількість гусениць фітофага, порівняно з контрольними ділянками. Це вказує на тривалість токсичної дії, яка перевищує 14 днів.

При проведенні обліків на чисельність південноамериканської томатної молі перед здійсненням першого внесення відмічали гусениць у середньому 5,3–9,2 екз./рослину, а перед здійсненням другого – 12,5–16,8 екз./рослину на контрольних ділянках.

В умовах закритого ґрунту при застосуванні інсектицидів способом крапельного зрошення інсектицид Верімарк, КС (ціантраніліпрол, 200 г/л) з нормами витрати 0,5 та 0,75 л/га забезпечував ефективність проти гусениць шкідника через 3 дні після внесення в середньому на рівні 92,4–100,0%, а тривалість токсичної дії становила більше двох тижнів (рис. 3).

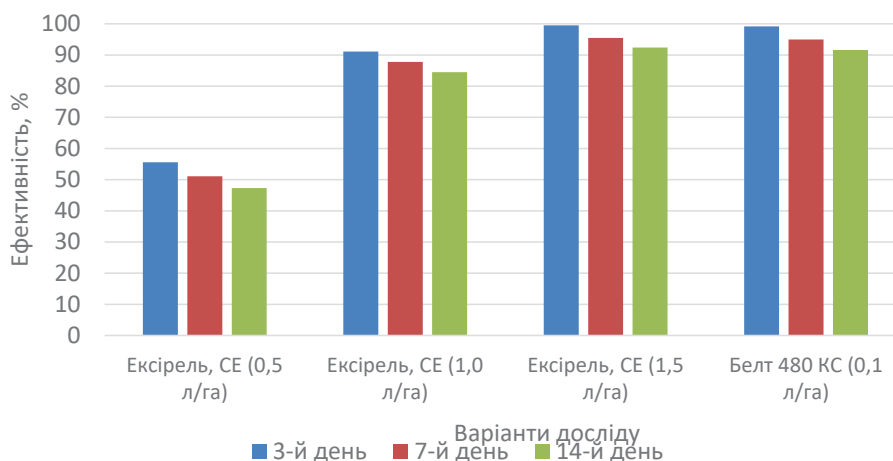


Рис. 2 Ефективність застосування інсектициду Ексірель, СЕ проти томатної молі на помідорах

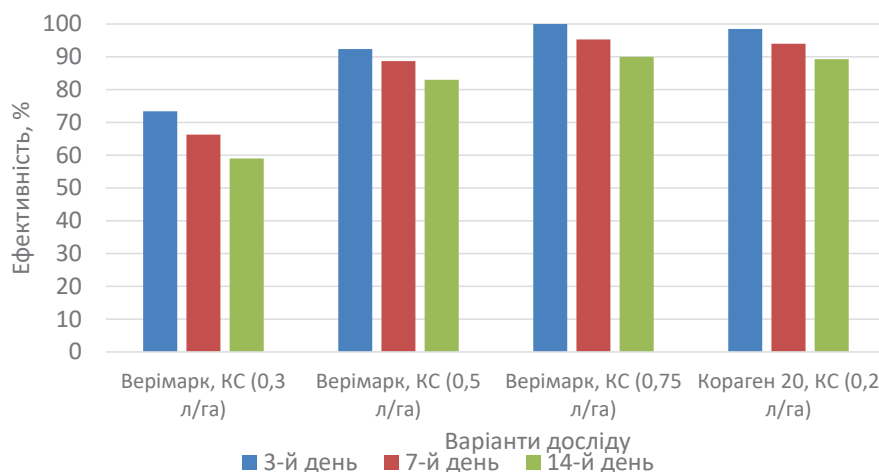


Рис. 3 Ефективність застосування інсектициду Верімарк, КС проти томатної молі на помідорах

Висновки. В умовах півдня України для захисту томатів, що вирощуються на краплинному зрошенні, від шкідників, зокрема від південноамериканської томатної молі, доцільним є внесення інсектицидів методом краплинного внесення. При цьому слід дотримуватись рекомендацій згідно етикеток препаратів, де вказано оптимальний час внесення інсектицидів впродовж циклу зрошення.

Використання інсектицидів одночасно з краплинним зрошенням за рахунок локаль-

ного їх внесення забезпечувало високу ефективність препаратів проти личинок фітофага, не поступаючись за тривалістю токсичної дії препаратів, порівняно зі способом обприскування.

Застосування інсектицидів через систему краплинного зрошення є перспективним напрямком у захисті рослин і може успішно використовуватися для захисту від різних комах-шкідників овочевих культур, зокрема південноамериканської томатної молі.

Бібліографія

1. Urbaneja A., Vercher R., Navarro V., Garcia Mari F., Porcuna J.L. La polilla del tomate, *Tuta absoluta* // Phytoma España. 2007. V. 194. P. 16–23.
2. Desneux N., Wajnberg E., Wyckhuys K.A.G., Burgio G., Arpaia S., Narvies-Vasquez C.A., Gonzilez-Cabrera J., Catalin Ruescas D., Tabone E., Frandon J., Pizzol J., Poncet C., Cabello T., Urbaneja A. Biological invasion of European tomato crops by *Tuta absoluta*: ecology, history of invasion and prospects for biological control // Journal of Pest Science. 2010. № 83. P. 197–215.
3. Speranza S. Prime infestazioni di *Tuta absoluta* Su fagiolino nel Lazio // Terrae Vita. 2009. № 46 P. 14–15.
4. Garcia M.F., Espul J.C. Bioecology of the tomato moth (*Scrobipalpus absoluta*) Revista de Investigaciones Agropecuarias in Mendoza // Argentine Republic. 1982. № 17. P. 135–146.
5. Povolny D. On three neotropical species of the tribe Gnorimoschemini (Lepidoptera, Gelechiidae) mining Solanaceae // Acta Univ. Agric. (Brno). 1975. V. 23. P. 379–393.
6. Ripa S.R., Rojas P.S., Velasco G. Releases of biological control agents of insect pests on Easter Island (Pacific Ocean) // Entomophaga. 1995. V. 40. P. 427–440.
7. Clarke J.F. New species of microlepidoptera from Japan // Entomological News. 1962. V. 73. № 4. P. 91–102.
8. Ижевский С.С. Новости ЕОКЗР. Появление Т. Absoluta в Европе. *Защита и карантин растений*. 2008. № 5. С. 45.
9. Синев А.К., Ижевский С.С., Ахатов С.Ю. Томатная минирующая моль выявлена уже в России. *Защита и карантин растений*. 2011. № 3. С. 40–44
10. EPPO. First report of *Tuta absoluta* in Albania (2009/170). [Електронний ресурс] / EPPO Reporting Services 9(170) // Accessed November 3, 2010. Режим доступу: http://www.eppo.org/PUBLICATIONS/reporting/reporting_service.htm
11. Ключковський Ю.Е., Вовкотруб О.М. Карантинні молі – шкідники пасльонових культур, контроль їх чисельності на півдні України. *Карантин і захист рослин*. 2016. № 6. С. 3–5.
12. Ключковський Ю.Е., Черней Л.Б., Вовкотруб О.М. Томатная моль – новая угроза сельскому хозяйству. *Защита и карантин растений*. 2014. № 4. С. 36–39.
13. EPPO. EPPO Global Database / *Tuta absoluta* (GNORAB). Distribution details in Ukraine. [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://gd.eppo.int/taxon/GNORAB/distribution/UA>
14. Челомбітко А.Ф., Башинська О.В. Південноамериканська томатна міль – небезпечний карантинний шкідник томатів [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://dpss.gov.ua/storage/app/sites/12/uploaded-files/karantinni-organizmi/mil-u-rozdil.pdf>
15. Лиховид П. Південноамериканська томатна мінуюча міль – небезпечний карантинний шкідник. *Овочівництво*. 2019. № 1. Режим доступу: <https://propozitsiya.com/ua/pivdennoamerykanska-tomatna-minuyucha-mil-nebezpechnyy-karantynnyy-shkidnyk>
16. Arnó, J., Oveja, M., Gabarra, R. Selection of flowering plants to enhance the biological control of *Tuta absoluta* using parasitoids. *Biological Control*. 2018. 122. P. 41–50.
17. Методики випробування і застосування пестицидів / За ред. проф. С.О. Трибеля. Київ : Світ, 2001. 448 с.
18. Шатковский А.П., Мельничук Ф.С., Семенко Л.О. Основные аспекты внесения фунгицидов с поливной водой на системах капельного орошения плодовых насаждений. *Пути повышения эффективности орошаемого земледелия*. 2013. Вып. 50. С. 171–175.

References

1. Urbaneja A., Vercher R., Navarro V., Garcia Mari F., & Porcuna J.L. (2007). La polilla del tomate, *Tuta absoluta*. Phytoma España, Vol. 194, 16–23.
2. Desneux N., Wajnberg E., Wyckhuys K.A.G., Burgio G., Arpaia S., Narvies-Vasquez C.A., Gonzilez-Cabrera J., Catalin Ruescas D., Tabone E., Frandon J., Pizzol J., Poncet C., Cabello T., & Urbaneja, A. (2010). Biological invasion of European tomato crops by *Tuta absoluta*: ecology, history of invasion and prospects for biological control. Journal of Pest Science, 83, 197–215.
3. Speranza, S. (2009). Prime infestazioni di *Tuta absoluta* Su fagiolino nel Lazio. Terrae Vita, 46, 14–15.
4. Garcia, M.F., & Espul, J.C. (1982). Bioecology of the tomato moth (*Scrobipalpula absoluta*) in Mendoza, Argentine Republic. Revista de Investigaciones Agropecuarias, 17(2), 135–146.
5. Povolny, D. (1975). On three neotropical species of the tribe Gnorimoschemini (Lepidoptera, Gelechiidae) mining Solanaceae. Acta Univ. Agric. (Brno), Vol. 23, 379–393.
6. Ripa, S.R., Rojas, P.S., & Velasco, G. (1995) Releases of biological control agents of insect pests on Easter Island (Pacific Ocean). Entomophaga, 40, 427–440.
7. Clarke, J.F. (1962). New species of microlepidoptera from Japan. Entomological News, Vol. 73(4), 91–102.
8. Yzhevskiy, S.S., & Novosti, Y. (2008) Poyavleniye *T. absoluta* v Yevrope [The emergence of *T. absoluta* in Europe]. Zashchita i karantin rasteniy, 5, 45. [in Russian]
9. Sinev, A.K., Izhevskiy, S.S., & Akhatov, S.Y. (2011). Tomatnaya miniruyushchaya mol' vyyavlena uzhe v Rossii [Tomato leaf-mining moth found already in Russia]. Zashchita i karantin rasteniy, 3, 40–44. [in Russian]
10. EPPO. (2010). First report of *Tuta absoluta* in Albania (2009/170). EPPO Reporting Services 9(170). Retrieved from: http://www.eppo.org/PUBLICATIONS/reporting/reporting_service.htm
11. Klechkovs'kiy, Y.Y., & Vovkotrub, O.M. (2016). Karantinni moli – Shkidnyky pasl'onovikh kul'tur, kontrol' yikh chisel'nosti na pivdni Ukrayiny [Quarantine moths – pests of nightshade crops, control of their numbers in the south of Ukraine]. Karantyn i zakhyst roslyn, 6, 3–5. [in Ukrainian]
12. Klechkovskiy Y.E., Cherney, L.B., & Vovkotrub, A.N. Tomatnaya mol' – novaya ugroza sel'skomu khozyaystvu [Tomato moth is a new threat to agriculture]. Zashchita i karantin rasteniy, 4, 36–39. [in Russian]
13. EPPO. (2012). EPPO Global Database. *Tuta absoluta* (GNORAB). Distribution details in Ukraine. Retrieved from: <https://gd.eppo.int/taxon/GNORAB/distribution/UA>
14. Chelombitko, A.F., & Bashyns'kyi, O.V. Pivdennoamerikans'ka tomatna mil' – nebezpechnyy karantynnyy shkidnyk tomativ. [The South American tomato moth is a dangerous quarantine pest of tomatoes]. Department of Phytosanitary Safety, Control in the Sphere of Seed Production and Nursery of the State Food and Consumer Service. Retrieved from: <https://dpss.gov.ua/storage/app/sites/12/uploaded-files/karantinni-organizmi/mil-u-rozdil.pdf> [in Ukrainian]
15. Likhovid, P. (2019) Pivdennoamerikans'ka tomatna minuyucha mil' - nebezpechnyy karantynnyy shkidnyk [The South American tomato moth is a dangerous quarantine pest]. Ovoshivnytstvo, 1. Retrieved from: <https://propozitsiya.com/ua/pivdennoamerykanska-tomatna-minuyucha-mil-nebezpechnyy-karantynnyy-shkidnyk> [in Ukrainian]
16. Arnó, J., Oveja, M., Gabarra, R. (2018) Selection of flowering plants to enhance the biological control of *Tuta absoluta* using parasitoids. Biological Control, 122, 41–50.
17. Trybelya, S.O. (Ed.) (2001). Metodyky vyprobuvannya ta zastosuvannya pestytsydiv [Methods of testing and application of pesticides]. Kyiv : Svit. [in Ukrainian]
18. Shatkovskiy, A.P., Mel'nichuk, F.S., & Semenko, L.O. (2013). Osnovnyye aspekty vneseniya fungitsidov s polivnoy vodoy na sistemu kapel'nogo orosheniya plodovykh nasazhdeniy [The main aspects of the introduction of fungicides with irrigation water on drip irrigation systems for fruit plantations]. Puti povysheniya effektivnosti oroshayemogo zemledeliya, 50, 171–175. [in Russian]

Ф.С. Мельничук, С.А. Алексеева, А.В. Гордиенко,
И.М. Острик, А.В. Антонюк

**Южноамериканская моль (*Tuta absoluta*) и меры защиты томатов
в условиях северной Степи Украины**

Аннотация. Выращивание пасленовых культур требует достаточного количества влаги и тепла. В Украине таким условиям наиболее соответствуют южные области: Херсонская, Николаевская, Одесская, Запорожская, а также АР Крым, где средняя урожайность томатов составляет

около 30 т/га, а посевные площади занимают около 470 тыс. га. Томаты являются главными растениями-хозяевами южноамериканской томатной моли. Поврежденные листья, плоды и вегетативные бутоны становятся своеобразными «воротами инфекции» для поражения растений культуры грибными патогенами. Питание фитофага на плодах томатов приводит к их опадению. При этом потери урожая могут достигать 100%. Поиск научно обоснованных методов контроля этого фитофага, в том числе исследования эффективности современных инсектицидов способом опрыскивания и капельного внесения совместно с орошением против южноамериканской томатной моли в условиях Степи Украины является актуальным. При проведении фитосанитарной оценки опытных участков томатов перед обработкой их инсектицидами отмечали высокую численность личинок южноамериканской томатной моли, которая на контрольных участках в среднем составляла 3,1–7,0 экз./растение перед первым применением инсектицидов, и 9,1–20,6 экз./растение перед вторым. Инсектицид Эксирель, СЕ (циантранилипрол 100 г/л) с нормами расхода 1,0 л/га и 1,5 л/га при двукратном опрыскивании в опыте на томатах открытого грунта обеспечивал эффективность против гусениц томатной моли на уровне 91,1% и 99,5% на 3-й день после применения, а продолжительность его токсического действия превышала 14 дней. В условиях закрытого грунта при применении инсектицидов способом капельного орошения инсектицид Веримарк, КС (циантранилипрол, 200 г/л) с нормами расхода 0,5 и 0,75 л/га обеспечивал эффективность против гусениц вредителя через 3 дня после внесения в среднем на уровне 92,4–100,0%, а продолжительность его токсического действия составляла более двух недель. Использование инсектицидов одновременно с капельным орошением за счет локального их внесения обеспечивало их высокую эффективность против личинок вредителя, не уступая по продолжительности токсического действия препаратам, вносимым способом опрыскивания.

Ключевые слова: томаты, южноамериканская томатная моль, фитофаг, вредитель, опрыскивание, капельное внесение, инсектициды, эффективность

F.S. Melnychuk, S.A. Alekseeva, O.V. Gordienko,
I.M. Ostryk, A.V. Antonyuk

South American tomato moth (*Tuta absoluta*) and tomato protection measures in the conditions of the Northern Steppe of Ukraine

Abstract. Cultivation of nightshade family crops (*Solanaceae*) requires sufficient amount of moisture and heat. In Ukraine, the most available conditions for that are in the southern regions: Kherson, Mykolaiv, Odesa, Zaporizhia and AR of Crimea, where the average yield of tomatoes is about 30 t/ha, and planting area is about 470 thousand hectares. Tomatoes are the main host plants for the South American tomato moth. Leaves, fruits and vegetative buds damaged by these pests, become a kind of «gateway» for the infection of plants by fungal pathogens. Feeding of phytophagous on the fruits of tomato leads to their falling off. Yield losses can reach 100%. This pest has a high adaptability to climatic and natural conditions, capable for reproductive activities throughout the year. Among the factors contributing to the spread of these pests at the intercontinental level, the most important is the uncontrolled trading of infected fruits with plant particles, and the local spread from one field to another due to the ability of adult moths to fly. The searching of scientifically grounded methods of control of South American tomato moth, in particular the study of the effectiveness of modern insecticides by means of spraying and drip application along with applying irrigation against this pest in the Steppe of Ukraine is very actual. During the phytosanitary evaluation of experimental plots of tomatoes before treatment with insecticides, a high number of larvae of South American tomato moth was found, which in the check plots averaged 3,1–7,0 number/plant before the first application of insecticides, and 9,1–20,6 number/plant before the second one. Insecticide Exirel, SE (cyantraniliprole 100 g/l) with the consumption rates of 1,0 l/ha and 1,5 l/ha when providing double spraying in a small-plot experiment on open ground tomatoes provided the effectiveness against tomato moth caterpillars at 91,1% and 99,5% on the 3rd day after application, and the duration of its toxic effect exceeded 14 days. In the conditions of protected soil when applying the insecticides along with drip irrigation the insecticide Verimark CS (cyantraniliprole, 200 g/l) with the rates of 0,5 and 0,75 l/ha provided the effectiveness against tomato moth caterpillars in 3 days after application on the average by 92,4–100,0%, and the duration of its toxic effects was more than two weeks. Applying insecticides along with drip irrigation due to their local application provided high efficiency of insecticides against phytophagous larvae, having a rather long duration of toxic effect, compared with spraying.

Key words: tomatoes, South American tomato moth, phytophagous, pest, spraying, drip application, insecticides, effectiveness

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202101-275>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/275>

УДК 633.88:631.674.6

ПРОДУКТИВНІСТЬ ЗВІРОБОЮ ЗВИЧАЙНОГО (*HYPERICUM PERFORATUM L.*) ЗА РОЗСАДНОГО СПОСОБУ РОЗМНОЖЕННЯ В УМОВАХ КРАПЛИННОГО ЗРОШЕННЯ

Н.В. Приведенюк¹, канд. с.-г. наук, А.П. Шатковський², докт. с.-г. наук

¹ Дослідна станція лікарських рослин ІАП НААН,

с. Березоточа, Лубенський район, Полтавська область, Україна;

<https://orcid.org/0000-0002-0748-8083>; e-mail: privedenyuk1983@gmail.com;

² Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;

<https://orcid.org/0000-0002-4366-0397>; e-mail: andriy-1804@ukr.net

Анотація. Досліджено вплив площі живлення рослин та норм мінеральних добрив на продуктивність звіробою звичайного (*Hypericum perforatum L.*) за розсадного способу розмноження в умовах краплинного зрошення. Доведено, що розсадний спосіб вирощування звіробою звичайного за краплинного зрошення є досить ефективним методом розмноження цієї культури. Вивчено чотири густоти висаджування рослин на одиницю площі: 42 тис. росл./га (схема вирощування 60 × 40 см), 56 тис. росл./га (60 × 30 см), 83 тис. росл./га (60 × 20 см) та 167 тис. росл./га (60 × 10 см). Обліки врожаю сировини (повітряно-сухих верхівок) проводили у фазу масового цвітіння. На першому році вегетації цей період припадав у першу декаду серпня, на другому році – другу декаду червня. Виявлено, що збільшення кількості висаджених рослин звіробою звичайного на 1 га сприяло підвищенню продуктивності плантації. За густоти вирощування 42 тис. росл./га урожайність сухої трави в перший рік вегетації становила 3,02 т/га. Збільшення кількості рослин до 56 тис. росл./га забезпечило отримання 3,26 т/га сировини. Найвищу врожайність сухої трави звіробою – 3,76 т/га першого року вегетації було отримано у варіанті з найбільшою кількістю висаджених рослин на одиницю площі – 167 тис. росл./га. На другий рік вегетації звіробою звичайного у варіанті з найменшою густрою 42 тис. росл./га урожайність становила 3,65 т/га. Найбільш продуктивною плантація другого року вегетації була у варіанті з густрою 83 тис. росл./га, де врожайність сухої сировини становила 3,96 т/га. Подальше збільшення кількості рослин на одиницю площі призвело до зниження врожайності культури. Також досліджено вплив чотирьох варіантів основного внесення мінеральних добрив на продуктивність звіробою звичайного: $N_0P_0K_0$ (контроль), $N_{60}P_{60}K_{60}$, $N_{120}P_{120}K_{120}$ та $N_{180}P_{180}K_{180}$. Виявлено, що зі збільшенням норми внесення добрив урожайність сухої сировини зростала. Найбільш сприятливі умови для росту та розвитку рослин звіробою звичайного склалися у варіанті з максимальною нормою внесення добрив – $N_{180}P_{180}K_{180}$, де врожайність сухої сировини у перший рік становила 3,31 т/га, а на другий рік – 4,15 т/га, що перевищувало контроль (без добрив) на 0,61 т/га та 0,84 т/га відповідно.

Ключові слова: розсада, площа живлення, густина висаджування, мінеральні добрива, норми внесення, суха сировина, урожайність, краплинне зрошення

Актуальність досліджень. Звіробій звичайний (*Hypericum perforatum L.*) – багаторічна лікарська трав'яниста рослина, висотою від 30 до 100 см родини звіробійних – *Hypericaceae* [1–2]. Звіробій за походженням вважають євразійським видом, який широко поширений по всій території України. Росте на сухих освітлених ділянках, на схилах та по чагарниках. Інколи утворює зріджені посіви на великих площах, особливо в молодих лісових насадженнях, лісових вирубках, які почали заростати [3; 4].

Звіробій звичайний належить до найбільш популярних лікарських рослин із точки зору спектра їх застосування, як у народній, так і в офіційній медицині. Для виготовлення

ліків використовують траву звіробою, яку зібрано у період цвітіння. Власне, сам період цвітіння триває з червня по серпень, залежно від року вегетації [2; 3; 5; 6].

Широкий діапазон лікувальних властивостей звіробою пояснюють вмістом біологічно активних речовин. Встановлено, що в усіх частинах рослини, окрім коренів, містяться гіперіцин, флавоноїди та ефірна олія [1; 5; 7; 8]. Препарати на його основі володіють в'яжучою, протизапальною, антисептичною, антидепресивною дією, а також знижують вплив вірусів герпесу, гепатиту В тощо [9–13].

Сировину звіробою звичайного в Україні здебільшого заготовляють у природних

умовах. Але попит на внутрішньому ринку за рахунок дикорослої сировини задовольняється лише частково. Тому промислове вирощування цієї культури є достатньо актуальним. Крім цього, ареал природного розповсюдження цієї рослини є не стабільним і відновлюється через 3–5 років [7; 14; 15].

На початкових етапах онтогенезу рослини звіробою звичайного повільно розвиваються, що ускладнює процес вирощування, тому розмноження цієї культури розсадним методом є досить перспективним [4; 7; 14; 15]. Високу ефективність розсадного способу розмноження лікарських культур із застосуванням краплинного зрошення було доведено попередніми дослідженнями, виконаними з валеріаною лікарською, ехінацеєю пурпуровою, мелісою лікарською, материнкою звичайною, чебрецем звичайним [16; 17].

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Дослідження з розсадного розмноження звіробою звичайного виконано вченими Полтавського державного аграрного університету. Ними з'ясовано, що звіробій можна ефективно вирощувати розсадним методом. Це вирішує питання сівби, отримання дружніх сходів, догляду за посівами першого року, регуляції врожайності і якості сировини. За підбору різних субстратів для вирощування розсади ними встановлено, що додавання у субстрат торфу та перегною позитивно впливало на розвиток розсади. Через 50–60 діб висота пагону становила 3,7–4,5 см, на якому утворилося 7,4–8,5 листків [14].

Для отримання високої врожайності сухої сировини звіробою звичайного рекомендовано під основний обробіток ґрунту вносити 35 т/га органічних та 50 кг/га мінеральних добрив. Також необхідно виконувати підживлення в наступні роки життя рослин нормою 50–60 кг/га діючої речовини азоту, фосфору та калію [4].

Вплив різних доз внесення азотного добрива в амонійній формі на продуктивність звіробою звичайного досліджено литовськими вченими. Мінеральне добриво вони вносили різною нормою – 0, 30, 60, 90 та 120 кг/га азоту. Визначено, що збільшення дози внесення добрива значно підвищувало врожайність сировини звіробою. Застосування середніх норм азоту (60–90 кг/га) є рекомендованим для отримання стабільної врожайності сухої сировини з високою якістю [18].

Іранськими вченими протягом двох вегетаційних сезонів досліджено вплив різних норм внесення азотних та фосфорних добрив на продуктивність та якість сировини

звіробою звичайного. Результати засвідчили, що внесення мінеральних добрив суттєво впливало на врожайність та якість отриманої сировини. Найвищу врожайність сухої сировини (1053,9 г/м²) вони отримали за внесення 250 кг/га азоту та 100 кг/га фосфору. Встановлено залежність між кількістю квітучих стебел та вмістом гіперіцину в сировині [19].

Вченими Інституту клітинної біології та генетичної інженерії НАН України було виконано дослідження зі встановлення впливу доз гамма та рентгенівського опромінення насіння звіробою звичайного. Отримані результати підтверджують можливість застосування передпосівного опромінення насіння звіробою в інтервалі доз 1–35 Гр з метою збільшення його продуктивності та підвищення фармацевтичної цінності лікарської сировини [20].

Мета дослідження полягає у встановленні впливу площі живлення рослин та норм мінеральних добрив на продуктивність звіробою звичайного (*Hypericum perforatum* L.) за розсадного способу розмноження в умовах краплинного зрошення.

Матеріали і методи дослідження. Дослідною станцією лікарських рослин ІАП НААН протягом 2019–2020 років проведено дослідження з удосконалення технології вирощування звіробою звичайного шляхом застосування розсадного способу вирощування, мінеральних добрив та краплинного зрошення.

Ґрунт дослідного поля – чорнозем потужний, малогумусний, глибина гумусового горизонту 87–100 см, легкий за гранулометричним складом. Реакція ґрунтового розчину слабкокисло. Забезпеченість легкогідролізованим азотом – низька, рухомих фосфором – висока, обмінним калієм – підвищена.

Протягом вегетації вологість кореневмісного шару ґрунту підтримувалася на рівні 80 % від найменшої вологомісткості (НВ) ґрунту. Загальна площа ділянок становила 35–55 м², а облікова – 20–30 м², повторність досліду – чотириразова, попередник – пшениця озима.

Мінеральне добриво вносили під основний обробіток ґрунту в дозі 60, 120 та 180 кг діючої речовини азоту, фосфору та калію, контроль – варіант без добрив.

Висаджування розсади проводили у III декаді травня з густотою 42 тис. росл./га (60 × 40 см), 56 тис. росл./га (60 × 30 см), 83 тис. росл./га (60 × 20 см) та 167 тис. росл./га (60 × 10 см). На час висаджування розсада звіробою звичайного знаходилася у фазі 4–5 пар листків та висотою 6–8 см.

Лікарською сировиною звіробою звичайного є повітряно-сухі квітучі верхівки, які зібрано у період цвітіння. Отже, облік урожаю сировини звіробою проводили у фазу масового цвітіння: у перший рік вегетації цей період припадав на I декаду серпня, у другий – II декаду червня. Нормативну вологість сировини – 10–12% забезпечували шляхом природного способу висушування.

Результати дослідження та їх обговорення. У ході досліджень було встановлено, що розсадний спосіб вирощування звіробою звичайного за краплинного зрошення є досить ефективним методом розмноження цієї культури. Після висаджування рослин у відкритий ґрунт (II декада травня) через 36 годин вони відновлювали вегетацію. Для закладання дослідних ділянок було використано розсаду із закритою кореневою системою. Розсаду вирощували в касетах з розміром чарунок 40 × 40 × 60 мм. Висів насіння в касети виконували у I декаді березня, а сходи отримували на 12–15 добу. Вологість ґрунту під час вирощування розсади підтримували на рівні 80–90% від НВ.

За дослідження впливу площі живлення рослин звіробою на початкових фазах росту та розвитку істотної різниці між варіантами не відмічали, лише у другій половині веге-

таційного періоду на варіантах із густрою 83 тис. росл./га та 167 тис. росл./га відмічали конкуренцію рослин за площу живлення.

Звіробій звичайний в перший рік вегетації лише частково вступає в генеративну фазу. У нашому дослідженні близько 80% рослин зацвітало, але не всі пагони утворили квітконоси – у середньому 35–40%. Протягом другого року вегетації в генеративну фазу вступили всі рослини, а процес цвітіння відбувався більш інтенсивно (рис. 1).

За дослідження впливу площі живлення рослин на їх продуктивність у перший рік вегетації було встановлено залежність зростання урожайності сухої сировини за умови збільшення кількості рослин на одиницю площі. Так за густоти вирощування 42 тис. росл./га урожайність сухої трави звіробою становила 3,02 т/га, збільшення кількості рослин до 56 тис./га підвищило врожайність до 3,26 т/га. Найвищу ж врожайність сухої трави звіробою звичайного – 3,76 т/га у цьому досліді було отримано у варіанті з максимальною кількістю висаджених рослин на одиницю площі – 167 тис. росл./га. (табл. 1).

На другому році вегетації врожайність сухої трави звіробою звичайного за густоти 42 тис. росл./га становила 3,65 т/га. Збільшення кількості рослин на одиницю площі до



Перший рік вегетації



Другий рік вегетації

Рис. 1. Звіробій звичайний у фазі цвітіння

1. Вплив площі живлення рослин на врожайність сировини звіробою звичайного, т/га

Варіанти дослідів	Урожайність сухої сировини, т/га	
	перший рік вегетації	другий рік вегетації
42 тис. росл./га (60 × 40 см)	3,02	3,65
56 тис. росл./га (60 × 30 см)	3,26	3,77
83 тис. росл./га (60 × 20 см)	3,45	3,96
167 тис. росл./га (60 × 10 см)	3,76	3,90
НІР _{0,5}	0,14	0,11

56 тис. росл./га сприяло підвищенню врожайності сировини до 3,77 т/га. Найвищу врожайність сухої трави звіробою другого року вегетації – 3,96 т/га було отримано у варіанті з густотою 83 тис. росл./га, подальше ж збільшення кількості рослин – до 167 тис. росл./га призвело до зниження врожайності сировини.

Залежність врожайності сухої сировини звіробою звичайного від кількості висаджених рослин на одиницю площі описано математично рівняннями:

$$y = -2E - 10x^2 + 6E - 05x - 0,4062,$$

$$R^2 = 0,98, \text{ – перший рік вегетації,}$$

$$y = -3E - 10x^2 + 8E - 05x + 1,1566,$$

$$R^2 = 0,82, \text{ – другий рік вегетації,}$$

де y – урожайність сухої трави, т/га, x – кількість рослин, тис. шт./га, R^2 – величина достовірності апроксимації.

Величина достовірності апроксимації R^2 становить 0,82 та 0,98, що свідчить про високу достовірність залежності врожайності сухої

сировини звіробою звичайного від кількості росли на одиницю площі (рис. 2).

За дослідження впливу основного внесення мінеральних добрив на врожайність звіробою звичайного першого року вегетації встановлено, що норма удобрення $N_{60}P_{60}K_{60}$ забезпечила отримання сухої трави на рівні 2,97 т/га, що перевищувало контроль на 0,27 т/га або 10%. Підвищення дози основного внесення добрив до $N_{120}P_{120}K_{120}$ збільшило врожайність сировини до 3,12 т/га, що перевищило контроль на 0,42 т/га або 15%. Найвищий вихід сухої трави з одиниці площі – 3,31 т/га було отримано у варіанті з максимальною нормою внесення добрив – $N_{180}P_{180}K_{180}$. На контрольному варіанті (без добрив) врожайність сухої сировини була найменшою і становила лише 2,70 т/га (табл. 2).

На другому році вегетації у варіанті без внесення мінерального добрива (контроль) врожайність звіробою становила

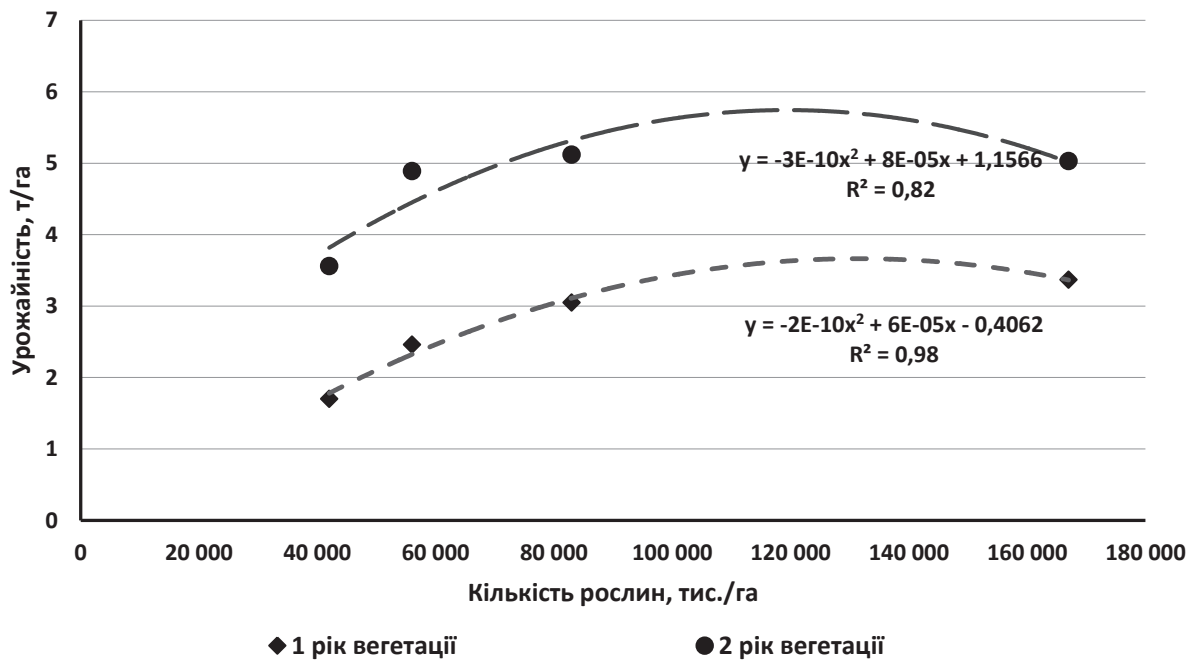


Рис. 2. Залежність врожайності сухої сировини звіробою звичайного від густоти висаджування рослин на одиницю площі за краплинного зрошення

2. Вплив норм внесення мінеральних добрив на врожайність сировини звіробою звичайного, т/га

Варіанти дослідів	Перший рік вегетації		Другий рік вегетації	
	урожайність сировини, т/га	% до контролю	урожайність сировини, т/га	% до контролю
$N_0P_0K_0$	2,70	100	3,31	100
$N_{60}P_{60}K_{60}$	2,97	110	3,79	115
$N_{120}P_{120}K_{120}$	3,12	115	3,94	119
$N_{180}P_{180}K_{180}$	3,31	123	4,15	125
$НІР_{0,5}$	0,09		0,12	

3,31 т/га. Основне внесення мінерального добрива в нормі $N_{60}P_{60}K_{60}$ сприяло підвищенню врожайності сухої сировини до 3,79 т/га, перевищуючи за цього контроль на 0,49 т/га або 15,2%. Збільшення норми внесення добрив до $N_{120}P_{120}K_{120}$ забезпечило отримання врожайності сухої трави на рівні 3,94 т/га. Найвищу ж урожайність сировини звіробою звичайного – 4,15 т/га було отримано у варіанті з максимальною нормою внесення мінеральних добрив $N_{180}P_{180}K_{180}$, що перевищило контроль (без добрив) на 0,84 т/га або 25%.

Залежність врожайності сухої сировини звіробою звичайного від норми основного внесення мінеральних добрив описано математично рівняннями:

$$y = 0,0033x + 2,728, R^2 = 0,98, \text{ – перший рік вегетації,}$$

$$y = 0,0045x + 3,397, R^2 = 0,93, \text{ – другий рік вегетації,}$$

де y – урожайність сухої трави, т/га, x – норми основного внесення мінеральних добрив НРК кг/га діючої речовини, R^2 – величина достовірності апроксимації.

Величина достовірності апроксимації R^2 становить 0,93 та 0,98, що свідчить про високу достовірність залежності врожайності сухої сировини звіробою звичайного від основного внесення мінеральних добрив (рис. 3).

Отже, для отримання високих та стійких урожаїв сухої сировини звіробою звичайного при закладанні промислових насаджень рекомендовано висаджувати розсаду з густотою

83 тис. росл./га, під основний обробіток ґрунту вносити повне мінеральне добриво в нормі $N_{180}P_{180}K_{180}$, а для усунення дефіциту ґрунтової вологи використовувати систему краплинного зрошення з підтриманням вологості на рівні 80% від НВ.

Висновки. Експериментально встановлено, що зі збільшенням кількості рослин звіробою на одиницю площі достовірно зростає продуктивність насаджень. Так за густоти вирощування 42 тис. росл./га урожайність сухої сировини звіробою становила 3,02 т/га. Найвищу врожайність сухої трави звіробою – 3,76 т/га було отримано у варіанті з максимальною кількістю висаджених рослин на одиницю площі 167 тис. росл./га.

На плантації другого року вегетації звіробою звичайного найвищу врожайність сухої сировини – 3,96 т/га було отримано у варіанті з густотою 83 тис. росл./га. Подальше збільшення кількості рослин на одиницю площі сприяло зниженню рівня врожайності сухої сировини.

За дослідження впливу норм основного внесення мінеральних добрив на продуктивність звіробою звичайного було встановлено, що із збільшенням норм внесення врожайність сухої сировини зростала. Найбільш сприятливі умови для росту та розвитку рослин звіробою звичайного склалися у варіанті з максимальною нормою внесення добрив – $N_{180}P_{180}K_{180}$, де врожайність сухої сировини у перший рік вегетації становила 3,31 т/га, а у другий рік вегетації – 4,15 т/га.

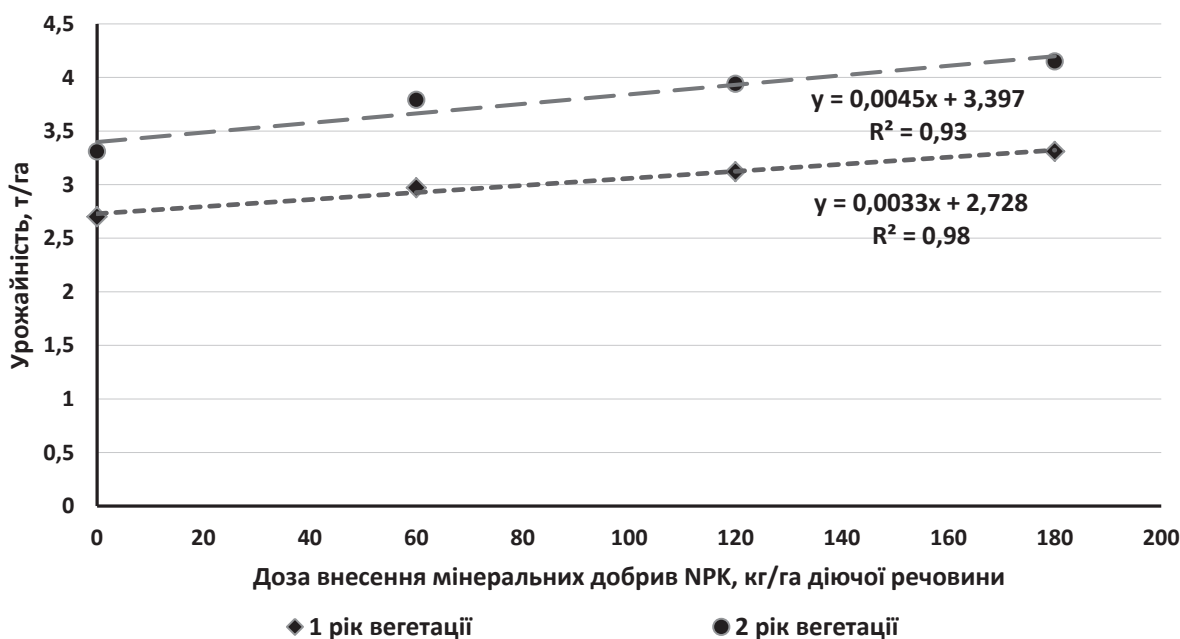


Рис. 3. Залежність врожайності сировини звіробою звичайного від норм основного внесення мінеральних добрив за краплинного зрошення

Бібліографія

1. Сологуб В.А., Грицик А.Р. Морфолого-анатомічне дослідження видів роду звіробій // *Український Медичний Альманах*. 2013. Т. 16. № 1. С. 119–121.
2. Галішевський Р.В., Поспелов С.В. Посівні якості насіння звіробою звичайного (*Hypericum perforatum L.*) залежно від його походження // Перспективні напрями наукових досліджень лікарських та ефіроолійних культур : матеріали II Всеукр. наук.-практ. конф. молодих вчених. Лубни : Комунальне видавництво «Лубни», 2015. С.74–76.
3. Сологуб В.А., Грицик А.Р. Перспективи використання видів звіробою в медицині та фармації // *Український Медичний Альманах*. 2011. Т. 14. № 5. С. 183–186.
4. Поспелов С.В., Галішевський Р.В. Особливості проростання насіння звіробою звичайного (*Hypericum perforatum L.*) // Лікарські рослини: традиції та перспективи досліджень : матеріали II Міжнар. наук. конф. Лубни : Комунальне видавництво «Лубни», 2014. С. 152–157.
5. Влияние условий культивирования на морфофизиологическую активность и содержание фенольных соединений зверобоя продырявленного (*Hypericum perforatum L.*) в культуре in vitro / Овчинникова В.Н. и др. // *Химия растительного сырья*. 2018. № 3. С. 223–229.
6. Абрамчук А.В. Влияние сорта на формирование продуктивности зверобоя продырявленного *Hypericum perforatum L.* // *Аграрный вестник Урала*. 2015. № 3(133). С. 39–42.
7. Молдаван М.В., Флоря М.А. Биологические особенности зверобоя // Украинская конференция по медицинской ботанике. Киев, 1988. Ч. 2. С. 115.
8. Joanne Barnes, John T Arnason, Basil D Roufogalis, St John's wort (*Hypericum perforatum L.*): botanical, chemical, pharmacological and clinical advances // *Journal of Pharmacy and Pharmacology*. V. 71. № 1. 2019. P. 1–3. <https://doi.org/10.1111/jphp.13053>
9. Соколов С.Я. Фитотерапия и фитофармакология: Руководство для врачей. М., 2000. 976 с.
10. Влияние густоты посадки *Hypericum perforatum L.* на его развитие и содержание действующих веществ / Раал А. и др. // *Растительные ресурсы*. 2004. Т. 40. Вып. 3. С. 36–41.
11. Mahady G.B., Fong H.S., Farnsworth N.R. Botanical dietary supplements: quality, safety and efficacy. (University of Illinois at Chicago). Swets & Zeitlinger Publishers, Netherlands, 2001. 271 pp.
12. Matcovschi C., Gonciar V., Matcovschi S. *Hypericum perforatum L.* and its component Hiperforin in the treatment of various diseases // *Curierul medical*. 2014. Vol. 57. № 2. P. 86–94.
13. Istikoglou C., Mavreas V., Geroulanos G. History and therapeutic properties of *Hypericum Perforatum* from antiquity until today // *Psychiatriki*. 2010. Vol. 21(4). P. 332–338.
14. Балик Є.П., Жук М.І., Поспелов С.В. Вплив умов вирощування на розвиток розсади звіробою звичайного (*Hypericum perforatum L.*) // Лікарське рослинництво: від досвіду минулого до новітніх технологій : мат. V Міжнар. наук.-практ. конф. Полтава : РВВ ПДАА, 2016. С. 37–40.
15. Драга А.И. Выход лекарственного сырья зверобоя в зависимости от состояния популяций // Третья Украинская конференция по медицинской ботанике, 1992. Ч. 2. С. 60.
16. Приведенюк Н.В., Шатковський А.П. Вплив площі живлення материнки звичайної (*Origanum vulgare L.*) на ріст та розвиток в умовах краплинного зрошення // *Меліорація і водне господарство*. № 1. Київ. 2020. С. 68–75.
17. Приведенюк Н.В., Глушенко Л.А. Вплив площі живлення рослин та мінеральних добрив на продуктивність чебрецю звичайного (*Thymus vulgaris L.*) за розсадного способу розмноження в умовах зрошення // *Вісник аграрної науки*. Київ : Аграрна наука. № 1. 2021. С. 32–39.
18. Radušienė, J., Marksa, M., Ivanauskas, L., Jakštas, V., Caliskan, O., Kurt, D., Odabas, M.S., & Cirak, C. Effect of nitrogen on herb production, secondary metabolites and antioxidant activities of *Hypericum pruinatum* under nitrogen application // *Industrial Crops and Products*. V. 139. 2019. <http://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111519>
19. Azizi, M., Omidbaigi, R. Effect of np supply on herb yield, hypericin content and cadmium accumulation of st. john's wort (*Hypericum perforatum L.*) // *Acta Hortic*. Vol. 576. 2002. P. 267–271. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2002.576.39>
20. Визначення впливу різних доз передпосівного опромінення насіння на вміст флавоноїдів у лікарській сировині звіробою звичайного / Салівон А.Г. та ін. // *Фактори експериментальної еволюції організмів*. Том 25. 2019. С. 310–315.

References

1. Solohub, V.A., & Hrytsyk, A.R. (2013). Morfoloho-anatomichne doslidzhennia vydiv rodu zvirobii [Morphological and anatomical study of species of the genus st. john's wort]. *Ukrainskyi Medychnyi Almanakh*, 16(1), 119–121. [in Ukrainian]
2. Halishevskiy, R.V., & Pospelov, S.V. (2015). Posivni yakosti nasinnia zviroboiu zvychainoho (*Hypericum perforatum L.*) zalezho vid yoho pokhodzhennia [Sowing qualities of seeds of st. john's wort (*Hypericum perforatum L.*) depending on its origin]. *Perspektyvni napriamy naukovykh doslidzhen likarskykh ta efirooliinykh kultur : materialy II Vseukr. nauk.-prakt. konf. molodykh vchenykh*. Lubny: Komunalne vydavnytstvo «Lubny», 74–76. [in Ukrainian]
3. Solohub, V.A., & Hrytsyk, A.R. (2011). Perspektivy vykorystannia vydiv zviroboiu v medytsyni ta farmatsii [Prospects for the use of st. john's wort in medicine and pharmacy]. *Ukrainskyi Medychnyi Almanakh*, 14(5), 183–186. [in Ukrainian]
4. Pospelov, S.V., & Halishevskiy, R.V. (2014). Osoblyvosti prorostannia nasinnia zviroboiu zvychainoho (*Hypericum perforatum L.*) [Features of germination of seeds of st. john's wort (*Hypericum perforatum L.*)]. *Likarski roslyny: tradytsii ta perspektyvy doslidzhen : materialy II Mizhnar. nauk. konf.* Lubny: Komunalne vydavnytstvo «Lubny», 152–157. [in Ukrainian]
5. Ovchynnykova, V.N., Karsunkyna, N.P., Kharchenko, P.N., & Nykyforova, N.V. (2018). Vliyanie rusloviy kultivirovaniya na morfofiziologicheskuyu aktivnost i sodержanie fenolnih soedineniy zveroboya prodyiryavlennoho (*Hypericum perforatum L.*) v kulture in vitro [Influence of cultivation channels on morphophysiological activity and content of phenolic compounds of st. john's wort (*Hypericum perforatum L.*) in vitro culture]. *Himiya rastitelnogo syirya*, 3, 223–229. [in Russian]
6. Abramchuk, A.V. (2015). Vliyanie sorta na formirovanie produktivnosti zveroboya prodyiryavlennoho *Hypericum perforatum L.* [Influence of a grade on formation of productivity of st. john's wort perforated *Hypericum perforatum L.*]. *Agrarnyy vestnik Urala*, 3(133), 39–42. [in Russian]
7. Moldavan, M.V., & Floria, M.A. (1988). Biologicheskie osobennosti zveroboya [Biological features of st. john's wort]. *Ukrainskaya konferentsiya po meditsinskoy botanike*. Kyev, 2, 115. [in Russian]
8. Joanne Barnes, John T Arnason, & Basil D Roufogalis, (2019). St John's wort (*Hypericum perforatum L.*): botanical, chemical, pharmacological and clinical advances. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 71(1), 1–3. <https://doi.org/10.1111/jph.13053>
9. Sokolov S.Y. (2000). *Fitoterapiya i fitofarmakologiya: Rukovodstvo dlya vrachey*. [Phytotherapy and Phytopharmacology: A Guide for Physicians]. Moskva. [in Russian]
10. Raal, A., Pihlik, U., Paaver, U., Volmer, D., & Meos, A. (2004). Vliyanie gustoty posadki *Hypericum perforatum L.* na ego razvitie i sodержanie deystvuyuschih veschestv [Phytotherapy and Phytopharmacology: A Guide for Physicians]. *Rastitelnyie resursy*, 40, 3, 36–41. [in Russian]
11. Mahady, G.B., Fong, H.S., & Farnsworth, N.R. (2001). *Botanical dietary supplements: quality, safety and efficacy*. (University of Illinois at Chicago). Swets & Zeitlinger Publishers, Netherlands.
12. Matcovschi, C., Gonciar, V., & Matcovschi, S. (2014). *Hypericum perforatum L.* and its component Hiperforin in the treatment of various diseases. *Curierul medical*, 57(2), 86–94.
13. Istikoglou, C., Mavreas, V., & Geroulanos, G. (2010). History and therapeutic properties of *Hypericum Perforatum* from antiquity until today. *Psychiatriki*, 21(4), 332–338.
14. Balyk, Ye.P., Zhuk, M.I., & Pospelov, S.V. (2016). Vplyv umov vyroshchuvannia na rozvytok rozsady zviroboiu zvychainoho (*Hypericum perforatum L.*) [Influence of growing conditions on the development of seedlings of st. john's wort (*Hypericum perforatum L.*)]. *Likarske roslyny: vid dosvidu mynuloho do novitnikh tekhnolohii: materialy piatoi mizhnarodnoi nauko-vo-praktychnoi konferentsii*. Poltava : RVV PDAA, 37–40. [in Ukrainian]
15. Draga, A.I. (1992). Vyihod lekarstvennogo syirya zveroboya v zavisimosti ot sostoyaniya populyatsiy [The yield of medicinal raw materials st. john's wort, depending on the state of populations]. *Tretya Ukrainskaya konferentsiya po meditsinskoy botanike*, 2, 60. [in Russian]
16. Pryvedeniuk, N.V., & Shatkovskiy, A.P. (2020). Vplyv ploshchi zhyvlennia materynyky zvychainoi (*Origanum vulgare L.*) na ris ta rozvytok v umovakh kraplynnoho zroshennia [Influence of feeding area of oregano (*Origanum vulgare L.*) on growth and development under drip irrigation]. *Melioratsiia i vodne hospodarstvo*, Kyiv, 1, 68–75. [in Ukrainian]

17. Pryvedeniuk, N.V., & Hlushchenko, L.A. (2019). Vplyv ploshchi zhyvlennia roslyn ta mineralnykh dobryv na produktyvnist chebretsii zvychnoiho (*Thymus vulgaris* L.) za rozsadnoho sposobu rozmnozhenia v umovakh zroshennia [Influence of plant nutrition area and mineral fertilizers on the productivity of thyme (*Thymus vulgaris* L.) by seedling method of reproduction under irrigation]. *Visnyk ahrarnoi nauky*. Kyiv : DV «Ahrarna nauka», 1, 32–39. [in Ukrainian]

18. Radušienė, J., Marksa, M., Ivanauskas, L., Jakštas, V., Caliskan, O., Kurt, D., Odabas, M., & Cirak, C. (2019). Effect of nitrogen on herb production, secondary metabolites and antioxidant activities of *Hypericum pruinatum* under nitrogen application. *Industrial Crops and Products*, 139. <http://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111519>

19. Azizi, M. & Omidbaigi, R. (2002). Effect of np supply on herb yield, hypericin content and cadmium accumulation of st. john's wort (*Hypericum perforatum* L.). *Acta Hort*, 576, 267–271. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2002.576.39>

20. Salivon, A.H., Lystvan, K.V., Litvinov, S.V., Pchelovska, S.A., Shylina, Yu.V., Zhuk, V.V., & Tonkal, L.V. (2019). Vyznachennia vplyvu riznykh doz przedposivnoho oprominennia nasinnia na vmist flavonoidiv u likarskii syrovyni zviroboiu zvychnoiho [Determination of the effect of different doses of pre-sowing irradiation of seeds on the content of flavonoids in medicinal raw materials st. john's wort]. *Fakty eksperymentalnoi evoliutsii orhanizmiv*, 25, 310–315.

Н.В. Приведенюк, А.П. Шатковский

Продуктивность зверобоя продырявленного (*Hypericum perforatum* L.) при рассадном способе размножения в условиях капельного орошения

Аннотация. Исследовано влияние площади питания растений и норм минеральных удобрений на продуктивность зверобоя продырявленного (*Hypericum perforatum* L.) при рассадном способе размножения в условиях капельного орошения. Доказано, что рассадный способ выращивания зверобоя продырявленного при капельном орошении достаточно эффективный метод размножения этой культуры. Изучено четыре густоты посадки растений на единицу площади: 42 тыс. раст./га (схема выращивания 60 × 40 см), 56 тыс. раст./га (60 × 30 см), 83 тыс. раст./га (60 × 20 см) и 167 тыс. раст./га (60 × 10 см). Учет урожая сырья (воздушно-сухих верхушек) проводили в фазу массового цветения. В первый год вегетации этот период приходился на первую декаду августа, во второй год – вторую декаду июня. Установлено, что увеличение количества высаженных растений зверобоя продырявленного на 1 га способствовало повышению продуктивности насаждений. При густоте выращивания 42 тыс. раст./га урожайность сухой травы в первый год вегетации составила 3,02 т/га. Увеличение количества растений до 56 тыс. раст./га обеспечило получение 3,26 т/га сырья. Наивысшую урожайность сухой травы зверобоя – 3,76 т/га в первый год вегетации было получено в варианте с наибольшим количеством высаженных растений на единицу площади – 167 тыс. раст./га. На второй год вегетации зверобоя продырявленного в варианте с наименьшей густотой – 42 тыс. раст./га урожайность сырья составила 3,65 т/га. Наиболее продуктивной плантация второго года вегетации была с густотой 83 тыс. раст./га., где урожайность сухого сырья составила 3,96 т/га. Дальнейшее увеличение количества растений на единицу площади способствовало снижению урожайности культуры. Также исследовано влияние четырех вариантов основного внесения минеральных удобрений на продуктивность зверобоя продырявленного: $N_0P_0K_0$ (контроль), $N_{60}P_{60}K_{60}$, $N_{120}P_{120}K_{120}$ и $N_{180}P_{180}K_{180}$. Установлено, что с увеличением дозы внесения удобрения урожайность сухого сырья увеличивалась. Наиболее благоприятные условия для роста и развития растений зверобоя продырявленного сложились в варианте с максимальной нормой внесения удобрений – $N_{180}P_{180}K_{180}$, где урожайность сухого сырья в первый год составила 3,31 т/га, а во второй год – 4,15 т/га, что превышало контроль на 0,61 т/га и 0,84 т/га соответственно.

Ключевые слова: рассада, площадь питания, густота посадки, минеральные удобрения, нормы внесения, сухое сырье, урожайность, капельное орошение

N.V. Pryvedenyuk, A.P. Shatkovskiy

Productivity of common Saint-John's wort (*Hypericum perforatum* L.) by using transplant reproduction method in the conditions of drip irrigation

Abstract. The influence of plant nutrition area and mineral fertilizer rates on the productivity of St. John's wort (*Hypericum perforatum* L.) by using transplant reproduction method in the conditions of drip irrigation was studied. It was proved that the transplant method of cultivation of St. John's wort under drip irrigation is a very effective method of reproduction of this crop. Four variants of planting density per unit area were studied: 42 thousand plants/ha (cultivation scheme 60 × 40 cm), 56 thousand plants/ha

(60 × 30 cm), 83 thousand plants/ha (60 × 20 cm) and 167 thousand plants/ha (60 × 10 cm). Yield recording of raw materials (air-dry tops) was carried out in the phase of mass flowering. In the first year of vegetation this period was in the first decade of August, in the second year – in the second decade of June. It was found that the increase in the number of planted plants of St. John's wort per 1 ha contributed to the increased plantation productivity. When having a cultivation plant density of 42,000 plants/ha, the yield of dry grass in the first year of vegetation was 3,02 t/ha. Increasing the number of plants to 56 thousand plants/ha provided 3,26 t/ha of raw materials. The highest yield of dried St. John's wort – 3,76 t/ha in the first year of vegetation was obtained in the variant with the largest number of planted plants per unit area – 167 thousand plants/ha. In the second year of vegetation of St. John's wort in the variant with the lowest plant density of 42 thousand plants/ha, the yield was 3,65 t/ha. The most productive plantation of the second year of vegetation was in the variant with a plant density of 83 thousand plants/ha, where the yield of dry raw materials was 3,96 t/ha. A further increase in the number of plants per unit area led to a decrease in crop yields. The influence of four variants of the main application of mineral fertilizers on the productivity of St. John's wort was also studied: $N_0P_0K_0$ (reference), $N_{60}P_{60}K_{60}$, $N_{120}P_{120}K_{120}$ and $N_{180}P_{180}K_{180}$. It was found that with increasing fertilizer application rate, the yield of dry raw materials increased. The most favorable conditions for growth and development of plants of St. John's wort developed in the variant with the maximum rate of fertilizer application – $N_{180}P_{180}K_{180}$, where the yield of dry raw materials in the first year was 3,31 t/ha, and in the second year – 4,15 t/ha, which exceeded the reference result (without fertilizers) by 0,61 t/ha and 0,84 t/ha, respectively.

Key words: seedling, feeding area, planting density, mineral fertilizers, application rates, dry raw materials, yield, drip irrigation

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202101-268>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/268>

УДК 699.8; 691.175

ВПЛИВ РЕЦЕПТУРИ НА ВЛАСТИВОСТІ ПОЛІМЕРЦЕМЕНТНИХ ГІДРОІЗОЛЯЦІЙНИХ СУМІШЕЙ

О.В. Коваленко, канд. техн.наук

Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна

<https://orcid.org/0000-0002-2047-8859>; e-mail: aleksandr55kovakenko@gmail.com

Анотація. *Методом експериментально-статистичного моделювання досліджено технологічні властивості полімерцементних сумішей та фізико-механічні властивості полімерцементних гідроізоляційних покриттів залежно від їх кількісного та якісного складу: співвідношення цемент: пісок (Ц: П), водоцементного відношення (В/Ц) та вмісту модифікуючих добавок. У результаті реалізації плану B_3 та обробки експериментальних даних отримано експериментально-статистичні моделі, які виражають вплив рецептури на властивості полімерцементних гідроізоляційних сумішей та покриттів: рухомість, міцність на стиск, міцність на згин, адгезійну та ударну міцність, водопоглинання. Встановлено, що при постійних значеннях Ц: П та В/Ц модифікуючі добавки: редиспергуючий полімерний порошок, порошковий полікарбоксилатний суперпластифікатор та мікрокремнезем є важливим фактором формування структури та властивостей гідроізоляційних покриттів. Аналіз моделей показав, що на рухомість полімерцементних гідроізоляційних сумішей позитивно впливають редиспергуючий полімерний порошок та суперпластифікатор, мікрокремнезем діє на цей показник негативно. Вплив модифікаторів на фізико-механічні властивості гідроізоляційних покриттів: редиспергуючий полімерний порошок та суперпластифікатор негативно впливають на міцність на стиск, мікрокремнезем цей показник підвищує; редиспергуючий полімерний порошок та мікрокремнезем підвищують міцність на згин, суперпластифікатор діє на цей показник негативно; всі досліджувані модифікатори підвищують адгезійну та ударну міцність та знижують водопоглинання. За експериментально-статистичними моделями побудовані діаграми, які є графічним зображенням впливу рецептури на властивості полімерцементних гідроізоляційних сумішей і дають можливість визначити області їх рецептур із заданими властивостями.*

Ключові слова: полімерцементні суміші, гідроізоляційні покриття, гідроізоляція, фізико-механічні властивості, експериментально-статистичні моделі

Актуальність теми. Залізобетонні конструкції гідротехнічних споруд (ГТС) у процесі експлуатації піддаються впливу води та вологи, а також їх дії в комплексі з циклічним заморожуванням та відтаванням. У результаті насичення порової структури бетону вологою та підвищення тиску води при замерзанні відбувається розрив суцільності прошарків цементного каменю. В результаті руйнується матеріал конструкції, знижується його довговічність, виникає корозія цементного каменю та сталеві арматури. Цей процес інтенсифікується в зоні перемінного рівня води. Негативним фактором є також фільтрація води через тіло конструкції. Гідроізоляційний захист конструкцій ГТС є важливим інженерним завданням.

Аналіз попередніх досліджень. Одним із перспективних напрямків в технологіях улаштування гідроізоляційних покриттів є застосування полімерцементних гідроізоляційних сумішей (ПГС). Можливість нанесення таких сумішей на вологу поверхню,

високі показники водонепроникності, адгезійних та деформативних характеристик, екологічна безпечність відкривають перспективу їх ефективного використання при захисті залізобетонних ГТС.

Аналіз сучасного будівельного ринку показує, що на сьогодні пропонується достатньо широкий діапазон полімерцементних сумішей для гідроізоляційних покриттів. Незважаючи на це, їх широке застосування в практиці гідроізоляції ГТС водогосподарсько-меліоративного комплексу на сучасному етапі є обмеженим через високу вартість, відсутність нормативної бази застосування та відсутність наукових даних про стійкість і довговічність. Порівняльний аналіз технологічних та фізико-механічних властивостей ПГС різних фірм-виробників показує, що технологічні властивості сумішей та фізико-механічні властивості гідроізоляційних покриттів на їх основі відомих вітчизняних рецептур поступаються кращим зарубіжним зразкам. Створення подібного вітчизняного

продукту відповідної якості, але з меншою собівартістю, є актуальною задачею.

Полімерцементні суміші становлять собою суміші, що складаються з певного виду, або декількох видів цементу, фракціонованого кварцового піску в різній пропорції та модифікуючих добавок (сухих полімерних порошків, полімерних дисперсій та мінеральних добавок) [1; 2]. На сьогодні розроблено низку полімерцементних сумішей для конструкційного ремонту залізобетонних гідротехнічних споруд [3–10], а також для гідроізоляційних покриттів будівельних конструкцій [11–13]. Такі суміші отримують модифікацією цементно-піщаних розчинів полімерними (редиспергуючий полімерний порошок або полімерна дисперсія) та мінеральними (мікрокремнезем, метакаолін) добавками. Створення ефективних полімерцементних сумішей базується на оптимізації співвідношення взаємопроникаючих сіток полімерів та кристалогідратів цементної матриці, Модифікація цементних систем полімерами дозволяє підвищити адгезійні та деформативні характеристики, тріщиностійкість та корозійну стійкість полімерцементних композитів [12–16].

Аналіз відомих рецептур ПГС показує, що вони, як правило, містять цементно-піщану суміш (портландцемент, кварцовий пісок), модифіковану (в тій чи іншій комбінації) редиспергуючим полімерним порошком або полімерною дисперсією, ефірами целюлози (водоутримуюча добавка), мінеральним наповнювачем (вапнякове борошно, фосфогіпс-дигідрат, зола винесення), мінеральним розріджувачем (бентоніт), порошковим суперпластифікатором та антиспінювачем [17–20]. Найбільш перспективною є модифікація полімерцементних сумішей органо-мінеральними добавками (ОМД), які складаються з полікарбоксилатних суперпластифікаторів останнього покоління та мінеральних наповнювачів – мікрокремнезему та метакаоліну. Застосування ОМД дозволяє отримати високо-ефективні самоущільнювальні бетонні суміші та є ефективним методом покращення властивостей цементно-піщаних розчинів [21–24]. Вплив комплексного модифікатора, який складається з редиспергуючого полімерного порошку (РПП), порошкового полікарбоксилатного суперпластифікатора (СП) та мікрокремнезему (МК), на властивості ПГС дотепер не вивчено. Дані продукти не виробляються в Україні, але вони присутні на нашому будівельному ринку і можуть бути застосовані для створення нових ефективних модифікацій ПГС гідротехнічного призначення [25].

Мета досліджень – визначити вплив рецептури на технологічні властивості ПГС та на фізико-механічні властивості покриттів на їх основі.

Методика досліджень. Досліджували вплив співвідношення цемент: пісок (Ц: П), водоцементного відношення (В/Ц), вмісту редиспергуючого полімерного порошку (РПП) Neolith P 4400, порошкового полікарбоксилатного суперпластифікатора (СП) Sika Viscokrete 225, мікрокремнезему (МК) Elkem Microsilica на рухомість гідроізоляційних сумішей (Р) та на фізико-механічні властивості гідроізоляційних покриттів: міцність на стиск $f_{cm\ cube}$, міцність на згин f_{ctd} , адгезійну міцність f_{adg} , ударну міцність f_{imp} , водопоглинання W_m .

Рухомість сумішей визначали за глибиною занурення конуса згідно з ДСТУ Б В.2.7–239:2010. Фізико-механічні характеристики гідроізоляційних покриттів визначали у віці 28 діб за такими показниками: міцність на стиск – на зразках-кубах із розміром ребра 70 мм згідно з ДСТУ Б В.2.7–239:2010; міцність на згин – на зразках-балочках розміром 40 × 40 × 160 мм згідно з ДСТУ Б В.2.7–239:2010; адгезію визначали за допомогою розривної машини РМ-05, яка була обладнана спеціальними захватами, на зразках-напіввісімках діаметром 40 мм, з поверхнею контакту 20 × 20 мм, склеєних між собою гідроізоляційною сумішшю; водопоглинання – на зразках-балочках розміром 40 × 40 × 160 мм згідно з ДСТУ Б В.2.7–239:2010; ударну міцність – на зразках-кубах із ребром 7,07 см на лабораторному копрі шляхом ударяння гирі масою 2 кг по зразку через підбабок зі сферичною поверхнею радіусом 1 см.

У дослідженнях застосовували портландцемент ПЦ І-500 виробництва ВАТ «Волиньцемент», пісок річковий Дніпровський з модулем крупності $M_{кр} = 1,49$. Зразки формували в спеціальних формах із подальшою їх витримкою в повітряно-сухих умовах при температурі 22–25 °С протягом 28 діб. Суміші готували з використанням низькообертового електроміксера: спочатку перемішували сухі компоненти протягом 5 хв., потім приготувану суміш перемішували з водою протягом 5 хв. Дослідження проводили методом математичного планування експерименту із застосуванням плану B_3 . Умови планування експерименту наведено в табл. 1.

Результати досліджень. Зі зменшенням співвідношення Ц:П міцнісні характеристики покриття зростають: міцність на стиск –

з 32,5 МПа до 82,6 МПа, міцність на згин – з 5,2 МПа до 8,6 МПа (рис. 1).

Одночасно коефіцієнт тріщиностійкості покриття (відношення міцності на стиск до міцності на згин) знижується з 0,16 до 0,10 (рис. 2), що є негативним явищем. Тому співвідношення Ц:П=1:2 як компромісний варіант було прийнято в подальших дослідженнях.

Збільшення В/Ц позитивно впливає на рухомість гідроізоляційної суміші: зі збільшенням В/Ц з 0,4 до 0,49 цей показник зростає з 3,2 см до 7,8 см (рис. 3а). При цьому міцність на стиск покриття знижується з 47,0 до 30,0 МПа (рис. 3б).

Отже, при виборі В/Ц необхідно вирішувати компромісну задачу: з одного боку воно

1. Умови планування експерименту

Фактори рецептури	Рівні варіювання			Інтервал варіювання
	-1	0	+1	
X1, вміст РПП, % від маси цементу	0	10	20	10
X2, вміст СП, % від маси цементу	0	0,15	0,3	0,15
X3, вміст МК, % від маси цементу	0	7,5	15	7,5

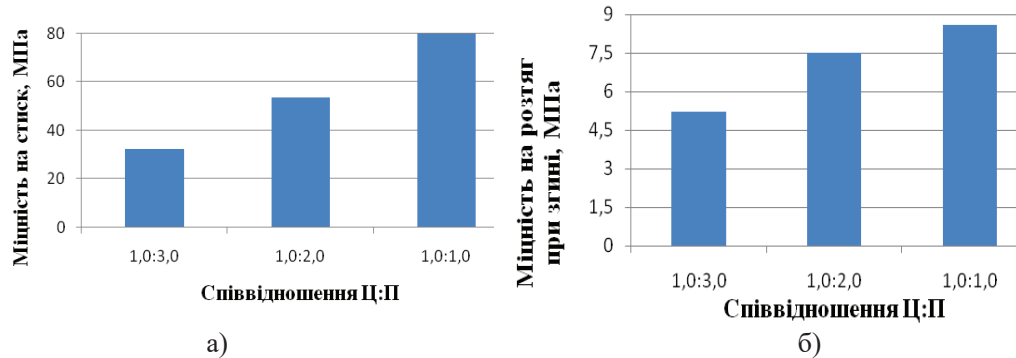


Рис. 1. Вплив співвідношення Ц:П на міцність на стиск (а) та на міцність на згин (б) гідроізоляційного покриття

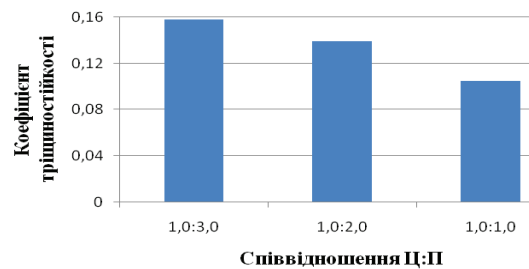


Рис. 2. Вплив співвідношення Ц:П на коефіцієнт тріщиностійкості гідроізоляційного покриття

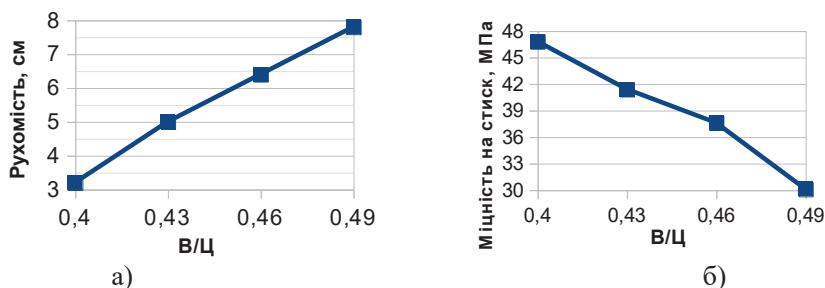


Рис. 3. Вплив В/Ц на рухомість гідроізоляційної суміші (а) та на міцність на стиск гідроізоляційного покриття (б)

повинно забезпечувати необхідну рухомість суміші, а з іншого – необхідну міцність гідроізоляційного покриття. Враховуючи, що при створенні полімерцементної суміші використовується суперпластифікатор, у дослідженнях застосовували технологічно мінімально-можливе В/Ц=0,4.

Матриця планування експерименту та результати випробувань полімерцементних сумішей та гідроізоляційних покриттів залежно від вмісту модифікаторів наведені в табл. 2.

Як видно з таблиці 2, залежно від рецептури властивості ПГС коливаються в межах: $P - 2,1...13,0$ см, $f_{cm\ cube} - 19,6...52,2$ МПа, $f_{ctd} - 6,4...12,9$ МПа, $f_{adg} - 0,5...3,1$ МПа, $f_{imp} - 0,10...0,31$ Дж/см³, $W_m - 1,1...7,0$ МПа.

У результаті обробки експериментальних даних отримано експериментально-статистичні (ЕС) моделі, які виражають вплив рецептури на рухомість (P) полімерцементної суміші та на міцність на стиск (f_{cmcube}), міцність на згин (f_{ctd}), адгезійну міцність (f_{adg}), ударну міцність (f_{imp}), водопоглинання (W_m) гідроізоляційного покриття:

$$P = 5,83 + 1,72x_1 + 1,73x_2 - 1,84x_3 - 0,27x_1^2 - 0,32x_2^2 + 0,63x_3^2 + 0,49x_1x_2 - 0,56x_1x_3 + 0,63x_2x_3 \quad (1)$$

$$f_{cm\ cube} = 33,2 - 8,4x_1 - 3,6x_2 + 6,0x_3 + 2,2x_1^2 - 3,0x_2^2 - 1,3x_3^2 + 1,6x_1x_2 - 1,0x_1x_3 - 0,2x_2x_3 \quad (2)$$

$$f_{ctd} = 10,6 + 1,6x_1 - 0,9x_2 + 1,0x_3 - 0,7x_1^2 - 0,8x_2^2 - 0,1x_3^2 - 0,3x_1x_2 + 0,5x_1x_3 + 0,2x_2x_3 \quad (3)$$

$$f_{adg} = 2,20 + 0,81x_1 + 0,29x_2 + 0,18x_3 - 0,13x_1^2 - 0,13x_2^2 - 0,02x_3^2 - 0,06x_1x_2 - 0,06x_1x_3 - 0,04x_2x_3 \quad (4)$$

$$f_{imp} = 0,23 + 0,05x_1 - 0,02x_2 + 0,04x_3 + 0,01x_1^2 - 0,01x_2^2 - 0,03x_3^2 \quad (5)$$

$$W_m = 3,14 - 1,47x_1 - 0,64x_2 - 0,70x_3 + 0,21x_1^2 + 0,26x_2^2 + 0,06x_3^2 + 0,11x_1x_2 + 0,06x_1x_3 + 0,19x_2x_3 \quad (6)$$

Аналіз моделей 1–6 показує, що на рухомість полімерцементних сумішей позитивно впливають РПП та СП при незначному переважному впливі СП. Рухомість сумішей значно знижується при збільшенні вмісту МК. РПП та СП негативно впливають на міцність на стиск гідроізоляційного покриття. РПП та МК підвищують його міцність на згин, СП діє на цей показник негативно. Всі досліджувані модифікатори (РПП, СП, МК) підвищують адгезійну та ударну міцність покриття та знижують його водопоглинання.

За моделями 1–6 побудовані діаграми, які є графічним зображенням впливу модифікуючих добавок на властивості полімерцементних сумішей та гідроізоляційних покриттів в локальних точках РПП = -1; 0; +1 (рис. 5–10). Діаграми дають можливість

2. Матриця планування експерименту та результати випробувань

№ досліду	Матриця плану в кодах			Матриця плану в натуральних величинах			Рухомість P, см	Міцність на стиск f_{cube} , МПа	Міцність на згин f_{ctd} , МПа	Адгезійна міцність f_{adg} , МПа	Ударна міцність, f_{imp} , Дж/см ³	Водопоглинання, W_m , %
	X ₁	X ₂	X ₃	РПП	СП	МК						
1	1	1	1	20	0,3	15	6,7	25,6	11,5	3,1	0,27	1,1
2	-1	1	1	0	0,3	15	3,6	41,2	7,7	1,7	0,17	3,9
3	1	-1	1	20	0	15	3,7	30,0	12,9	2,7	0,31	2,0
4	-1	-1	1	0	0	15	2,1	52,2	8,3	1,1	0,21	4,9
5	1	1	-1	20	0,3	0	13,0	15,9	8,2	2,9	0,19	2,2
6	-1	1	-1	0	0,3	0	7,2	27,6	6,4	1,3	0,10	4,9
7	1	-1	-1	20	0	0	7,1	19,6	10,9	2,4	0,23	3,5
8	-1	-1	-1	0	0	0	3,7	37,6	7,8	0,5	0,17	7,0
9	1	0	0	20	0,15	7,5	7,2	26,9	11,1	2,9	0,29	1,9
10	-1	0	0	0	0,15	7,5	3,9	43,7	8,5	1,3	0,17	4,7
11	0	1	0	10	0,3	7,5	7,2	26,5	8,5	2,4	0,20	2,8
12	0	-1	0	10	0	7,5	3,8	33,7	10,9	1,8	0,25	3,9
13	0	0	1	10	0,15	15	4,7	37,8	11,6	2,4	0,24	2,5
14	0	0	-1	10	0,15	0	8,2	25,8	9,7	2,1	0,16	3,8
15	0	0	0	10	0,15	7,5	6,0	33,0	10,8	2,2	0,23	3,1

визначити області вмісту модифікаторів, які забезпечують певні властивості гідроізоляційних сумішей та покриттів на їх основі. Суміщенням факторних просторів моделей можна визначити область рецептур, які забез-

печують отримання сумішей із заданими властивостями.

Висновки. Досліджено вплив рецептури на рухомість полімерцементних сумішей та на фізико-механічні властивості гідроізоляційних

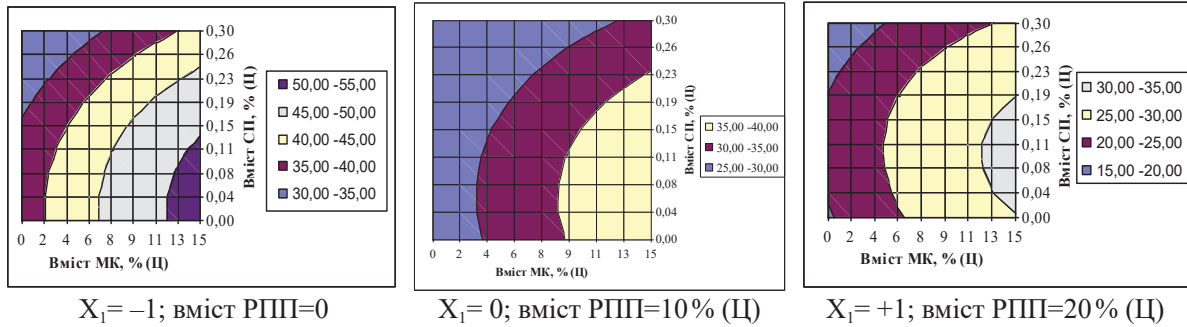


Рис. 4. Вплив СП та МК на рухомість полімерцементної суміші

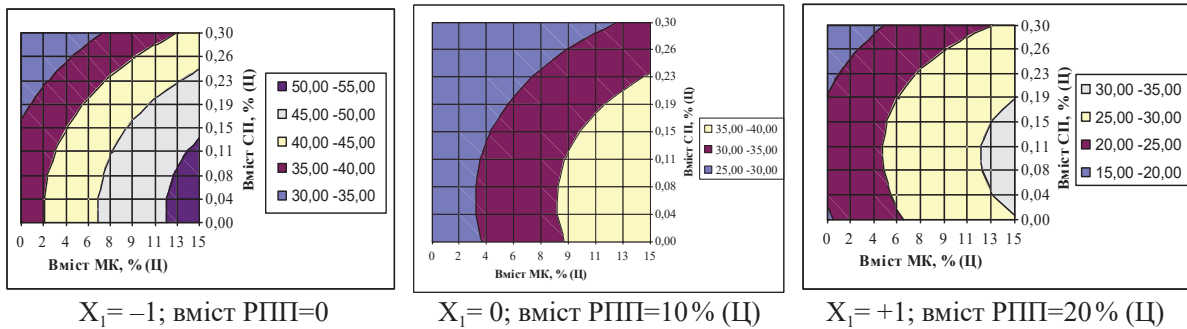


Рис. 5. Вплив СП та МК на міцність на стиск гідроізоляційного покриття

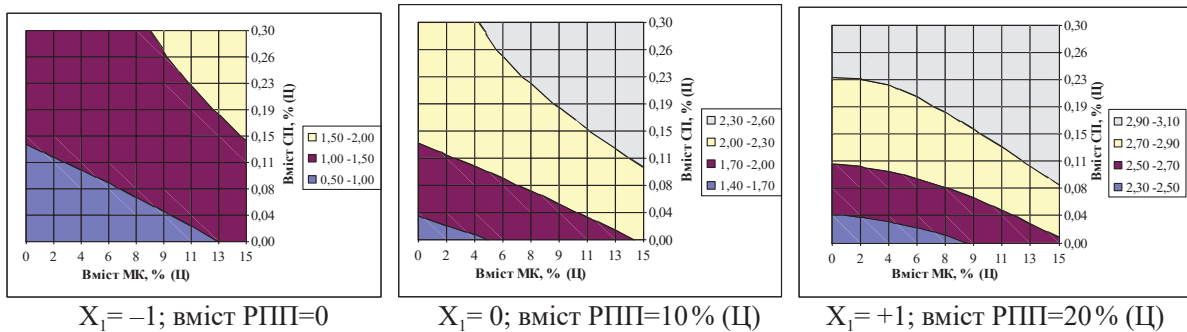


Рис. 6. Вплив СП та МК на адгезійну міцність гідроізоляційного покриття

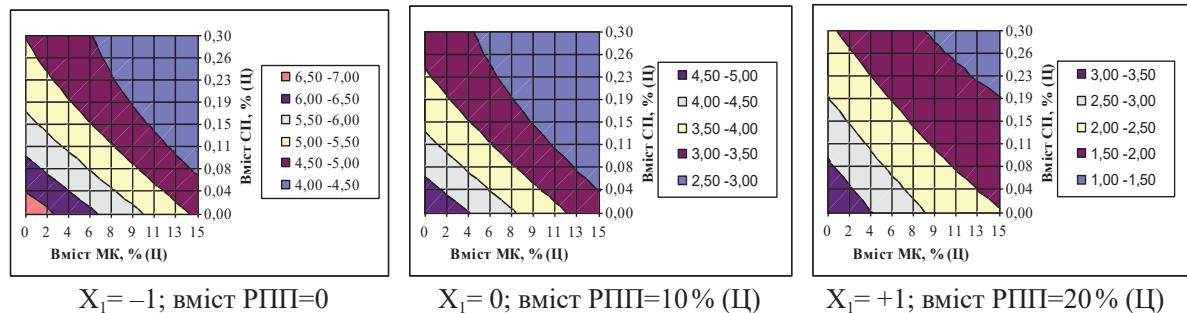


Рис. 7. Вплив СП та МК на водопоглинання гідроізоляційного покриття

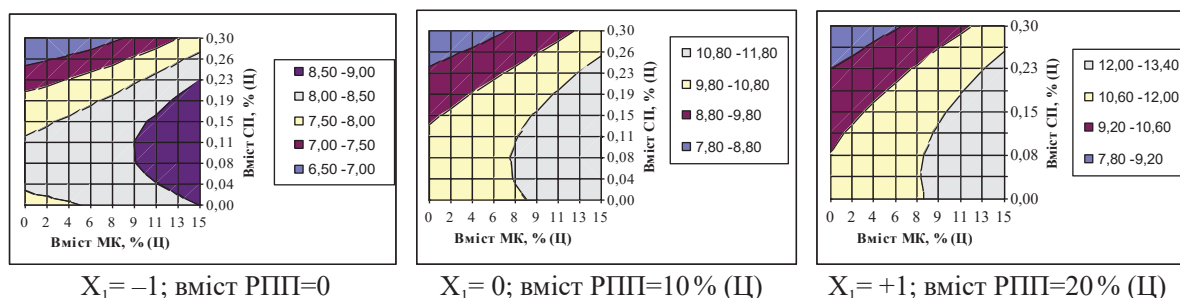


Рис. 8. Вплив СП та МК на міцність на згин гідроізоляційного покриття

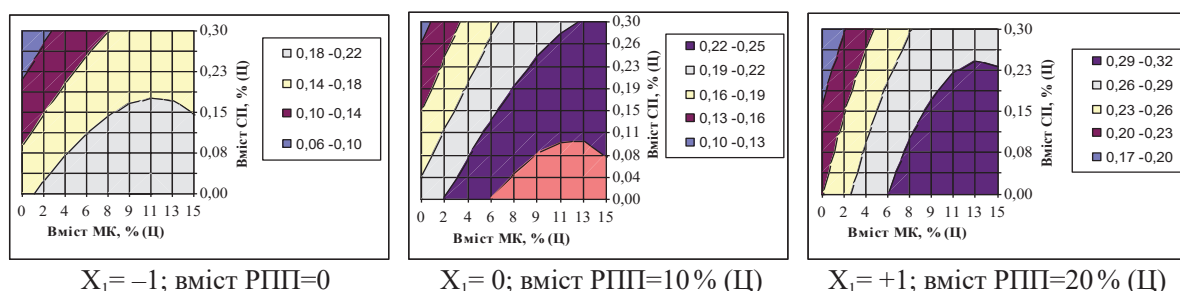


Рис. 9. Вплив СП та МК на ударну міцність гідроізоляційного покриття

покривів на їх основі: міцність на стиск і на розтяг при згині, адгезійну та ударну міцність, водопоглинання. Отримано експериментально-статистичні моделі, які виражають вплив модифікуючих добавок на технологічні властивості ПГС та на фізико-механічні властивості покриттів на їх основі. Залежно від вмісту модифікаторів властивості ПГС та покриттів на їх основі коливаються в межах: $P - 2,1 \dots 13,0$ см, $f_{cm\ cube} - 19,6 \dots 52,2$ МПа, $f_{ctd} - 6,4 \dots 12,9$ МПа, $f_{adg} - 0,5 \dots 3,1$ МПа, $f_{imp} - 0,10 \dots 0,31$ Дж/см³, $W_m - 1,1 \dots 7,0$ МПа. При постійних значеннях

Ц:П та В/Ц на рухомість ПГС позитивно впливають РПП та СП при незначному переважному впливі СП. Рухомість сумішей значно знижується при збільшенні вмісту МК. Вплив модифікаторів на фізико-механічні властивості гідроізоляційних покриттів: РПП та СП негативно впливають на міцність на стиск, МК цей показник підвищує; РПП та МК підвищують міцність на згин, СП діє на цей показник негативно; всі досліджувані модифікатори підвищують адгезійну та ударну міцність та знижують водопоглинання.

Бібліографія

1. Бобрышев А.А. и др. Модифицированные порошковыми полимерами отделочные растворы на основе сухих смесей : монография. Пенза : ПГУАС, 2014. 132 мс.
2. Баженов Ю.М., Коровяков В.Ф., Денисов Г.А. Технология сухих строительных смесей : учебное пособие. Москва : АСВ, 2016. 113 с.
3. Полімерцементний розчин : пат. 56754 Україна № у 201008446 ; заявл. 06.07.2010 ; опубл. 25.01.2011, Бюл. № 2.
4. Полімерцементний розчин : пат. 72513 Україна № у 201115422 ; заявл. 26.12.2011 ; опубл. 27.08.2012, Бюл. № 16.
5. Полімерцементний розчин : пат. 75236 Україна № у 201205744 ; заявл. 11.05.2012 ; опубл. 26.11.2012, Бюл. № 22.
6. Полімерцементний розчин : пат. 76447 Україна № у 201205731 ; заявл. 11.05.2012 ; опубл. 10.01.2013, Бюл. № 1.
7. Полімерцементний розчин : пат. 76448 Україна № у 201205732 ; заявл. 11.05.2012 ; опубл. 10.01.2013, Бюл. № 1.
8. Полімерцементний розчин : пат. 93582 Україна. № у 201403980 ; заявл. 14.04.2014 ; опубл. 10.10.2014, Бюл. № 19.
9. Суха будівельна суміш для ремонтних гідроізолюючих розчинів : пат. 93585 Україна № у 201403987 ; заявл. 14.04.2014 ; опубл. 10.10.2014, Бюл. № 19.
10. Суха будівельна суміш для ремонтних гідроізолюючих розчинів : пат. 93586 Україна № у 201403989 ; заявл. 14.04.2014 ; опубл. 10.10.2014, Бюл. № 19.

11. Лотарев В.В., Мошковая С.В., Сивков С.П. Сухие строительные смеси для устройства гидроизоляции бетонных конструкций. *Техника и технология силикатов*. 2008. №1. С. 26–31.
12. Карапузов Е.К., Арефьева М.Г. Технология гидроизоляции строительных конструкций с применением полимерцементных смесей. *Будівельне виробництво*. 2012. № 53. С. 97–99.
13. Карапузов Е.К., Арефьева М.Г. Технологические основы применения двухсоставных полимерцементных гидроизоляционных смесей. *Строительные материалы и изделия*. 2011. №1. С. 27–28.
14. Кондрашов Г.М. Коррозионная стойкость бетонов, модифицированных латексами винилового ряда. *Бетон и железобетон*. 2006. № 5. С. 22–25.
15. Кондрашов Г.М. Некоторые особенности влияния добавок водных дисперсий полимеров на стойкость цементных систем в химических агрессивных средах. *Мат. междунар. конф. «Долговечность строительных конструкций. Теория и практика»*. Волгоград, 2002. С. 54–63.
16. Карапузов Е.К., Арефьева М.Г. Дослідження впливу полімерної складової на адгезійну спроможність полімерцементних гідроізоляційних композицій. *Строительные материалы и конструкции*. 2011. № 6. С. 35–38.
17. Коваленко О.В. Вплив редиспергуючого полімерного порошку Neolith P4400 на реологічні та фізико-механічні властивості цементно-піщаного розчину. *Сб. научн. трудов Sworld*. Иваново : «Научный мир», 2015. Вып. № 3(40). С. 47–54.
18. Коваленко О.В. Модифікація цементно-піщаних ремонтних розчинів редиспергуючим полімерним порошком. *Меліорація і водне господарство*. 2016. № 103. С. 97–102.
19. Суха будівельна суміш для гідроізоляційних робіт : пат. 64566 Україна № u 201104835 ; заявл. 19.04.2011 ; опубл.10.11.2011, Бюл. № 21.
20. Ремонтно-гидроизолирующая композиция и добавка в виде волластонитового комплекса для ремонтно-гидроизолирующей композиции, строительных растворов, бетонов и изделий на их основе : пат. 2471738 РФ № 2011128952/03 ; заявл. 12.07.2011 ; опубл.10.01.2013, Бюл. № 1.
21. Наделастичне наномодифіковане цементне гідроізоляційне покриття та спосіб його виготовлення : пат. US 9738563B1 США ; заявл. 02.06.2016 ; опубл. 22.07.2017.
22. Двокомпонентний полімерцементний водостійкий розчин білого кольору : пат. CN 105314947A Китай ; заявл. 13.11.2015 ; опубл. 10.02.2016.
23. Самоущільнювальна фібробетонна суміш : пат. 121910 Україна № u 201704850 ; заявл. 19.05.2017 ; опубл. 26.12.2017, Бюл. № 24.
24. Самоущільнювальна фібробетонна суміш : пат. 124130 Україна № u 201709466 ; заявл. 27.09.2017 ; опубл. 26.03.2018, Бюл. № 6.
25. Умемура И., Сату М., Коизуми К., Цуюки Н. Влияние микрокремнезема и суперпластификатора на гидратацию цемента при низком водоцементном отношении. *Цемент и его применение*. 2013. № 4. С. 134–138.
26. Коваленко А.В. Влияние органо-минерального модификатора на свойства цементно-песчаного раствора. *Сб. научн. трудов по мат. междунар. науч. конф. «Проблемы и инновации в области механизации и технологий в строительных и дорожных отраслях»*. Иваново : «Научный мир», 2016. Вып. №3. С. 112–116.
27. Коваленко О.В. Влияние модифицирующих добавок на свойства ремонтно-защитных сухих строительных смесей. *Сб. научных трудов Sworld*. Иваново : «Научный мир», 2015. Вып. 1(38). Т. 6. С. 95–101.

References

1. Bobryshev, A.A. et al. (2014). Modyfytsyrovannyye poroshkovyuyu polymeramy otdelochnye rastvory na osnove sukhykh smesei [Finishing solutions modified with powder polymers based on dry mixtures] : monohrafyia. Penza : PHUAS. [in Russian]
2. Bazhenov, Yu.M., Koroviakov, V.F., & Denysov, H.A. (2016). Tekhnolohyia sukhykh stroytelnykh smesei [Dry mortar technology] : uchebnoe posobyе. Moskva : ASV. [In Russian]
3. Kovalenko, O.V., Dekhtiar, O.O., & Briuzghina, N.D. (2011). Polimertsementnyi rozchyn [Polymer cement mortar]. Patent of Ukraine № 56754. [in Ukrainian]
4. Kovalenko, O.V., & Vitkovskyyi, Yu.A. (2012). Polimertsementnyi rozchyn [Polymer cement mortar]. Patent of Ukraine № 72513. [in Ukrainian]
5. Kovalenko, O.V., & Krucheniuk, V.D. (2012). Polimertsementnyi rozchyn [Polymer cement mortar]. Patent of Ukraine № 75236. [in Ukrainian]
6. Kovalenko, O.V., & Krucheniuk, V.D. (2012). Polimertsementnyi rozchyn [Polymer cement mortar]. Patent of Ukraine № 76447. [in Ukrainian]

7. Kovalenko, O.V., & Krucheniuk, V.D. (2013). Polimertsementnyi rozchyn [Polymer cement mortar]. Patent of Ukraine № 76448. [in Ukrainian]
8. Kovalenko, O.V., & Krucheniuk, V.D. (2014). Polimercementnij rozchin [Polymer cement mortar]. Patent of Ukraine № 93582. [in Ukrainian]
9. Kovalenko, O.V., & Aheiev, A.O. (2014). Sukha budivelna sumish dlia remontnykh hidroizoliuiuchykh rozchyniv [Dry construction mix for repair and waterproofing solutions]. Patent of Ukraine № 93585. [in Ukrainian]
10. Kovalenko, O.V., Krucheniuk, V.D., & Aheiev, A.O. (2014). Sukha budivelna sumish dlia remontnykh hidroizoliuiuchykh rozchyniv [Dry construction mix for repair and waterproofing solutions]. Patent of Ukraine 93586. [in Ukrainian]
11. Lotarev, V.V., Moshkovskaia, S.V., & Syvkov, S.P. (2008). Sukhye stroytelnye smesy dlia ustroystva hydrozoliatsyy betonnykh konstruktsiy [Dry construction mixtures for waterproofing concrete structures]. *Tekhnika y tekhnolohiya sylykatov*, 1, 26–31. [in Russian]
12. Karapuzov, E.K., & Arefeva, M.H. (2012). Tekhnolohiya hydrozoliatsyy stroytelnykh konstruktsiy s pryemenyem polymertsementnykh smesei [Waterproofing technology of building structures using polymer-cement mixtures]. *Budivelne vyrobnytstvo*, 53, 97–99. [in Ukrainian]
13. Karapuzov, E.K., & Arefeva, M.H. (2011). Tekhnolohycheskye osnovy pryemeneniya dvukhsostavnykh polymertsementnykh hydrozoliatsyonnykh smesei [Technological basis for the use of two-component polymer-cement waterproofing mixtures]. *Stroytelnye materyaly y yzdeliya*, 1, 27–28. [in Ukrainian]
14. Kondrashov, H.M. (2006). Korrozyonnaia stoikost betonov, modyfytsirovannykh lateksamy vynylovoho riada [Corrosion resistance of concrete modified with vinyl latexes]. *Beton y zhelezo-beton*, 5, 22–25. [in Russian]
15. Kondrashov, H.M. (2002). Nekotorye osobennosti vliyaniya dobavok vodnykh dyspersiy polymerov na stoikost tsementnykh system v khymycheskykh ahressyvnykh sredakh [Some features of the influence of additives of aqueous dispersions of polymers on the resistance of cement systems in aggressive chemical media]. *Materyaly mezhdunarodnoi konferentsyy «Dolhovechnost stroytelnykh konstruktsiy. Teoriya y praktyka»*. Volhohrad. 54–63. [in Russian]
16. Karapuzov, E.K., & Arefeva, M.H. (2011). Doslidzhennia vplyvu polimernoї skladovoi na adheziinu spromozhnist polimertsementnykh hidroizoliatsiinykh kompozytsii [Investigation of the influence of the polymer component on the adhesion capacity of polymer-cement waterproofing compositions]. *Stroytelnye materyaly y konstruktsii*, 6, 35–38. [in Ukrainian]
17. Kovalenko, O.V. (2015). Vplyv redysperhuiuchoho polimernoho poroshku Neolith P4400 na reolohichni ta fizyko-mekhanichni vlastyvoli tsementno-pishchanoho rozchynu. [Influence of redispersible polymer powder Neolith P4400 on rheological and physical-mechanical properties of cement-sand mortar]. *Sb. nauchn. trudov Sworld. Yvanovo : «Nauchnyi mir»*, 3(40), 47–54. [in Ukrainian]
18. Kovalenko, O.V. (2016). Modyfikatsiia tsementno-pishchanykh remontnykh rozchyniv redysperhuiuchym polimernym poroshkom [Modification of cement-sand repair solutions with redispersible polymer powder]. *Melioratsiia i vodne hospodarstvo*, 103, 97–102. [in Ukrainian]
19. Dvorkin, L.I., Dvorkin, O.L., & Kundos, M.H. (2011). Sukha budivelna sumish dlia hidroizoliatsiinykh robot [Dry construction mix for waterproofing works]. Patent of Ukraine № 64566. [in Ukrainian]
20. Fokov, E.M., Fokov, M.E. (2013). Remontno-hydrozolyruishchaia kompozytsiia y dobavka v vyde vollastonytovoho kompleksa dlia remontno-hydrozolyruishchei kompozytsiyy, stroytelnykh rastvorov, betonov y yzdeliy na ykh osnove [Repair and waterproofing composition and additive in the form of wollastonite complex for repair and waterproofing composition, mortars, concretes and products based on them]. Patent of Russia № 2471738. [in Russian]
21. Su, Pin Bao, Sin, Kun Lu, & Ven, TSziun Luo (2017). Nadelastychne nanomodyfikovane tsementne hidroizoliatsiine pokryttia ta sposib yoho vyhotovlennia [Nadelastic nano-modified cementitious hydro-insulating coating and method of preparationpat]. Patent of USA № US 9738563B1.
22. Shen, Heng, Wang, Hui, & Yuan, Liu Jinjing. (2016). Dvokomponentnii pol mertsementnii vodost ikii rozchin b logo koloru [Two-component polymer-cement waterproof solution of white color]. Patent of China № CN 105314947A [in China]
23. Kovalenko, O.V. & Iuziuk, O.Iu. (2017). Samoushchilniivalna fibrobetonna sumish. [Self-sealing fibroconcrete mix]. Patent of Ukraine 121910. [in Ukrainian]
24. Kovalenko, O.V. (2018). Samoushchilniivalna fibrobetonna sumish [Self-sealing fibroconcrete mix]. Patent of Ukraine 124130. [in Ukrainian]
25. Umemura, I., Satu, M., Koizumi, K., & Cuyuki, N. (2013). Vliyanie mikrokremszema i superplastifikatora na gidratiatsiyu cemente pri nizkom vodocementnom otnoshenii. [The effect of silica fume and superplasticizer on cement hydration at low water-cement ratio]. *Cement i ego primenenie*, 4, 134–138. [in Russian]

26. Kovalenko, A.V. (2016). Vliyanie organo-mineralnogo modifikatora na svoystva cementno-peschanogo rastvora. [The effect of organic-mineral modifier on the properties of cement-sand mortar]. Mezhdunarodnaja nauchnaja konferencia Problemy i inovaci v oblasti mehanizacii i tehnologij v stroitelnyh i dorozhnyh otraslyah. Ivanovo: Nauchnyj mir, 3, 112–116. [in Russian]

27. Kovalenko, A.V. (2015). Vliyanye modifyfyturyiushchykh dobavok na svoystva remontno-zashchytnykh sukhykh stroytelnykh smesei. [Influence of modifying additives on the properties of repair and protective dry building mixtures]. Sb. nauchnykh trudov Sworld. Yvanovo : Nauchnyj mir, 1(38), 6, 95–101. [in Russian]

А.В. Коваленко

Влияние рецептуры на свойства полимерцементных гидроизоляционных смесей

Аннотация. Исследовано влияние площади питания растений и норм минеральных удобрений. Аннотация. Методом экспериментально-статистического моделирования исследованы технологические свойства полимерцементных смесей и физико-механические свойства полимерцементных гидроизоляционных покрытий в зависимости от их количественного и качественного состава: соотношения цемент:песок (Ц:П), водоцементного отношения (В/Ц) и содержания модифицирующих добавок. В результате реализации плана ВЗ и обработки экспериментальных данных получены экспериментально-статистические модели, которые выражают влияние рецептуры на свойства полимерцементных гидроизоляционных смесей и покрытий: подвижность, прочность на сжатие, прочность на изгиб, адгезионную и ударную прочность, водопоглощение. Установлено, что при постоянных значениях Ц:П и В/Ц модифицирующие добавки: редуцирующий полимерный порошок, порошковый поликарбоксилатный суперпластификатор и микрокремнезем являются важным фактором формирования структуры и свойств гидроизоляционных покрытий. Анализ моделей показал, что на подвижность полимерцементных гидроизоляционных смесей положительно влияют редуцирующий полимерный порошок и суперпластификатор, микрокремнезем действует на этот показатель негативно. Влияние модификаторов на физико-механические свойства гидроизоляционных покрытий: редуцирующий полимерный порошок и суперпластификатор негативно влияют на прочность на сжатие, микрокремнезем этот показатель повышает; редуцирующий полимерный порошок и микрокремнезем повышают прочность на изгиб, суперпластификатор действует на этот показатель негативно; все исследуемые модификаторы повышают адгезионную и ударную прочность и снижают водопоглощение. По экспериментально-статистическим моделям построены диаграммы, которые являются графическим изображением влияния рецептуры на свойства полимерцементных гидроизоляционных смесей и дают возможность определить области их рецептур с заданными свойствами.

Ключевые слова: полимерцементные смеси, гидроизоляционные покрытия, гидроизоляция, физико-механические свойства, технологические свойства

O.V. Kovalenko

Effect of the recipe on the properties of polymer-cement waterproofing mixtures

Abstract. The technological properties of polymer-cement mixtures and the physical and mechanical properties of polymer-cement waterproofing coatings, depending on their quantitative and qualitative composition: the ratio of cement:sand (C : S), water-cement ratio (W/C) and the content of modifying additives, have been investigated using the method of experimental-statistical modeling. As a result of the implementation of B3 plan and the processing of experimental data, experimental statistical models were obtained that express the effect of the recipe on the properties of polymer-cement waterproofing mixtures and coatings: mobility, compressive strength, bending strength, adhesion and impact strength and water absorption. It was found that having the constant values of C : S and W/C modifying additives, namely redispersing polymer powder, powder polycarboxylate superplasticizer and microsilica are an important factor in the formation of the structure and properties of waterproofing coatings. The analysis of the models showed that the redispersing polymer powder and superplasticizer have a positive effect on the mobility of polymer-cement waterproofing mixtures, while silica fume has a negative effect on this indicator. The effect of modifiers on the physical and mechanical properties of waterproofing coatings is following: redispersing polymer powder and superplasticizer have a negative effect on the compressive strength, while microsilica increases this indicator; redispersing polymer powder and microsilica increase the flexural strength, while the superplasticizer has a negative effect on this indicator; all investigated modifiers increase adhesion and impact strength and decrease water absorption. Based on experimental-statistical models, diagrams were constructed, which are a graphical representation of the effect of the recipe on the properties of polymer-cement waterproofing mixtures, which enables to determine the areas of the recipe use with specified properties.

Key words: polymer-cement mixtures, waterproofing coatings, waterproofing, physical and mechanical properties, experimental and statistical models

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202101-265>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/265>

УДК 628.1

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОСТАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВОДНИХ СУСПЕНЗІЙ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ ВОДОПІДГОТОВКИ ТА ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНОГО ФІЛЬТРУВАЛЬНОГО ЗАВАНТАЖЕННЯ

Д.В. Чарний¹, докт. техн. наук, Є.М. Мацелюк², канд. техн. наук, Ю.А. Онанко³, аспірант

¹ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0001-6150-6433>; e-mail: dmitriych10@gmail.com;

² Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0001-9960-6333>; e-mail: evgen1523@ukr.net;

³ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-7231-1188>; e-mail: yaonanko1@gmail.com

Анотація. З метою вибору оптимального фільтрувального завантаження проведено всебічне дослідження електростатичних параметрів всіх компонентів процесу водопідготовки. Виконано експериментальні дослідження фізичних величин, що є ключовими для даного процесу. Показано зв'язок параметрів каламутності досліджуваних вод та ζ -потенціалу колоїдів, що містяться в них. Досліджено сезонні зміни гідрохімічного складу очищуваних вод. Приведено зв'язок електрохімічних параметрів глинистих часток та процесів їх седиментації у водній суспензії. Представлено залежності каламутності від часу та співвідношення середніх значень каламутності до мінімальних та максимальних на водозаборі водогону «Дністер-Чернівці» за період 2005–2015 рр. Досліджено динаміку зміни параметрів каламутності та ζ -потенціалу по спорудах технологічного ланцюга водопідготовки у періоди літньо-осінніх наводків та зимової межени. Проведено аналіз впливу коагулянту, що застосовується на досліджуваному об'єкті водопідготовки, на електростатичні параметри очищуваних колоїдних частинок. Зокрема, на зміни структури подвійного електричного шару глинистих частинок, що призводять до їх коагуляції та зменшення каламутності очищуваних вод. Визначено оптимальні умови застосування пінополістирольного та цеолітового фільтрувальних завантажень. Іонообмінні властивості дозволяли цеоліту дуже ефективно вилучати з очищуваної водної суспензії дрібнодисперсні колоїдні частинки з позитивно зарядженими ядрами, що не були повністю вкриті шаром потенціалутворюючих іонів. Проте, вони діяли лише на короткостроковому початковому етапі фільтрування, тому не можуть бути рекомендовані для довготривалих процесів водопідготовки на очисних спорудах. Це явище пов'язане з обмеженими іонообмінними адсорбційними властивостями цеоліту. А ефективне фільтрування через цеоліт колоїдних частинок у цілорічному режимі роботи на досліджуваному об'єкті водопідготовки, головним чином, пов'язане з розвиненою зовнішньою поверхнею його зерен, що забезпечує механічне перехоплення та затримку колоїдних частинок.

Ключові слова: водопідготовка, дзета-потенціал, каламутність, коагуляція глини, фільтрувальне завантаження, пінополістирол, цеоліт

Актуальність. Нині існує потреба у всебічному дослідженні як фізико-хімічних параметрів речовин, що є головним джерелом погіршення показників якості очищуваних вод, так і фізичних властивостей актуальних фільтрувальних завантажень для визначення параметрів їх взаємодії.

Такий параметр очищуваних вод як каламутність тісно пов'язаний з електростатичними властивостями колоїдів, що містяться у них. Для більш детального експериментального дослідження цього зв'язку було обрано реальний об'єкт водопідготовки. Попереднє дослідження стану діючих водопровідних очисних споруд КП «Чернівціводоканал» м. Чернівці, Україна дозволило об'єктивно визначити характерні проблеми, що потре-

бують термінового вирішення. З'ясувалося, що головним показником, який має критичне значення для очищення даних вод, є каламутність. А однією з головних потреб є необхідність заміни фільтрувального завантаження.

На сьогодні матеріал, що раніше використовувався в якості традиційного фільтрувального завантаження, став недоступним через низку економічних та політичних факторів. Тому виникла необхідність знайти заміну. Таке фільтрувальне завантаження повинно забезпечити покращення роботи фільтрів, мати відповідну економічну ефективність, а також бути широкодоступним для використання. Таким вимогам відповідають два вітчизняні матеріали: гранули спіненого пінополістиролу «харчових» марок та природний

цеоліт – кліноптилоліт Сокирицького родовища.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Фізико-географічні умови басейну річки Дністер досить неоднорідні, що визначає різноманітність хімічного складу поверхневих вод і особливості гідрохімічного режиму річок басейну, який, насамперед, визначається водним стоком, зокрема його внутрішньорічним розподілом [2].

Як відомо, хімічний склад поверхневих вод непостійний у часі і змінюється відповідно до переважання у стоці протягом року вод різних генетичних категорій, таких як: поверхнево-схилових, ґрунтово-поверхневих та підземних. Гідрохімічний режим річок басейну Дністра формується в різних фізико-географічних умовах, що насамперед відображається в особливостях зміни вмісту головних іонів. Зокрема іонний склад річкових вод гірської території басейну Дністра формується в умовах гірського рельєфу та високої вологості і характеризується малими величинами мінералізації та вираженим гідрокарбонатно-кальцієвим складом.

Головними іонами сольового складу річкових вод є HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ та K^+ , походження яких у водах пов'язано, в основному, з розчиненням солей, які утворюють гірські породи і ґрунти, та з процесами іонного обміну.

Результати експериментальних досліджень показують, що дрібнодисперсні глинисті частинки дуже погано осідають або взагалі не осідають у водних розчинах [3]. Також вони дуже погано закріплюються на поверхні зерен фільтруючого завантаження при фільтруванні глинистої водної суспензії через фільтри із зернистим завантаженням [4]. До головних факторів, які перешкоджають процесам седиментації глинистих часток у водній суспензії, належать [5]:

- значна товщина подвійних електричних шарів дрібнодисперсних глинистих частинок;
- високі абсолютні значення ζ -потенціалів глинистих частинок, які не дають частинкам глини коагулювати внаслідок дії кулонівських сил електростатичного відштовхування однаково заряджених країв цих частинок;
- хімічний зв'язок дрібнодисперсних глинистих частинок з такими солями як NaCl, розчиненими у водній суспензії. Розчинений у воді NaCl сам не осідає і заважає це робити дрібнодисперсним частинкам глини.

Мета дослідження полягає у виборі оптимального фільтрувального завантаження, що забезпечить зміну показників якості поверх-

невих вод верхньої течії р. Дністер до таких, що будуть відповідати питним нормативам, встановленим ДСанПіН 2.2.4–171–10 [1] у цілорічному режимі шляхом визначення ключових параметрів ефективності очищення вод, а саме – ζ -потенціалу як дрібнодисперсних глинистих часточок, так і фільтрувальних завантажень та каламутності вод на всіх етапах процесу водопідготовки.

Проте, неоднорідність гідрохімічного стоку, а отже і електростатичних властивостей забруднюючих агентів у різні пори року значно ускладнює виконання поставленої задачі, через що виникла потреба в більш детальному дослідженні всіх аспектів цього питання.

Матеріали і методи дослідження. Досліджувався процес очищення поверхневих вод верхньої течії р. Дністер. Досліди проводили на базі водопровідних очисних споруд КП «Чернівціводоканал» м. Чернівці, Україна. Для дослідження динаміки зміни фізико-хімічних та електростатичних параметрів природних поверхневих вод на різних спорудах ланцюга водопідготовки було проведено відбір проб води та подальший їх аналіз. Також з метою визначення оптимального фільтрувального завантаження для різних періодів року порівнювали процеси контактної коагуляції та затримки колоїдних часток на гранулах спіненого полістиролу та зернах цеолітового дрібняку.

Для визначення каламутності застосовувався прилад turbidimeter TN100 виробництва компанії («Eutech Instruments», США). Дана величина визначалась за стандартною методикою ДСТУ ISO 7027:2003. Для визначення таких електростатичних властивостей колоїдів як ζ -потенціал та гідродинамічний радіус використовувалась сучасний прилад Zetasizer Nano ZS («Malvern Instruments», Великобританія). Дослідження проводили за методикою, що була розроблена виробником даного приладу. Вся процедура вимірювання була автоматизована для спрощення аналізу. Виміри проводили в U-подібній кюветі із золотими електродами при $\text{pH} = 7,4$ і температурі 25°C . Результати оброблялись за допомогою програмного забезпечення «Dispersion Technology Software».

Результати дослідження та їх обговорення. Для дослідження динаміки зміни величини параметра каламутності вихідної води від сезонних періодів зміни фізико-хімічних властивостей очищуваних вод було побудовано графік залежності каламутності від часу на водозаборі водогону «Дністер-Чернівці» за період в 11 років (2005–2015 роки включно), який представлено на рис. 1.

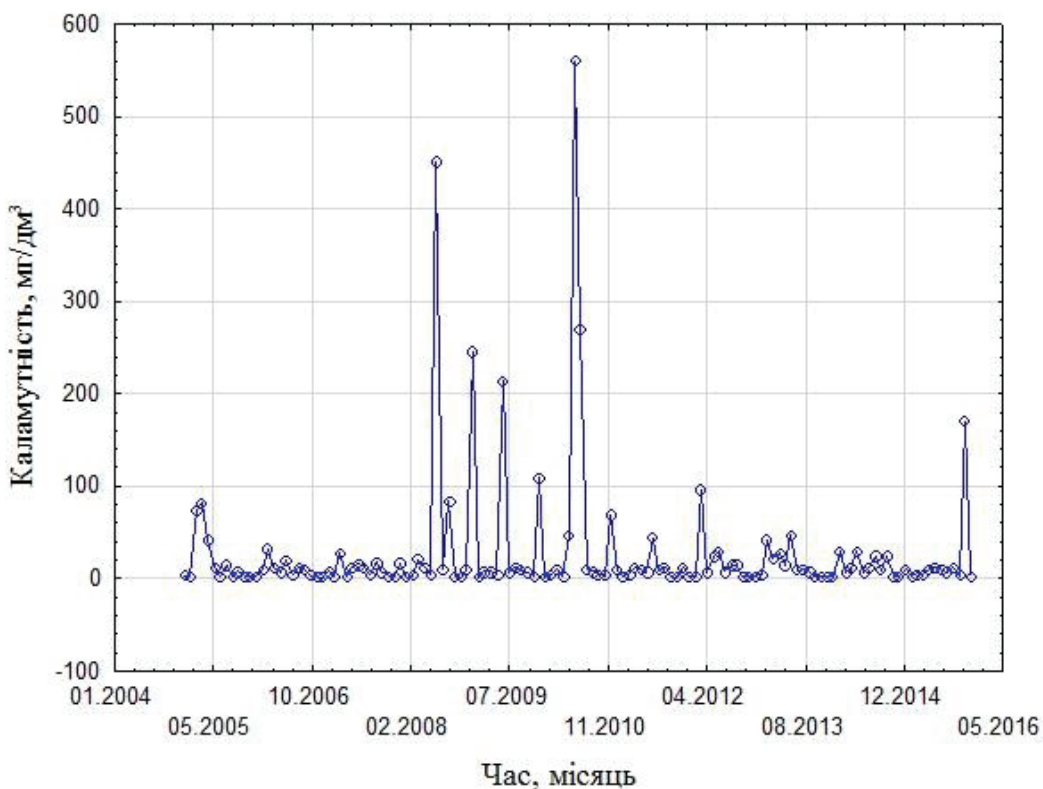


Рис. 1. Залежності каламутності від часу на водозабір водогону «Дністер-Чернівці» за період в 11 років (2005–2015 роки включно)

Для визначення величини вкладу значень екстремумів, що обумовлені короткостроковими паводковими періодами, було побудовано діаграму співвідношення середніх значень каламутності до мінімальних та максимальних на водозабір водогону «Дністер-Чернівці» за період в 11 років (2005–2015 роки включно), яку представлено на рис. 2.

Неоднорідність зміни значень каламутності, що простежується на графіку, представ-

леному на рис. 1 у явному вигляді, та підтверджена діаграмою, зображеною на рис. 2, пояснюється нерівномірним характером опадів у різні роки на території досліджуваної місцевості та неоднорідністю мінерального складу гірських схилів, з яких відбувається поверхневий стік та наповнення русла річки. На рис. 3 показано графіки залежності каламутності та ζ -потенціалу колоїдних частинок, що містяться в очищуваних водах по спорудах

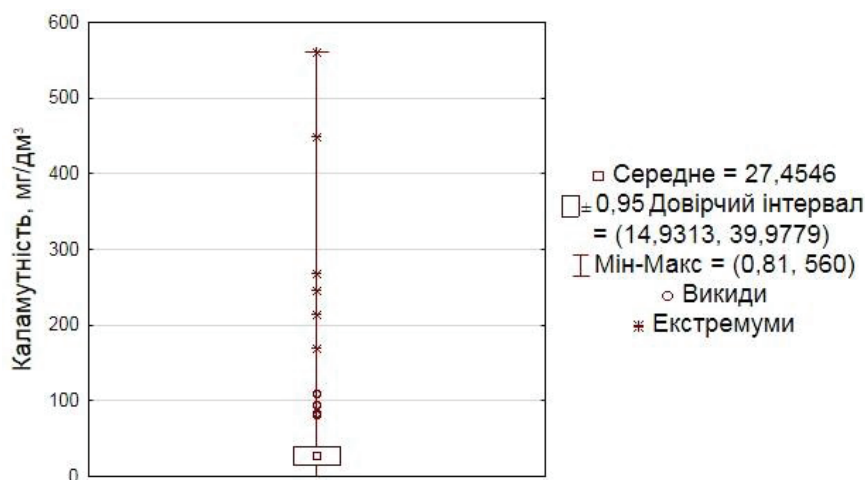


Рис. 2. Співвідношення середніх значень каламутності до мінімальних та максимальних на водозабір водогону «Дністер-Чернівці» за період в 11 років (2005–2015 роки включно)

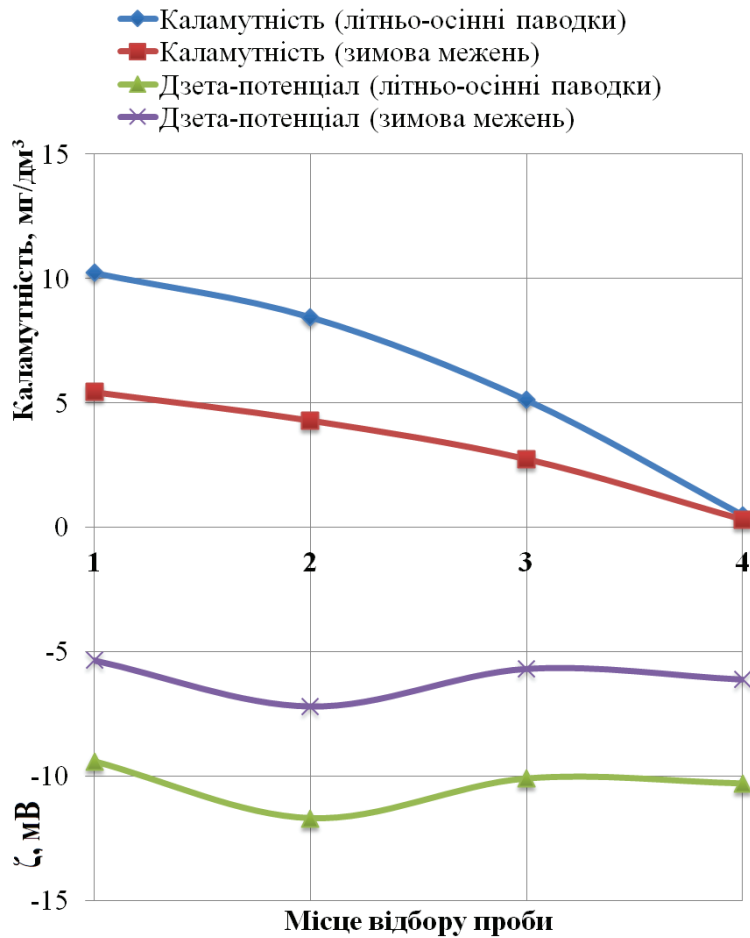


Рис. 3. Залежність каламутності та ζ -потенціалу колоїдних частинок, що містяться в очищуваних водах по спорудах технологічного ланцюга водопідготовки водогону «Дністер-Чернівці»:

1 – водозабір на річці Дністер; 2 – після камери реакції;
3 – збірний канал відстійників; 4 – загальний колектор фільтрів

технологічного ланцюга водопідготовки водогону «Дністер-Чернівці».

У період літньо-осінніх паводків (дата відбору проби – 25.10.2018 р.) показник каламутності досліджуваних вод змінювався так: після водозабору на річці Дністер вода надходила в камери реакції, де в очищувану водну суспензію додавали коагулянт та флокулянт. Внаслідок цього відбувалося зменшення каламутності води, що з камер реакції потрапляла до горизонтального відстійника. Причиною зменшення каламутності була коагуляція дрібнодисперсних глинистих часток, що знаходились в очищуваній воді. Вони злипалися в крупні пластівці, що мали більшу масу та потім осідали під дією сил гравітації. Це призводило до незначного збільшення значення ζ -потенціалу з $-9,41$ до $-11,7$ мВ через те, що першими починали коагулювати колоїдні частинки з меншим за

товщиною подвійним електричним шаром, що, відповідно, має меншу відштовхувальну силу. Тому в суспензії залишалися частинки з більшою товщиною подвійного електричного шару та більшим значенням ζ -потенціалу.

Після переходу очищеної водної суспензії до наступної споруди водопідготовки, якою був відстійник у формі каналу, що об'єднував низку коридорів, відбувалося подальше зменшення показника каламутності. Це пояснюється подальшим проходженням процесу коагуляції глинистих часток та їх осідання на дно відстійника. Значення ζ -потенціалу починали зменшуватись до $-10,1$ мВ через триваючий процес коагуляції. Коагулянт Полвак-40, що є гідроксихлоридом алюмінію, має таку саму основну сполуку Al_2O_3 , як і ядра глинистих колоїдних частинок, що є основним джерелом забруднення даних вод. Тому при його додаванні в очищувану водну

суспензію починався процес виходу потенціалутворюючих іонів та протиіонів із подвійного електричного шару глинистих часток. Це зменшувало товщину їх подвійного електричного шару, що викликало зменшення сил відштовхування між глинистими частинками. У момент, коли сили притягання почали переважати над силами відштовхування, відбувалась коагуляція глинистих часток та їх подальше осідання на дно відстійника. Далі очищувана водна суспензія потрапляла до збірного каналу відстійника, звідки забиралась до наступної споруди водопідготовки.

Первинно освітлена і відстояна водна суспензія потрапляла у швидкі фільтри. Коли вона дійшла до загального колектора фільтрів, то значення її каламутності зменшилось до нормативних показників питної води, встановлених нормами ДСанПіН 2.2.4-171-10. Проте значення ζ -потенціалу трохи зросло до $-10,3$ мВ. Це можна пояснити тим, що очищувані води мають дуже різноманітний іонний склад. Більшу їх частину вдається затримати існуючим комплексом водоочисних споруд і заходів та довести показники якості води до питних нормативів. Проте, для видалення всіх інших видів іонів потрібно застосовувати коагулянти та флокулянти іншого складу, що передбачає збільшення фінансових витрат на процес водопідготовки та, відповідно, ціну води для споживачів. Тому дані заходи не є економічно доцільними. Вирішити питання додаткової очистки води лише збільшенням дози коагулянту Полвак-40 не є можливим через норматив для питної води, що обмежує кількість залишкового алюмінію.

Для таких складних колоїдних систем, як природні поверхневі води, характерний негативний заряд ζ -потенціалу колоїдів, що обумовлюють каламутність вихідної води. Проведені нами експериментальні дослідження колоїдів мінерального походження, на прикладі глинистих частинок із поверхневих вод верхньої течії р. Дністер, підтвердили це твердження. Результати показали, що величина ζ -потенціалу колоїдів у даній воді складає $-9,41$ мВ. Пінополістирол є хімічно інертним завантаженням [6] з позитивним ζ -потенціалом, що складає $+2$ мВ [7; 8]. Природний цеоліт-кліноптилоліт має негативний заряд ζ -потенціалу, що дорівнює -33 мВ [9-12].

При більших величинах ζ -потенціалів колоїдних часток, що спостерігаються в очищуваній водній суспензії під час літньо-осінніх паводків, ефективнішим завантаженням для їх затримки є гранули спіненого полістиролу. Це пояснюється різницею знаків ζ -потенціалів

колоїдних часток та пінополістирольного фільтрувального завантаження. Більша різниця між величинами їх ζ -потенціалів свідчить про більшу силу електростатичної адсорбції між ними та пінополістирольним фільтрувальним завантаженням, а також про визначальну роль саме даної сили серед інших сил притягання, зокрема і механічного перехоплення.

Іонообмінні властивості дозволяли цеоліту дуже ефективно вилучати з очищуваної водної суспензії дрібнодисперсні колоїдні частинки з позитивно зарядженими ядрами, що не були повністю вкриті шаром потенціалутворюючих іонів [10]. Проте, вони діяли лише на короткостроковому початковому етапі фільтрування, отже не можуть бути рекомендовані для довготривалих процесів водопідготовки на очисних спорудах. Це явище пов'язане з обмеженими іонообмінними адсорбційними властивостями цеоліту. Проблема можна вирішити шляхом проведення регенерації цеолітового фільтрувального завантаження. Проте, необхідна частота цієї процедури надто збільшить фінансові витрати на процес водопідготовки, тому її застосування є недоцільним. А ефективне фільтрування через цеоліт колоїдних частинок у цілорічному режимі роботи на досліджуваному об'єкті водопідготовки, головним чином, пов'язане з розвиненою зовнішньою поверхнею його зерен, що забезпечує механічне перехоплення та затримку колоїдних частинок.

У період зимової межени (дата відбору проби – 19.02.2019 р.) показники каламутності та ζ -потенціалу мають менші значення через менш інтенсивні атмосферні опади та більшу неоднорідність видового складу іонів, що вимивались із гірських порід. Загальна динаміка зміни показників каламутності та ζ -потенціалу по спорудах водопідготовки є подібною до динаміки періоду літньо-осінніх паводків. Проте, через менші значення ζ -потенціалу колоїдів, що знаходяться в очищуваній водній суспензії, витрата реагентів, необхідних для досягнення нормативних показників якості очищуваної води відповідно до ДСанПіН 2.2.4-171-10, є значно нижчою, а інколи у застосуванні реагентів взагалі відпадає потреба. Це пояснюється тим, що через меншу кількість опадів їх видовий склад в очищуваній водній суспензії є більш неоднорідним та недостатньо збалансованим для формування подвійного електричного шару такої товщини, яка забезпечить переважання сил відштовхування над силами притягання між колоїдними частинками та зернами фільтрувального завантаження.

Що стосується вибору оптимального фільтрувального завантаження для періоду зимової межени – краще себе проявляють зерна цеолітового піску, тому що вони мають більш розвинену зовнішню поверхню ніж гранули пінополістиролу та краще затримують колоїдні частинки за рахунок механічного перехвату. Менші величини ζ -потенціалів колоїдних часток свідчать про меншу силу електростатичної адсорбції між ними та пінополістирольним фільтрувальним завантаженням, що значно зменшує роль даної сили серед інших сил притягання.

Зважаючи на те, що за своїми фізичними властивостями взаємодії з очищуваними колоїдними частинками жодне з досліджених фільтрувальних завантажень не можна вважати універсальним, то для вирішення задач водопідготовки в цілорічному режимі пропонується застосовувати комбіноване пінополістирольно-цеолітове фільтрувальне завантаження.

Висновки. Встановлено зв'язок параметрів каламутності та ζ -потенціалу колоїдів очищеної водної суспензії для умов формування якості води на ділянці верхньої течії р. Дністер.

Виміряні значення ζ -потенціалу колоїдів дозволили визначити, що пінополістирольне фільтрувальне завантаження доцільніше застосовувати під час періоду повеней, а цеолітове завантаження оптимальніше застосовувати під час періоду межени.

Іонообмінні властивості цеоліту можуть забезпечувати високий рівень очистки води в період повеней, але лише на початковій стадії фільтрування, а ефективне механічне перехоплення та затримка колоїдних частинок у цілорічному режимі забезпечується розвинутою поверхнею його зерен.

Запропоновано застосовувати комбіноване пінополістирольно-цеолітове фільтрувальне завантаження для вирішення задач водопідготовки в цілорічному режимі.

Бібліографія

1. ДСанПіН 2.2.4-171-10. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною. Київ : Міністерство охорони здоров'я України, 2010. 36 с.
2. Хільчевський В.К., Гончар О.М., Забокрицька М.Р. Гідрохімічний режим та якість поверхневих вод басейну Дністра на території України. Київ : Ніка-Центр, 2013. 256 с.
3. Ma K., Pierre A.C. Sedimentation behavior of a fine kaolinite in the presence of fresh Fe electrolyte. *Clays and Clay Minerals*. 1992. Vol. 40. № 5. P. 586–592.
4. Kaya A., Ören A.H., Yükselen Y. Settling of kaolinite in different aqueous environment. *Marine Georesources & Geotechnology*. 2006. Vol. 24. № 3. P. 203–218.
5. Pierre A. C., Ma K. Sedimentation behaviour of kaolinite and montmorillonite mixed with iron additives, as a function of their zeta potential. *Journal of Materials Science*. 1997. № 32. P. 2937–2947.
6. Журба М.Г. Водоочистные фильтры с плавающей загрузкой. Москва, 2011. 536 с.
7. Greven A.-C., Merk T., Karagöz F. Polycarbonate and polystyrene nanoplastic particles act as stressors to the innate immune system of fathead minnow (*Pimephales promelas*): Nanoplastics' effect on the immune system of fish. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 2016. Vol. 35, № 12. P. 3093–3100.
8. Onanko A.P., Kuryliuk V.V., Onanko Y.A., Kuryliuk A.M. Peculiarity of elastic and inelastic properties of radiation cross-linked hydrogels. *Journal of Nano- and Electronic Physics*. 2020. Vol. 12. № 4. P. 04026-1-04026-5.
9. Голохваст К.С., Паничев А.М., Мишаков И.В. Экоотоксикология нано- и микрочастиц минералов // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. Самара, 2011. Т. 13, № 1(5). С. 1256–1259.
10. Wang X., Nguyen A.V. Characterisation of electrokinetic properties of clinoptilolite before and after activation by sulphuric acid for treating CSG water. *Microporous and Mesoporous Materials*. 2016. Vol. 220. № 5. P. 175–182.
11. Ozkan A., Sener A.G., Ucbeyiyay H. Investigation of coagulation and electrokinetic behaviors of clinoptilolite suspension with multivalent cations. *Separation Science and Technology*. 2017. Vol. 53. № 5. P. 823–832.
12. Kuzniatsova T., Kim Y., Shqau K., Dutta P.K., Verweij H. Zeta potential measurements of zeolite Y: Application in homogeneous deposition of particle coatings. *Microporous and Mesoporous Materials*. 2007. Vol. 103. № 1–3. P. 102–107.

References

1. Hihiyenichni vymohy do vody pytnoyi, pryznachenoyi dlya spozhyvannya lyudynoyu [Text engl]. (2010). DSanPiN 2.2.4-171-10. Kyiv : Ministerstvo okhorony zdorov'ya Ukrainy.

2. Khilchevskiy V.K., Gonchar O.M., Zabokrycka M.R. (2013). Hidrokhimichnyy rezhym ta yakist' poverkhnevyykh vod baseynu Dnistra na terytoriyi Ukrayiny [The hydrochemical regime and water quality of the Dniester surface water basin in Ukraine]. Kyiv : Nika-Centre. [in Ukrainian]
3. Ma, K., & Pierre, A.C. (1992). Sedimentation behavior of a fine kaolinite in the presence of fresh Fe electrolyte. *Clays and Clay Minerals*, 40(5), 586–592. <https://doi.org/10.1346/CCMN.1992.0400513>
4. Kaya, A., Ören, A.H., & Yükselen, Y. (2006). Settling of kaolinite in different aqueous environment. *Marine Georesources & Geotechnology*, 24(3), 203–218. <https://doi.org/10.1080/10641190600788429>
5. Pierre, A.C., & Ma, K. (1997). Sedimentation behaviour of kaolinite and montmorillonite mixed with iron additives, as a function of their zeta potential. *Journal of Materials Science*, 32, 2937–2947. <https://doi.org/10.1023/A:1018688904094>
6. Zhurba, M.H. (2011). Vodoochistnyye fil'try s plavayushchey zagruzkoy [Water purification filters with floating load]. Moscow. [in Russian]
7. Greven, A.-C., Merk, T., Karagöz, F. (2016). Polycarbonate and polystyrene nanoplastic particles act as stressors to the innate immune system of fathead minnow (*Pimephales promelas*): Nanoplastics' effect on the immune system of fish. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 35(12), 3093–3100. <https://doi.org/10.1002/etc.3501>
8. Onanko, A.P., Kuryliuk, V.V., Onanko, Y.A., Kuryliuk, A.M. (2020). Peculiarity of elastic and inelastic properties of radiation cross-linked hydrogels. *Journal of Nano- and Electronic Physics*, 12(4), 04026-1-04026-5. [https://doi.org/10.21272/jnep.12\(4\).04026](https://doi.org/10.21272/jnep.12(4).04026)
9. Golokhvast, K.S., Panichev, A.M., Mishakov, I.V., (2011). Ekotoksikologiya nano- i mikrochastits mineralov [Ecotoxicology of nano- and microparticles]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk – Bulletin of the Samara scientific center of the Russian academy of sciences*, 1(5), 1256–1259. Samara. [in Russian]
10. Wang, X., & Nguyen, A.V. (2016). Characterisation of electrokinetic properties of clinoptilolite before and after activation by sulphuric acid for treating CSG water. *Microporous and Mesoporous Materials*, 220, 175–182. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2015.09.003>
11. Ozkan, A., Sener, A.G., & Ucbeyiay, H. (2017). Investigation of coagulation and electrokinetic behaviors of clinoptilolite suspension with multivalent cations. *Separation Science and Technology*, 53(5), 823–832. <https://doi.org/10.1080/01496395.2017.1380669>
12. Kuzniatsova, T., Kim, Y., Shqau, K., Dutta, P.K., & Verweij, H. (2007). Zeta potential measurements of zeolite Y: Application in homogeneous deposition of particle coatings. *Microporous and Mesoporous Materials*, 103(1–3), 102–107. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2007.01.042>

Д.В. Чарный, Е.М. Мацелюк, Ю.А. Онанко

Исследование электростатических параметров водных суспензий

для решения задач водоподготовки и выбора оптимальной фильтрующей загрузки

Аннотация. С целью выбора оптимальной фильтрующей загрузки проведено всестороннее исследование электростатических параметров всех компонентов процесса водоподготовки. Выполнены экспериментальные исследования физических величин, которые являются ключевыми для данного процесса. Показана связь параметров мутности исследуемых вод и ζ -потенциала коллоидов, содержащихся в них. Исследованы сезонные изменения гидрохимического состава очищаемых вод. Приведена связь электрохимических параметров глинистых частиц и процессов их седиментации в водной суспензии. Представлены зависимости мутности от времени и соотношение средних значений мутности к минимальным и максимальным на водозаборе водопровода «Днепр-Черновцы» за период 2005–2015 гг. Исследована динамика изменения параметров мутности и ζ -потенциала по сооружениям технологической цепи водоподготовки в периоды летне-осенних паводков и зимней межени. Проведен анализ влияния коагулянта, который применяется на исследуемом объекте водоподготовки, на электростатические параметры очищаемых коллоидных частиц. В частности, на изменения структуры двойного электрического слоя глинистых частиц, приводящие к коагуляции и уменьшению мутности очищаемых вод. Определены оптимальные условия применения пенополистирольной и цеолитовой фильтрующей загрузки. Ионообменные свойства позволяли цеолиту очень эффективно извлекать из очищаемой водной суспензии мелкодисперсные коллоидные частицы с положительно заряженными ядрами, которые не были полностью покрыты слоем потенциалобразующих ионов, однако они действовали только на краткосрочном начальном этапе фильтрации, поэтому не могут быть рекомендованы для длительных процессов водоподготовки на очистных сооружениях. Данное явление связано с ограниченными ионообменными адсорбционными свойствами цеолита. А эффективное фильтрование через цеолит коллоидных

частиц в круглогодичном режиме работы на исследуемом объекте водоподготовки, главным образом, связано с развитой внешней поверхностью его зерен, которая обеспечивает механический перехват и задержку коллоидных частиц.

Ключевые слова: водоподготовка, дзета-потенціал, мутність, коагуляція глин, фільтруючі загрузки, пенополістирол, цеолит

D.V. Charnyi, E.M. Matseliuk, Y.A. Onanko

Study of electrostatic parameters of aqueous suspensions

for solving the tasks of water treatment and selection of optimal filter media

Abstract. To select an optimal filter media, a comprehensive study of the electrostatic parameters of all components in the water treatment process was carried out. Experimental studies of physical values that are key to this process were performed. The relationship between the turbidity parameters of the studied water and the ζ -potential of the colloids contained in it was shown. Seasonal changes in the hydrochemical composition of treated water were studied. The connection between electrochemical parameters of clay particles and the processes of their sedimentation in aqueous suspension is given. The dependences of turbidity on time and the ratio of average turbidity values to the minimum and maximum ones at the water intake of the Dniester-Chernivtsi water supply system during 2005–2015 were reviewed and presented. The dynamics of changes in the parameters of turbidity and ζ -potential in the structures of the technological chain of water treatment during the periods of summer-autumn floods and low-water winter period was studied. The effect of the coagulant used at the studied water treatment facility on the electrostatic parameters of the purified colloidal particles, in particular, on changing the structure of the electric double layer of clay particles, which lead to the coagulation and reduction in the treated water turbidity, was analyzed. The optimal conditions of using polystyrene foam and zeolite filter media were determined. Ion exchange properties enabled the zeolite to efficiently remove fine colloidal particles with positively charged cores out of the purified aqueous suspension, which were not completely covered with a layer of potential-forming ions. However, they produced impact only in the short-term initial stage of filtering. Therefore, they cannot be recommended for using for long-term water treatment processes at water treatment facilities. This phenomenon is due to the limited ion exchange adsorption properties of zeolite. The effective filtration of colloidal particles through zeolite in the year-round mode of operation at the studied water treatment facility is mainly associated with the developed outer surface of its grains, which provides mechanical interception and retention of colloidal particles.

Key words: water treatment, zeta potential, turbidity, clay coagulation, filter media, polystyrene foam, zeolite

ЗМІСТ

ВОДНІ РЕСУРСИ

Ромащенко М.І., Коваленко О.В., Мацелюк Є.М., Чарний Д.В., Прокопов В.О. Дослідження ортополіфосфатного препарату “Sea Quest Liquid” для антикорозійної та стабілізаційної обробки води.....	5
Ромащенко М.І. Савчук Д.П., Шевченко А.М., Бабіцька О.А., Харламов О.І., Котикович І.В., Землянська Д.П. Захист від шкідливої дії вод території лівобережної тераси Нижнього Дніпра.....	15
Ковальчук П.І., Стеценко В.В., Балихіна Г.А., Ковальчук В.П., Демчук О.С. Балансовий метод інтегрованого управління водовідведенням за об’ємами та мінералізацією шахтних вод у басейні р. Інгулець.....	23
Вишневський В.І., Дем’янов В.В. Уточнення параметрів Кам’янського водосховища.....	33

ЗРОШЕННЯ – ДРЕНАЖ

Воропай Г.В. Сучасні аспекти наукового забезпечення відновлення дренажних систем гумідної зони України.....	39
Голобородько С.П., Димов О.М. Водоспоживання та режим зрошення насінневої люцерни в умовах регіональної зміни клімату в Південному Степу України.....	52
Рябков С.В. Вплив удобрення за краплинного зрошення на врожайність та якість плодів багаторічних насаджень.....	67
Рокочинський А.М., Волк П.П. Моделі системної оптимізації для створення й функціонування дренажних систем у сучасних умовах.....	75
Матяш Т.В., Ковальчук В.В., Книш В.В., Диль К.О., Поліщук В.В., Салюк А.Ф., Бутенко Я.О., Чорна К.І. Методи та джерела отримання даних для баз знань технічних, технологічних, організаційних заходів при плануванні водоземлекористування на меліорованих територіях.....	87
Волк Л.Р., Безусяк О.В., Волк П.П. Удосконалення розрахунку закритої колекторно-дренажної мережі дренажних систем.....	98
Морозов В.В., Морозов О.В., Козленко Є.В. Гідродинамічна модель формування стоку горизонтального дренажу в умовах безстічних і слабодренованих зрошуваних земельсухостепової зони України.....	107
Журавльов О.В., Шатковський А.П., Васюта В.В. Вплив водного стресу на евапотранспірацію сої.....	118

АГРОРЕСУРСИ

Вожегова Р.А., Малярчук А.С., Резніченко Н.Д., Котельников Д.І. Вплив різних систем основного обробітку ґрунту та удобрення на врожайність зерна кукурудзи в зрошуваних умовах Півдня України.....	128
Тараріко Ю.О., Лукашук В.П. Перспективи міжнародних комплексних досліджень кругообігу вуглецю в системі «ґрунт-рослина-атмосфера».....	136

Мельничук Ф.С., Алексєєва С.А., Гордієнко О.В., Острик І.М, Антонюк А.В. Південноамериканська міль (<i>Tuta absoluta</i>) та заходи захисту томатів в умовах Північного Степу України.....	145
Приведенюк Н.В., Шатковський А.П. Продуктивність звиробу звичайного (<i>Hypericum perforatum L.</i>) за розсадного способу розмноження в умовах краплинного зрошення.....	153

ГІДРОТЕХНІКА

Коваленко О.В. Вплив рецептури на властивості полімерцементних гідроізоляційних сумішей.....	162
Чарний Д.В., Мацелюк Є.М., Онанко Ю.А. Дослідження електростатичних параметрів водних суспензій для вирішення задач водопідготовки та вибору оптимального фільтрувального завантаження.....	171

CONTENTS

WATER RESOURCES

Romashchenko M.I., Kovalenko O.V., Matselyuk E.M., Charny D.V., Prokopov V.A. Study of the orthopolyphosphate specimen «SeaQuest Liquid» for anticorrosion and stabilization water treatment.....	5
Romashchenko M.I., Savchuk D.P., Shevchenko A.M., Babitska O.A., Kharlamov O.I., Kotykovych I.V., Zemlyanska D.P. Protection against the harmful effects of water on the left bank terrace of the Lower Dnipro River.....	15
Kovalchuk P.I., Stetsenko V.V., Balykhina H.A., Kovalchuk V.P., Demchuk O.S. Balance method of integrated control of mine water removal by the volumes and mineralization rate within the Ingulets river basin.....	23
Vyshnevskiy V.I., Demianov V.V. Specifying the parameters of the Kamianske Reservoir.....	33

IRRIGATION-DRAINAGE

Voropay G.V. Modern aspects of scientific support for the restoration of drainage systems in the humid zone of Ukraine.....	39
Holoborodko S.P., Dymov O.M. Water consumption and irrigation regime of seed alfalfa under the conditions of regional climate change in the southern Steppe of Ukraine.....	52
Riabkov S.V. Effect of fertilization on the yield and fruit quality of perennial plantations under drip irrigation.....	67
Rokochinskiy A.M., Volk P.P. Models of system optimization for constructing and functioning drainage systems in current conditions.....	75
Matiash T.V., Kovalchuk V.P., Knysh V.V., Dyl K.O., Polishchuk V.V., Saliuk A.F., Butenko Ya.O., Chorna K.I. Methods and sources of obtaining data for knowledge bases of technical, technological, organizational measures on water and land management planning in reclaimed areas.....	87
Volk L.R., Bezusyak O.V., Volk P.P. Improving the dimensioning of closed collecting and drainage network of drainage systems.....	98
Morozov V.V., Morozov O.V., Kozlenko Y.V. Hydrodynamic model of the formation of horizontal drainage runoff on drainless and slightly drained irrigated lands in the dry steppe zone of Ukraine.....	107
Zhuravlov O.V., Shatkovskiy A.P., Vasiuta V.V. Effects of water stress on evapotranspiration of soybean.....	118

AGRO RESOURCES

Vozhegova R.A., Malyarchuk A.S., Reznichenko N.D., Kotelnikov D.I. Effect of different basic tillage and fertilizer systems on corn grain yield, when irrigating in the south of Ukraine.....	128
Tarariko Yu.O., Lukashuk V.P. Prospects for international integrated research of the carbon cycle in the system “soil-plant-atmosphere”.....	136

- Melnychuk F.S., Alekseeva S.A., Gordienko O.V., Ostryk I.M., Antonyuk A.V.**
South American tomato moth (*Tuta absoluta*) and tomato protection
measures in the conditions of the Northern Steppe of Ukraine.....145
- Pryvedenyuk N.V., Shatkovskyi A.P.**
Productivity of common Saint-John's wort (*Hypericum perforatum L.*)
by using transplant reproduction method in the conditions of drip irrigation.....153

HYDRAULIC ENGINEERING

- Kovalenko O.V.**
Effect of the recipe on the properties of polymer-cement waterproofing mixtures.....162
- Charnyi D.V., Matseliuk E.M., Onanko Y.A.**
Study of electrostatic parameters of aqueous suspensions
for solving the tasks of water treatment and selection of optimal filter media.....171

НОТАТКИ

Наукове видання

Меліорація
і водне господарство

№ 1 • 2021

Журнал
Заснований у 1965 році

(випуск 113)

Виконавчі редактори – Т.І. Трошина, Н.В. Логунова, К.Б. Шатковська, О.П. Войтович

Підписано до друку 05.05.2021 року.
Формат 60x84/8. Гарнітура Times New Roman.
Папір офсет. Цифровий друк.
Ум. друк. арк. 21,39. Обл. вид. арк. 17,06.
Замов. № 0621/83. Наклад 100 прим.

Видавництво та друк: ОЛДІ-ПЛЮС
вул. Паровозна, 46а, м. Херсон, Україна, 73034
Свідоцтво ДК № 6532 від 13.12.2018 р.

Тел.: +38 (0552) 399-580, +38 (098) 559-45-45,
+38 (095) 559-45-45, +38 (093) 559-45-45
Для листування: а/с 20, м. Херсон, Україна, 73021
E-mail: office@oldiplus.ua