

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ

ІНСТИТУТ ВОДНИХ ПРОБЛЕМ І МЕЛІОРАЦІЇ

ISSN 2616-5562 (Online)

ISSN 2616-5643 (Print)

МЕЛІОРАЦІЯ І ВОДНЕ ГОСПОДАРСТВО

№ 1 • 2020

журнал

(випуск 111)

Київ
2020

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202001>

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) і 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 з пріоритетних напрямів: агресурси, 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)*



Crossref



*BASE – Bielefeld
Academic Search Engine
(Німеччина)*



РИНЦ (Російська Федерація)

РОССИЙСКИЙ ИНДЕКС
НАУЧНОГО ЦИТИРОВАНИЯ

Science Index



Національна бібліотека України ім. В.І. Вернадського



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



*Scientific Indexing
Services (SIS)*

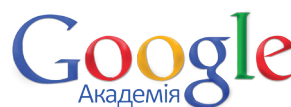


**Scientific Indexing
Services**

CIARD RING



Google Scholar (США)



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 28 травня 2020 року (протокол № 4).

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

© Інститут водних проблем і меліорації НААН, 2020

JOURNAL
“LAND RECLAMATION AND WATER MANAGEMENT”

№ 1 • 2020

«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*

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

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., Full member of NAAS

Y. MYKHAILOV,
Doctor of Engineering Sciences

V. POPOV,
Doctor of Engineering Sciences

P. KHORUZHYI,
Doctor of Engineering Sciences, Prof.

V. VYSHNEVSKIY,
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*

O. TARARIKO,
*Doctor of Agricultural Sc., Prof.,
Academician of NAAS*

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

V. PICHURA,
Doctor of Agricultural Sciences, Prof.

V. MOSHYNSKIY,
Doctor of Agricultural Sciences, Prof.

O. TONKHA,
Doctor of Agricultural Sciences, Prof.

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

A. SHATKOVSKIY,
Doctor of Agricultural Sciences

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

Y. TARARIKO,
*Doctor of Agricultural Sciences, Prof.,
Full member of NAAS*

I. SLIUSAR,
Doctor of Agricultural Sciences, Prof.

O. ZHOVTONOG,
Doctor of Agricultural Sciences

V. VASIUTA,
Doctor of Agricultural Sciences

M. MALYARCHUK,
Doctor of Agricultural Sciences

KYIV • 2020

“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, член-кор. 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., с.н.с.

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

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

І.Т. СЛЮСАР,
д. с.-г. н., професор

О.І. ЖОВТОНОГ,
д. с.-г. н., с.н.с.

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/mivg202001-235>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/235>

УДК 551.583:631.1:556.182

ВПЛИВ СУЧАСНИХ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН НА ВОДНІ РЕСУРСИ ТА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКЕ ВИРОБНИЦТВО

М.І. Ромащенко¹, докт. техн. наук, Ю.В. Гусев², канд. екон. наук, А.П. Шатковський³,
докт. с.-г. наук, Р.В. Сайдак⁴, канд. с.-г. наук, М.В. Яцюк⁵, канд. геогр. наук, А.М.
Шевченко⁶, канд. с.-г. наук, Т.В. Матяш⁷, канд. техн. наук

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

² Херсонська обласна державна адміністрація, Херсон, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-5144-2533>; e-mail: economistinukraine@gmail.com;

³ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-4366-0397>; e-mail: andriy-1804@ukr.net;

⁴ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-0213-0496>; e-mail: saidak_r@ukr.net;

⁵ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-5535-715X>; e-mail: mv_yatsiuk@ukr.net;

⁶ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-2637-6538>; e-mail: monitoring_protect@ukr.net;

⁷ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0003-1225-086X>; e-mail: t.v.matiash@gmail.com

Анотація. Висвітлено результати досліджень оцінки вологозабезпечення території України, стану водних ресурсів та аграрного виробництва в умовах сучасних змін клімату та з урахуванням прогнозу на середньо- та довгострокову перспективу. Встановлено, що швидкість підвищення середньорічної температури повітря в Україні є значно вищою порівняно із сусідніми пострадянськими країнами та глобальними і європейськими масштабами. Внаслідок стійкого підвищення температурного режиму площа території України із значним дефіцитом природного вологозабезпечення за період 1990–2015 рр. збільшилась на 7%, а з надмірним та достатнім зволоженням навпаки – зменшилась на 10%. За умови збереження існуючих темпів потепління до 2050 та 2100 років територія країни з недостатнім рівнем зволоження збільшиться до 56 та 71% відповідно. Внаслідок таких змін існує висока імовірність на середньо-та довгострокову перспективу збільшення площ ріллі з недостатнім рівнем зволоження до 20,6 млн га (67%) і 24,9 млн га (80%) з одночасним зниженням площ орних земель з достатнім зволоженням до 5,5–1,8 млн га. Нині потенційне сумарне випаровування на 40–45 км³/рік перевищує показник 1990 року, внаслідок цього, незважаючи на зменшення водоспоживання, загальний обсяг води, що забирається з території України, на 20–25 км³ більший. Подальші кліматичні зміни спричинять збільшення обсягів додаткового вилучення води до 2050 р. на 80 км³, а до 2100 р. – майже на 150 км³ порівняно з 1990 роком. Сучасні кліматичні зміни суттєво вплинули на регіональні зміни структури посівів сільськогосподарських культур і їх продуктивність. Загальне по країні збільшення виробництва зернових і зернобобових культур відбулось лише за рахунок більш вологозабезпечених регіонів – Полісся та Лісостепу. Кліматичні зміни, що вже відбулися, виявились сприятливими для поширення площ вирощування найбільш ліквідних культур на північ країни, одночасно обмежили їх виробництво на півдні.

Ключові слова: водні ресурси, сільськогосподарське виробництво, зміни клімату, вологозабезпечення, зонування, водний баланс, продуктивність.

Актуальність дослідження. Глобальні зміни клімату по-різному проявляються в різних регіонах земної кулі, а їх вплив на стан навколишнього середовища та соціально-економічний розвиток регіонів стає все відчутнішим і перетворюється на одну з ключових проблем світової економіки і політики. Оцінка впливу на всі складові життєдіяльності людини є одним із викликів фундаментальної

науки XXI століття та однією з ключових проблем світової економіки і політики [1–3]. До основних наслідків змін клімату належить зміна гідрологічного режиму, кількості та якості водних ресурсів і забезпеченість ними різних галузей економіки, особливо сільськогосподарського виробництва. В сучасних умовах дефіцит вологозабезпечення є одним із головних обмежуючих факторів сталого

© Ромащенко М.І., Гусев Ю.В., Шатковський А.П., Сайдак Р.В., Яцюк М.В., Шевченко А.М., Матяш Т.В., 2020

розвитку аграрного виробництва. В останні десятиліття у всьому світі активно досліджуються проблеми, пов'язані з управлінням водними ресурсами в сільському господарстві. Актуальність даної проблеми підтверджується стрімким зростанням публікаційної активності з питань сталого використання води в сільському господарстві. Так, за період 1993–2017 рр. кількість публікацій по цьому напрямі збільшилась у 67 разів, журналів – у 49 разів, а країн – у 23 рази [4]. Тобто, в період найбільш стрімких кліматичних змін проблема використання водних ресурсів в сільськогосподарському виробництві набула світового значення.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Факт глобальних кліматичних змін на сьогодні визнаний світовою спільнотою і не викликає сумнівів [5-7]. Проблема глобального потепління виникла ще наприкінці минулого сторіччя, і згодом, у зв'язку з все відчутнішим її негативним впливом, актуальність лише зростає [8].

В 1988 р. з метою оцінювання стану глобального потепління та пов'язаних з ним ризиків Всесвітньою метеорологічною організацією і Програмою ООН по навколишньому середовищу було створено Міжурядову групу експертів по зміні клімату (МГЕЗК, англ. Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) [9].

Визнання глобальних кліматичних змін на планеті та їх негативних наслідків для людства було задекларовано міжнародною спільнотою в 1992 р. прийняттям Рамкової конвенції ООН про зміни клімату (РКЗК, англ. Framework Convention on Climate Change, UN FCCC) – угоду підписано більш ніж 180 країнами світу [10]. В 1994 році, 17 червня, в м. Париж, Франція, була ухвалена та відкрита для підписання Конвенція ООН про боротьбу з опустелюванням та посухами [11]. В 1997 р. Рамкова конвенція ООН про зміни клімату доповнена Кіотським протоколом [12].

В подальшому, у зв'язку з посиленням темпів потепління, в 2015 р. було прийнято Паризьку угоду, головною ціллю якої є утримання зростання глобальної температури в XXI столітті в межах 2°C і можливість її зниження до 1,5°C [13].

Всі зазначені міжурядові документи ратифіковані і Україною, яка в 2016 р. прийняла перший національний стратегічний документ у сфері боротьби зі зміною клімату – «Концепцію реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 року» [14].

Вже зафіксовані зміни клімату, насамперед, найбільш відчутно відображаються на водозабезпеченості регіонів, зокрема і на якості водних ресурсів [15–20] та аграрному виробництві [21–25], як одній з найбільш кліматично залежній галузі економіки.

Стан водних ресурсів та водозабезпечення населення і галузей економіки України в умовах змін клімату перетворюється на одну з головних і актуальних загроз національній безпеці нашої країни, що постійно загострюється. Ця гострота обумовлена тим що Україна належить до найменш забезпечених власними водними ресурсами країн Європи, а за величиною внутрішніх запасів прісної води, в розрахунку на душу населення, перебуває на 111 місці у світі зі 152 країн [26].

Зміни клімату і обумовлене ними зменшення доступних до використання водних ресурсів негативно відіб'ються на умовах природного вологозабезпечення ґрунтів [27] і, відповідно, умовах ведення сільськогосподарського виробництва. Оцінка цього впливу особливо важлива з огляду на те, що аграрний сектор України є однією з провідних галузей економіки, яка забезпечує 12-14% внутрішнього валового продукту та близько 40% експорту [28].

Враховуючи вищевказане, **метою досліджень** є оцінка впливу сучасних і майбутніх кліматичних змін на вологозабезпечення території України, водні ресурси та їх використання і умови ведення аграрного виробництва.

Матеріали і методи дослідження. Оцінку та прогноз умов вологозабезпечення проводили на основі кліматичного водного балансу (КВБ) [29], який розраховується як різниця між сумарною кількістю опадів і потенційним випаровуванням за визначений період:

$$КВБ = \Sigma R - \Sigma E_p, \quad (1)$$

де ΣR – сума опадів за рік (мм);

ΣE_p – потенційне випаровування за рік (мм).

Для розрахунку КВБ використовували дані спостережень мережі метеорологічних станцій Українського метеорологічного центру та дані регіонального прогнозу середньомісячної температури повітря та місячних сум опадів на період до 2050 і 2100 рр. для сценарію А1В [30]. Просторовий аналіз кліматичних даних і врожайності сільськогосподарських культур проводили шляхом інтерполяції методом IDW за допомогою програмного продукту QGIS3.

Аналіз стану сільськогосподарського виробництва проводили на основі даних про середньообласну господарську врожайність

основних польових культур за 1990–2018 рр. Багаторічні ряди врожайності польових культур сформовані на основі даних щорічних збірників Державної служби статистики України.

Для оцінки кліматичної складової коливань урожайності використовували формулу В.М. Пасова [31]:

$$C_{vc} = \frac{1}{\bar{u}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (u_i - \bar{u})^2 - \sum_{i=1}^n (u_i - \bar{u})^2}{n-1}}, \quad (2)$$

де C_{vc} – кліматична складова варіації урожайності;
 u_i – урожайність конкретного року, ц/га;
 u_n – урожайність за трендом в конкретному році, ц/га;
 n – величина часового ряду, років.

У якості вхідних даних супутникового моніторингу стану посівів використано найбільш

поширений показник NDVI. Показники NDVI сформовані на основі супутникових знімків Terra (Aqua)/MODIS за 2000–2018 рр., в обласному розрізі (з урахуванням «маски» посівів, періодичність знімків 8 днів).

Результати дослідження та їх обговорення.

Зміни клімату. Дані Українського Гідрометцентру [32] свідчать про те, що за останні тридцять років середньорічна температура повітря загалом по країні підвищилась на 1,2°C.

Згідно з аналізом регіональних темпів потепління встановлено, що на півдні та північному сході країни в 1991–2019 рр. середньорічна температура повітря виявилася на 1,0–1,1°C вищою нормативного періоду (1961–1990 рр.), на заході – на 1,2–1,3°C, а на півночі та центральних областях – на 1,4–1,5°C (рис. 1). Тобто, темпи зростання температури повітря за 1975–2019 рр. становлять від

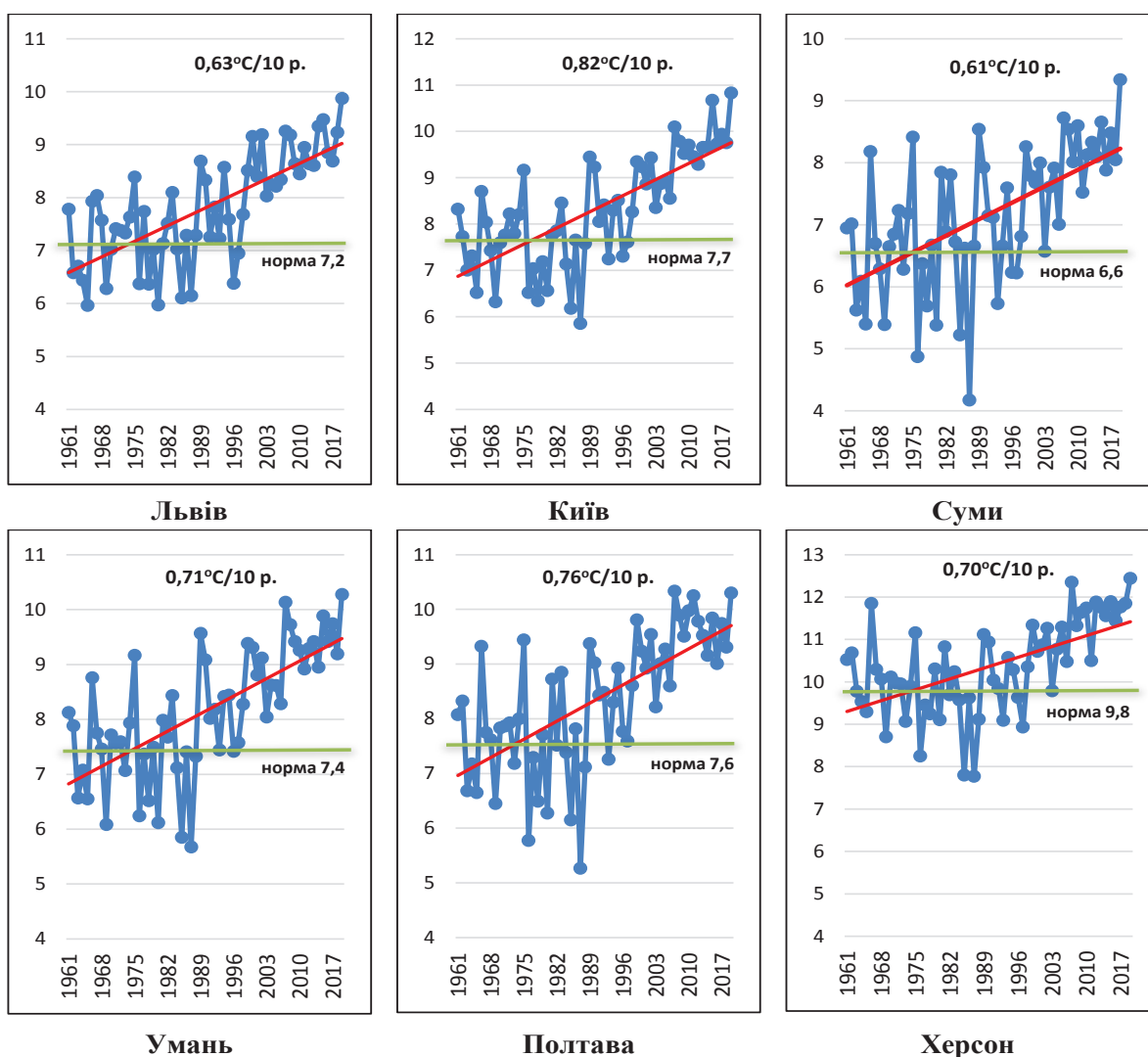


Рис. 1. Динаміка середньорічної температури повітря за 1961-2019 рр. по регіонах України

0,61 до 0,82°C/10 років, тоді як у сусідніх пострадянських країнах (Росія, Молдова, Білорусь) – 0,47–0,59°C/10 р. [33], а в північній півкулі та Європі – 0,34 і 0,47°C/10 р. відповідно. Ці дані свідчать про те, що швидкість підвищення температури повітря в Україні є значно вищою і глобальних і європейських масштабів.

Зазвичай підвищення температури повітря підвищує вологоємність атмосфери [34]. При зростанні температури повітря на 1°C водоутримуюча здатність повітря

зростає приблизно на 7% [35], що призводить до зростання потенційного випаровування [36].

Згідно з нашими розрахунками, зростання середньомісячної температури повітря на 1°C підвищує потенційне сумарне за місяць випаровування (без урахування інших факторів) на 9% (рис. 2).

Розрахунки кліматичного водного балансу (КВБ) сумарно за рік свідчать про стрімке зростання його дефіциту у всіх регіонах України (рис. 3). В середньому за

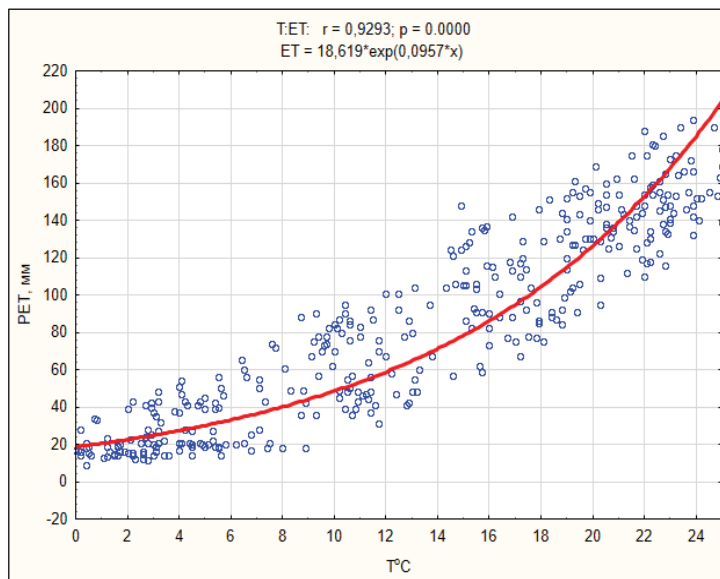


Рис. 2. Залежність потенційного випаровування (мм) від середньомісячної температури повітря (°C)

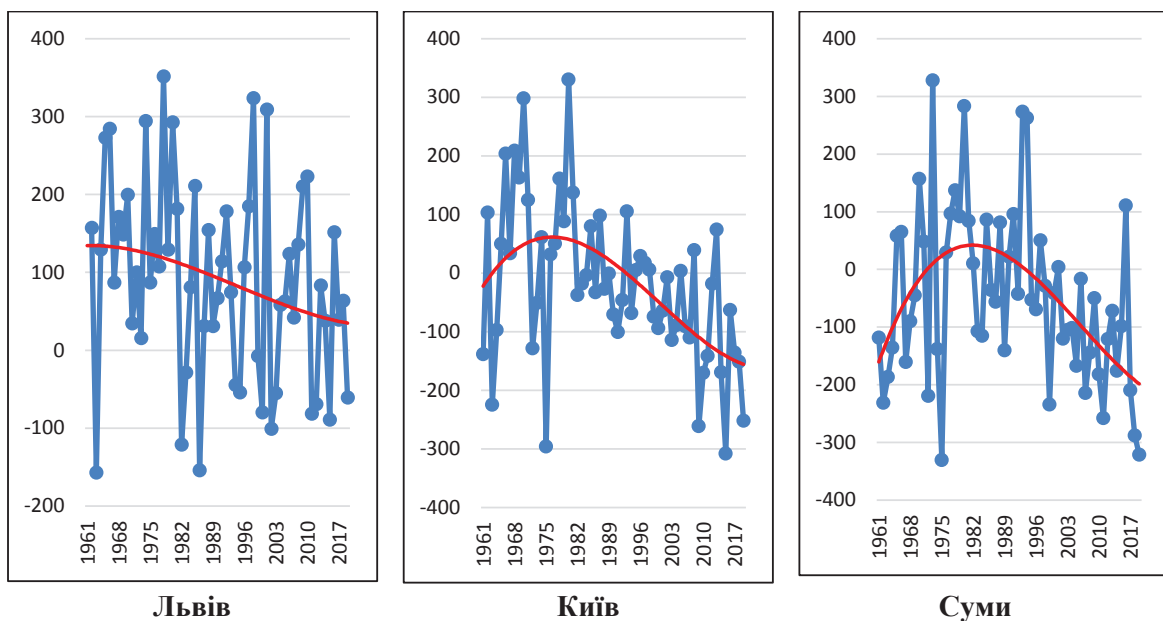


Рис. 3. Динаміка річного КВБ за 1961–2019 рр. за регіонами України (початок)

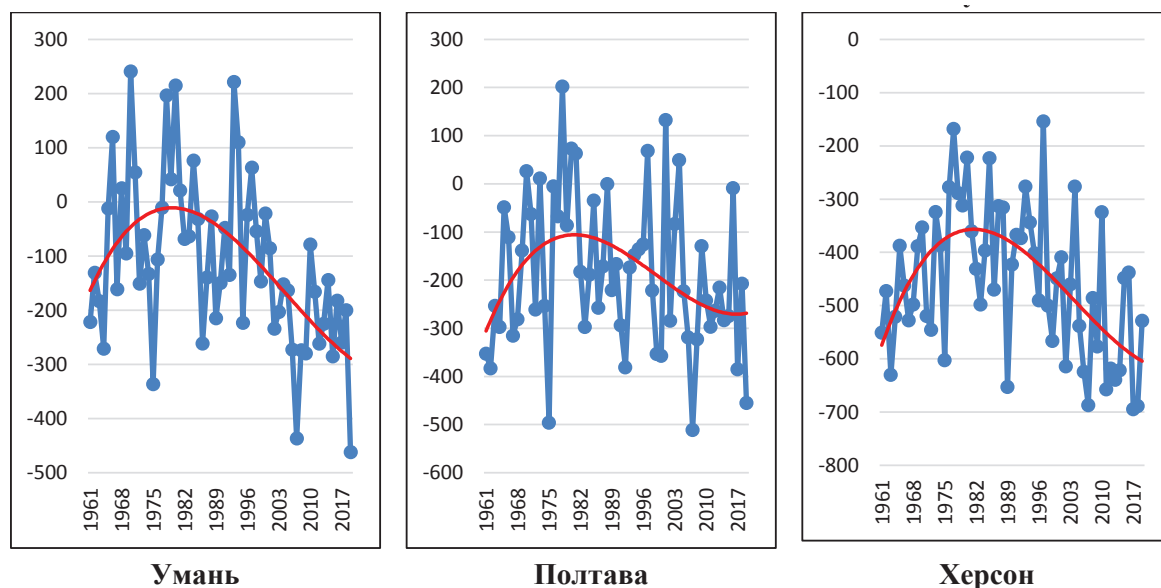


Рис. 3. Динаміка річного КВБ за 1961–2019 рр. за регіонами України (закінчення)

1991–2019 рр. позитивний водний баланс відмічається лише в деяких західних регіонах, тоді як на півночі країни його дефіцит становить 77–80 мм, в центрі – 159–222 мм, а на півдні – понад 460 мм.

За рівнем природного зволоження в Україні виділено шість основних типових зон: надмірно вологу – займає 4,5% території; вологу (30,0%); недостатньо вологу (16,0%); посушливу (20,0%); суху (22,0%); дуже суху (7,5%). У період з 1991 по 2015 рр., порівняно з 1961–1990 рр., території зі значним дефіцитом природного вологозабезпечення (суха і дуже суха зони) збільшились на 7% і охоплюють загалом понад 29,5% площ України або 11,6 млн га (37%) орних земель країни. Територія країни з надмірним та достатнім атмосферним зволоженням навпаки зменшилась на 10% і займає лише 22,5%, зокрема 7,6 млн га ріллі (табл. 1, рис. 4).

Згідно із середньостроковим прогнозом до 2050 р. за сценарієм А1В [30] очікується

збереження загальної тенденції підвищення температурного режиму на 1,24–1,48°C порівняно із сучасним періодом. За умов реалізації даного прогнозного сценарію навіть за зростання кількості опадів загалом по країні на 8% кліматичний водний баланс території України може знизитись на 45–115 мм, а його дефіцит у зоні Степу становитиме 560 мм і більше. З урахуванням цього, територія країни з недостатнім рівнем зволоження збільшиться до 56% і лише 28% території будуть відповідати вологим і надмірно вологим умовам.

В довгостроковій перспективі (до кінця 2100 р.) також очікується зростання середньорічної температури повітря порівняно із сучасною на 3,03–3,29°C з можливим збільшенням кількості опадів для всієї території України на 11%, а в північній та західній частині України навіть на 15–21%. За таких умов кліматичний водний баланс території знизиться на 100–140 мм на заході та півночі країни, на 180–190 мм – у центральних

1. Відносні площі зон України з різним рівнем вологозабезпечення

№ зони	КВБ, мм	Якісна оцінка	Відносна площа зони, % до загальної території України		
			1961-1990 рр.	1991-2015 рр.	+ до 1961-1990 рр.
I	Більше 50	Надмірно волога	12,5	4,5	- 8,0
II	-50 – (-50)	Волога	32,0	30,0	-2,0
III	-50 – (-150)	Недостатньо волога	10,0	16,0	6,0
IV	-150 – (-300)	Посушлива	23,0	20,0	-3,0
V	-300 – (-450)	Суха	18,5	22,0	3,5
VI	Менше -450	Дуже суха	4,0	7,5	3,5

Для поліпшення водозабезпечення вододефіцитних регіонів в Україні створено понад 1160 водосховищ загальним об'ємом близько 55 км³. Значною є також мережа магістральних каналів (понад 1,0 тис. км) і водоводів (понад 2,0 тис. км). Це дозволяє перерозподіляти по території відповідно 3 і 12 км³ води щорічно.

Зарегулювання основних водотоків України дозволило перерозподілити стік, та забезпечити потреби водоспоживачів та водокористувачів, але перетворило річки на істотно змінні водні об'єкти з поганим екологічним станом та низьким потенціалом самоочищення. Свідченням тому є відсутність будь-якого вагомого покращення якості води в Дніпрі або інших річках попри значне скорочення забору води (більше ніж у 3 рази за останні 25 років: з 30 км³ у 1990 до <9,7 км³ у 2017 році) та скидів стічних вод (з 18 км³ у 1990-х до 5,3 км³ у 2015 р.). Зарегулювання стоку супроводжується виникненням низки екологічних проблем функціонування водних об'єктів. Зокрема, загальновідомими наслідками будівництва ГЕС зі створенням гідротехнічних споруд різного ступеня складності та призначення є гідроморфологічні зміни річок (зменшення швидкості течії, підйом рівнів води, акумулювання значних об'ємів донних відкладів, затоплення значних територій для формування ложа водосховищ), які спричиняють деградацію річкових екосистем і втрату їхньої здатності до самоочищення, суттєве забруднення поверхневих вод, впливають на якісний та кількісний стан біоресурсів, а також призводять до підтоплення прилеглих територій.

Ці та інші водно-екологічні проблеми України постійно загострюються внаслідок змін клімату. Насамперед це стосується значного зростання сумарного випаровування (табл. 3).

Сьогодні потенційне сумарне випаровування перевищує те, яке було три десятиліття тому, на 40–45 куб. км на рік. Внаслідок цього, незважаючи на зменшення водоспоживання – з 31 куб. км у 1991 р. до 9 куб. км у 2019 р., загальний обсяг води, що забирається з території України, на 20–25 км³ більше порівняно з 1990 роком. Якщо кліматичні зміни будуть відбуватись за згадуваним сценарієм, то обсяги додаткового відбору (вилучення) води з території України через зростання сумарного випаровування будуть постійно збільшуватись і їх величина у 2050 р. порівняно з 1990 р. зросте на 80 км³, а у 2100 – майже на 150 км³. Таке зменшення обсягів водонадходження спричинить подальше зневоднення території України.

Яскравим прикладом зниження водозабезпечення внаслідок кліматичних змін є умови 2019/2020 рр.: безсніжна зима, аномально високі температури, відсутність весняного водопілля – все це є наслідками глобального потепління і свідчить про те, що нас очікують серйозні випробування. Зазначимо, що вперше за 120 років Україна опинилася у ситуації, коли гідрометеорологічні умови можуть спричинити обмеження прав водокористувачів у використанні води [39].

Зараз у нас, практично, немає територій, на яких формується інфільтраційне живлення ґрунтових підземних вод (рис. 7). Тому не дивно, що «висихають» колодязі.

3. Збільшення потенційного сумарного випаровування з території України в умовах змін клімату (відносно 1961–1990 рр.), км³/%

Період		1961–1990 рр.	1991–2015 рр.	2016–2050 рр.	2051–2100 рр.
до 1961–1990 рр.	км ³	–	21–41	46–80	98–148
	%	–	26–54	58–105	124–195

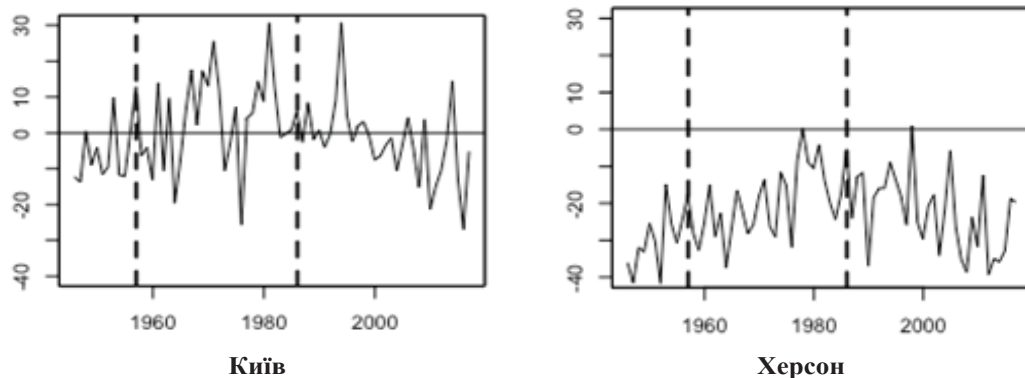


Рис. 7. Потенційна інфільтрація (-)/евапотранспірація (+), мм/рік

В маловодних регіонах України налічується 1300 сіл, мешканці яких користуються привізною водою. Лише 24% сільського населення охоплено послугами централізованого водопостачання. Крім того, значно скоротився поверхневий стік. Дослідженнями ІВПіМ [40] вже зафіксовано зменшення стоку малих і середніх річок: на півночі – на 10–20%, а на півдні – від 20 до 50%. Торік скид води через греблю Каховської ГЕС із Каховського водосховища у нижню течію Дніпра був на 11 кубокілометрів менший, ніж у середні багаторічні періоди [40].

Згідно з прогнозом Одеського державного екологічного університету [41], щодо стану водних ресурсів України на основі моделі «клімат-стік» на період 2030–2040 рр., водні ресурси степової зони можуть знизитись на 40–50%, а на решті території на 24–40%

Подальше зменшення доступних для використання запасів поверхневих і підземних вод супроводжуватиметься погіршенням їхньої якості, насамперед через підвищення мінералізації. Цей процес характеризується поступовим поширенням вод, властивих нашому півдню, на північ. На погіршення якості води впливають як зміни клімату, так і антропогенне навантаження, але останнім часом роль кліматичного чинника постійно зростає.

Зважаючи на те, що території України загрожує подальше зневоднення, зменшення кількості придатних для використання поверхневих і підземних вод, має бути якнайшвидше розроблена і прийнята «Водна стратегія України на період до 2050 року», яка закріпить нову водну політику і створить передумови для принципово іншого поводження з водою. Зокрема у промисловості потрібно терміново запроваджувати системи оборотного і замкненого водопостачання. Системи питного водопостачання населених пунктів потребують проведення заходів із модернізації станцій підготовки води. Діючі станції водопідготовки у своїй абсолютній більшості були запроєктовані і побудовані для підготовки води, якість якої була значно кращою порівняно з нинішнім станом. Ці водні проблеми потребують негайного вирішення, як і проблеми зрошення та дренажу. Шляхи розв'язання останніх закріплені у «Стратегії зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 року», що схвалена КМ України 14 серпня 2019 року [42].

Зокрема вона передбачає реформування сектора іригації та дренажу на сучасних засадах, його технічну і технологічну модерні-

зацію, залучення інвестицій. Нове зрошення, яке буде впроваджуватись на виконання «Стратегії...», дозволить значно ефективніше, безпечніше й економніше використовувати воду. Нарощування площ зрошення та створення умов для сталого водозабезпечення південних регіонів України, особливо Одеської та Миколаївської областей, потребуватиме залучення водних ресурсів Дунаю. Можливість реалізації цього проекту значно зросла у зв'язку з появою нових технологій виготовлення труб діаметром до 4 м з робочим тиском до 25 атм. Поєднання водних ресурсів Дніпра та Дунаю, за нашими підрахунками, дозволить зрошувати до п'яти мільйонів гектарів південного степу.

Сільськогосподарське виробництво.

Аграрний сектор – важлива галузь економіки України. Україна повністю забезпечує свою продовольчу безпеку, є найбільшим виробником та експортером соняшникової олії, третім світовим експортером кукурудзи, четвертим – ячменю, шостим – соєвих бобів, сьомим – курятини.

За оцінками ФАО Україна має можливості для значного (до 3-х і більше разів) нарощування обсягів виробництва та експорту сільськогосподарської продукції за умови кращого використання наявного агроресурсного потенціалу. Недостатній рівень його використання обмежується низкою факторів, головним з яких є дефіцит природного вологозабезпечення на більш ніж 2/3 території України.

В умовах змін клімату саме природне вологозабезпечення є визначальним чинником формування продуктивності посівів. Шляхом кореляційно-регресійного аналізу NDVI, який є одним із показників оцінки біомаси посівів,

з показниками КВБ впродовж вегетаційного періоду, встановлено, що лише за бездефіцитного водного балансу забезпечуються найвищі значення NDVI посівів (рис. 8).

Внаслідок інтенсивного прогресуючого потепління значно змінились структура сільськогосподарського виробництва, площі посівів польових культур і рівень їх врожайності, особливо територіально. Якщо загальна площа зернових і зернобобових культур у середньому за останні п'ять років (порівняно з 1990 р.) майже не змінилась, то суттєво змінилась частка їх виробництва по природно-кліматичних зонах. Зона Степу, де зосереджено 46% посівів зернових, зараз забезпечує лише 35% загального виробництва зерна, тоді як у 1990 р. – 45% (рис. 9).

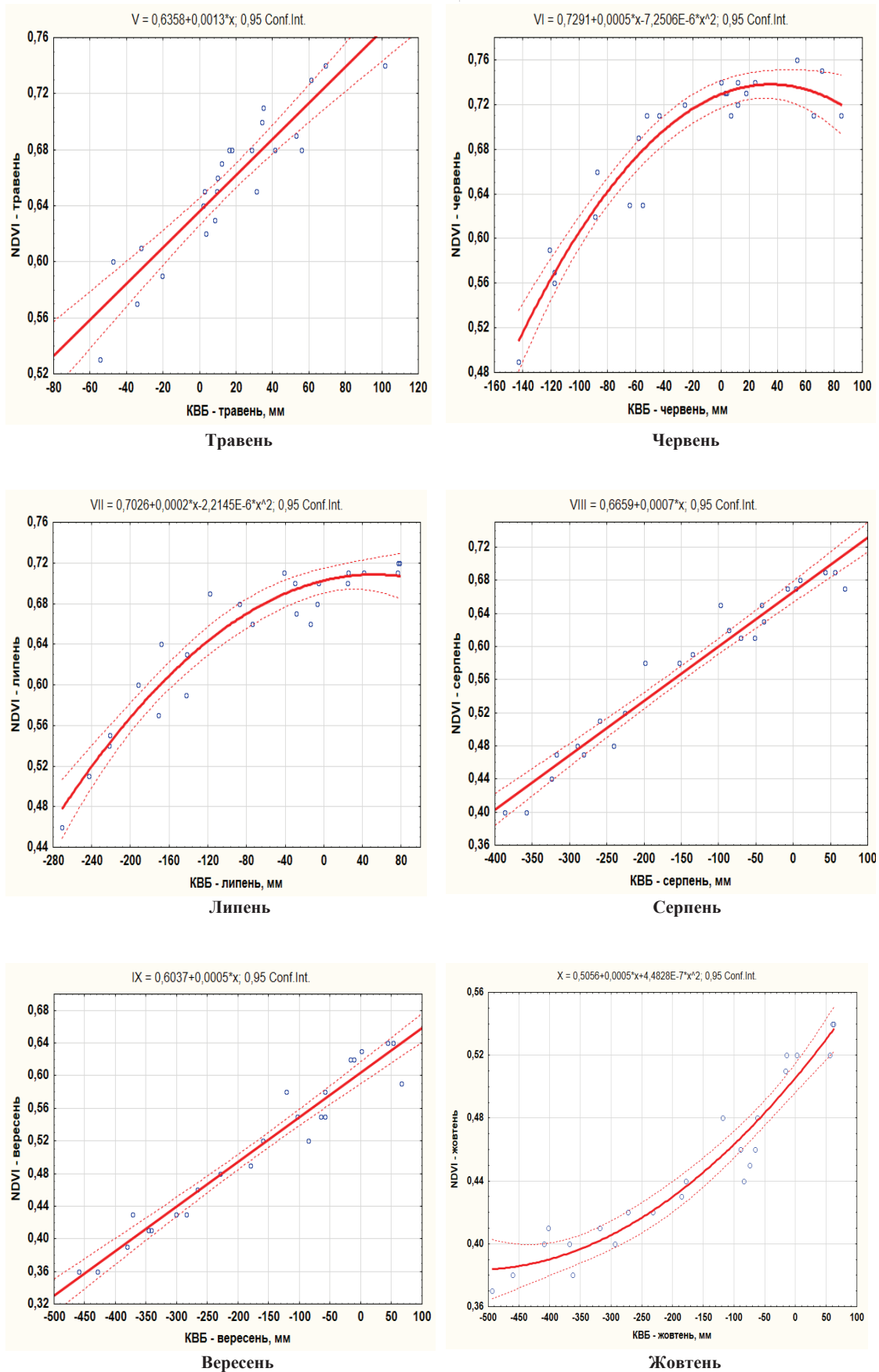


Рис. 8. Залежності NDVI впродовж вегетаційного періоду від КВБ

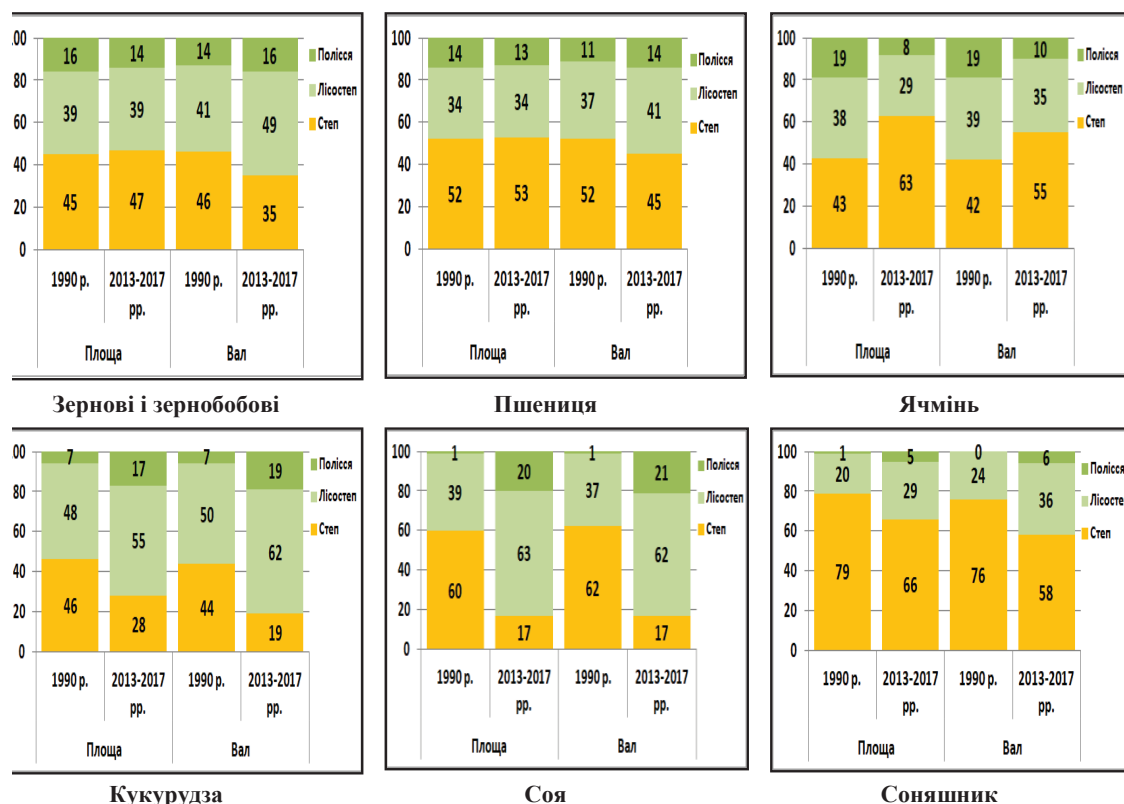


Рис. 9. Зміна структури посівів і виробництва основних сільськогосподарських культур, % до загального по країні

Середня врожайність зернових у цій зоні за останні п'ять років, незважаючи на її зростання на 21% у загальнодержавному масштабі, знизилась від 35,8 ц/га в 1990 р. до 32,2 ц/га в 2013–2017 рр. На Поліссі і в Лісостепу навпаки відмічено зростання врожайності з 30–37 ц/га до 48–53 ц/га. Завдяки цьому в цих зонах виробляється 65% зерна, хоча частка посівів даної групи культур тут становить лише 53%.

Подібна ситуація відмічається і щодо регіональних змін обсягів виробництва більшості основних польових культур, особливо більш вимогливих до тепла. Так, частка площ зернової кукурудзи в Степу зменшилась з 46 до 28%, соняшнику – з 79 до 66%, а сої – з 60 до 17%. При цьому площі соняшнику і кукурудзи загалом по Україні порівняно з 1990 р. зросли в 4–5 рази, а сої – в 20 разів, із них 42–83% розміщені в Лісостепу та на Поліссі. Зараз у цих зонах виробляється основна частка раніше традиційних для Степу культур: 83% сої, 81% кукурудзи і 43% соняшнику.

Окрім суттєвого територіального перерозподілу структури посівів сільськогосподарських культур нині, відмічається значна строкатість динаміки і темпів зростання їх продуктивності. Наприклад, середня врожай-

ність зернових і зернобобових культур у Лісостепу і на Поліссі порівняно з 1990 р. зросла на 46–61%, а у Степу знизилась на 10%. Аналогічна динаміка спостерігається і відносно зміни рівня продуктивності решти основних зернових культур, за винятком кукурудзи на зерно, врожайність якої підвищилась у всіх зонах, проте в Лісостепу і на Поліссі на 71–82%, а у Степу – лише на 9%.

До того ж, зона Степу внаслідок дуже низького рівня природного вологозабезпечення, окрім найнижчих темпів зростання продуктивності, відзначається найнижчою сталістю врожайності. Наприклад, аналіз динаміки врожайності зерна кукурудзи за 1999–2018 рр. засвідчив, що на півдні країни (Миколаївська область) вона зросла на 19 ц/га (80%) (рис. 10). На півночі України (Сумська область) врожайність цієї культури підвищилась на 64 ц/га, що в 4 рази перевищує рівень 1999 р. До того ж, коефіцієнт варіації врожайності кукурудзи за рахунок кліматичних умов в Сумській області на 40% нижчий ніж в Миколаївській і становить 0,15 проти 0,25. Проте на зрошенні рівень сталості врожайності кукурудзи значно підвищується і становить 0,12, що відповідає умовам Полісся (табл. 4).

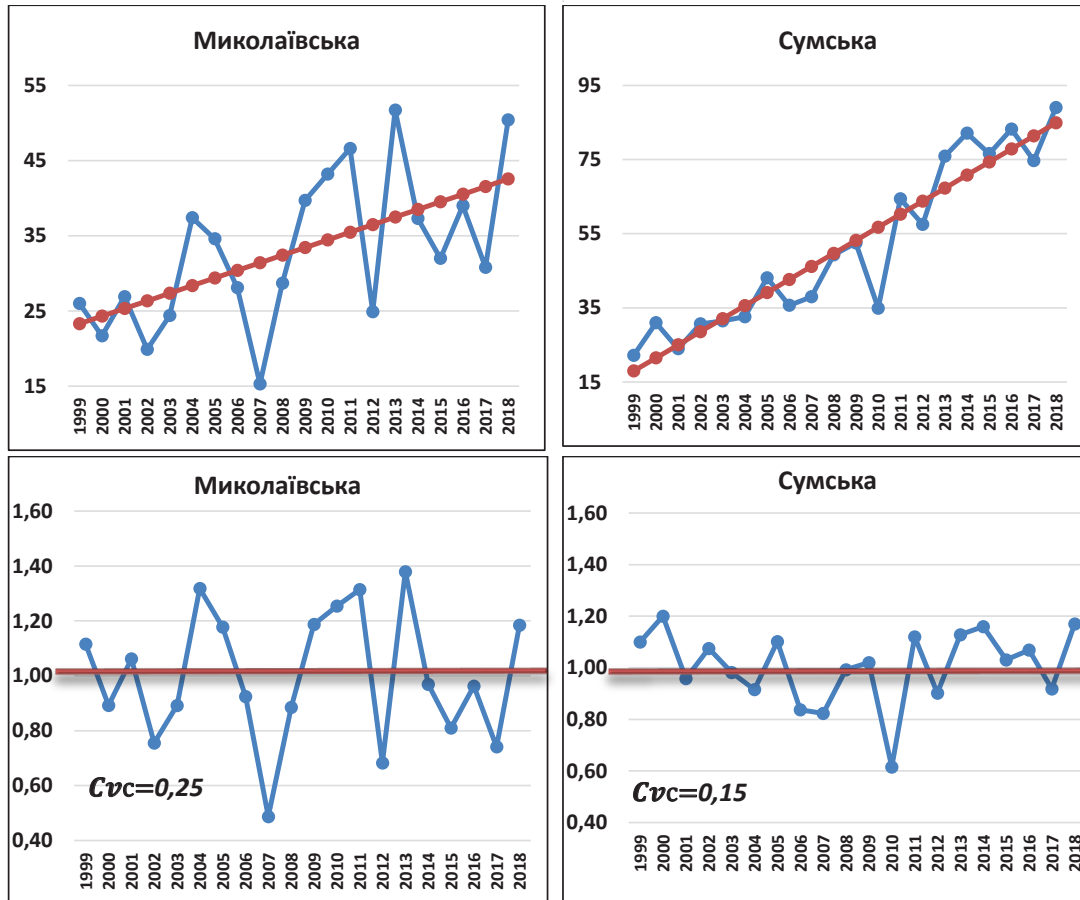


Рис. 10. Динаміка та варіабельність врожайності зерна кукурудзи

4. Коефіцієнти варіації врожайності основних зернових культур за рахунок кліматичних умов

Зони	Пшениця озима	Ячмінь ярий	Кукурудза
Степ	0,25	0,26	0,22/0,12 зрошення
Лісостеп	0,20	0,18	0,17
Полісся	0,14	0,13	0,13

Отже, загальне по Україні зростання врожайності зернових і зернобобових культур у сучасний період відбулось лише за рахунок Лісостепу і особливо Полісся, тобто за рахунок більш вологозабезпечених регіонів.

Висновки. Дослідженнями та експертними і прогнозними розрахунками підтверджено наявність змін клімату, які для умов України проявляються найвищими серед країн Європи темпами зростання середньорічної температури повітря та прогресуючим погіршенням умов природного вологозабезпечення.

Кліматичні зміни зумовили значне підвищення сумарного випаровування, внаслідок чого з території України вилучається на 20–25 м³ км води більше порівняно з 1990 роком. Подальше зростання сумарного випаровування спричинить прогресуюче

зневоднення України, зменшення доступних до використання запасів поверхневих та підземних вод за одночасного погіршення їх якості.

Територіальні закономірності результатів оцінки продуктивності основних сільськогосподарських культур як за рівнем фактичної господарської врожайності, так і за результатами супутникового моніторингу біомаси посівів свідчать, що внаслідок змін клімату зона максимальної потенційної продуктивності польових культур змістилась від центральних регіонів країни на захід і північ, тобто в зону порівняно найвищого рівня вологозабезпечення.

Зона Степу, внаслідок дуже низького та нестійкого рівня природного вологозабезпечення, окрім найнижчих темпів зростання

продуктивності, відзначається найнижчою сталістю врожайності з коефіцієнтом варіації 0,22–0,26.

Тісний позитивний статистичний зв'язок стану посівів упродовж вегетаційного періоду (*NDVI*) з кліматичним водним балансом, який становить від $r = 0,82$ у травні до $r = 0,98$ у вересні, свідчить, що лімітуючим чинником формування врожайності сільськогосподарських культур нині є рівень природного зволоження.

Кліматичні зміни, що вже відбулися, тепер виявились сприятливими для поширення площ вирощування найбільш ліквідних культур на північ країни, одночасно обмежили їх виробництво на півдні. Внаслідок цього виникає крайня потреба перегляду традиційних зональних систем землеробства відповідно до сьогоденних реалій в напрямі підвищення рівня використання агроресурсного потенціалу з одночасним його збереженням.

Бібліографія

1. Кислов А.В. Климатология с основами метеорологии. Москва: Академия, 2016. 224 с.
2. Макаров И.А. Глобальное изменение климата как вызов мировой экономике и экономической науке // Экономический журнал ВШЭ. 2013. №3. С. 479–494.
3. Порфирьев Б.Н. Экономика климатических изменений. Москва: Анкил. 2008. 168 с.
4. Sustainable Water Use in Agriculture: A Review of Worldwide Research / Velasco-Muñoz J. et al // Sustainability. 2018. №.10(4). P. 1084. doi:10.3390/su10041084.
5. Consensus on consensus: a synthesis of consensus estimates on human-caused global warming / Cook J. et al. // Environmental Research Letters. 2016. Vol. 11. 4. P. 1–7. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/4/048002>
6. Expert credibility in climate change / Anderegg W.R., Prall J.W., Harold J., Schneider S.H. // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 2010. 107(27). P 12107–12109. <https://doi.org/10.1073/pnas.1003187107>.
7. WMO Statement on the State of the Global Climate in 2019. WMO. 2020. 1248. 40 p. Retrieved from https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10211.
8. Глобальна температура. NASA report. [Електронний ресурс]: [Інтернет портал]. – Електронні дані. – Режим доступу: <https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/> (дата звернення 30.04.2020).
9. Climate Change and Land. An IPCC Special Report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems (IPCC) [Електронний ресурс]: [Інтернет портал]. – Електронні дані. – Режим доступу: <https://www.ipcc.ch/reports/> (дата звернення 29.04.2020).
10. United Nations framework convention on climate change/ United Nations 1992. FCCC/INFORMAL/84 GE.05-62220 (E) 200705. Retrieved from <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf>
11. United Nations Convention to Combat Desertification. [Електронний ресурс]: [Інтернет портал]. – Електронні дані. – Режим доступу: <https://www.unccd.int/official-documents> (дата звернення 30.04.2020).
12. United Nations framework convention on climate change. Kyoto Protocol, Kyoto, 1998 [Електронний ресурс]: [Інтернет портал] – Електронні дані. – Режим доступу: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/krpeng.pdf> (дата звернення 30.04.2020).
13. Paris Agreement/ United Nations. New York. 2016. P. 1-30 Retrieved from: https://treaties.un.org/doc/Treaties/2016/02/20160215%2006-03%20PM/Ch_XXVII-7-d.pdf
14. Про схвалення Концепції реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 року: Розпорядження Кабінету Міністрів № 932-р від 7 грудня 2016 р. <https://www.kmu.gov.ua/ua/npras/249573705> (дата звернення 29.04.2020)
15. Лобода Н.С., Сербова З.Ф., Божок Ю.В. Вплив змін клімату на водні ресурси України в сучасних та майбутніх умовах (за сценарієм глобального потепління А1В) // Український гідрометеорологічний журнал. 2014. №15. С. 149–159.
16. Оцінка можливих змін водних ресурсів місцевого стоку в Україні в XXI столітті / Сніжко С. та ін. // Водне господарство України. 2012. № 6(102). С. 8–16.
17. Вишневецький В.І. Зміни клімату і річкового стоку на території України і Білорусі // Наук. праці УкрНДГМІ. 2001. Вип. 249. С. 89–105.
18. Arnell N.W. Climate change and global water resources: SRES emissions and socio-economic scenarios// Global Environmental Change-Human And Policy Dimensions. 2004. Vol. 14. Issue 1. P. 31–52. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2003.10.006>

19. Taikan Oki, Shinjiro Kanae. Global Hydrological Cycles and World Water Resources. Science. 2006: Vol. 313. Issue 5790. P. 1068–1072 DOI: 10.1126/science.1128845
20. Freshwater resources under success and failure of the Paris climate agreement / Heinke, J., Mueller C., Lannerstad M. et al. // Earth System Dynamics. 2019. Vol. 10, Issue 2. P. 205–217. DOI: 10.5194/esd-10-205-2019
21. Synchronous crop failures and climate-forced production variability / Anderson, W.B.; Seager, R.; Baethgen, W.; et al. // Science Advances. 2019. Vol. 5 Issue 7. DOI:10.1126/sciadv.aaw1976
22. A meta-analysis of crop yield under climate change and adaptation / Challinor, A. J.; Watson, J.; Lobell, D. B.; et al // Nature Climate Change. 2014. Vol. 4. Issue 4. P. 287–291. DOI:10.1038/NCLIMATE2153
23. Climatic-Change and future agroclimatic potential in Europe. Carter T.R., Parry M.L., Porter J.H. / International Journal Of Climatology. 1991. Vol. 11. Issue 3. P. 251–269.
24. Adapting agriculture to climate change/ S. Mark Howden, Jean-François Soussana, Francesco N. Tubiello, et. Al // PNAS. 2007. № 104 (50). P. 19691–19696; doi.org/10.1073/pnas.0701890104
25. Romashchenko M.I., Saydak R.V., Matyash T.V. Development of irrigation and drainage as the basis of sustainable agriculture in Ukraine in climate change/IX International scientific and technical conference «Modern problems of water management, environmental protection, architecture and construction», 22–27 July. 2019. Georgia. P. 243–250.
26. Оскольський В.В. Економічні аспекти управління водними ресурсами та водокористування / Раціональне використання водних ресурсів як фактор забезпечення національної безпеки України // Матеріали VII Пленуму Співки економістів України та Всеукраїнської науково-практичної конференції, 21 вересня 2012. Київ: 2012. С. 2–13. Режим доступу <http://seu.org.ua/wp-content/uploads/2013/12/voda.pdf>
27. Районування території України за рівнем забезпеченості гідротермічними ресурсами та обсягами використання сільськогосподарських меліорацій / Ю.О. Тараріко та ін. // Київ: Інститут водних проблем і меліорації НААН України. 2016. 61 с.
28. Національні рахунки України за 2018 рік. Статистичний збірник//Державна служба статистики України. Київ, 2020. 255 с.
29. Georgeta B., Remus P. Climatic water balance dynamics over the last five decades in Romania's most arid region, Dobrogea. J. Geogr. Sci. 2015. № 25(11). P. 1307–1327
30. Розроблення сценаріїв зміни кліматичних умов в Україні на середньо- та довгострокову перспективу з використанням даних глобальних та регіональних моделей: звіт про НДР (заключний, 2013) / УкрГМІ. Київ, 2013. 135 с. Режим доступу: <https://uhmi.org.ua/project/rvndr/climate.pdf> (дата звернення 29.04.2020).
31. Пасов В.М. Изменчивость урожаев и оценка ожидаемой продуктивности зерновых культур / Ленинград: Гидрометеиздат. 1986. 152 с.
32. Міністерство енергетики та охорони довкілля. [Електронний ресурс]: [Інтернет портал]. – Електронні дані. – Як змінюється клімат в Україні. Матеріали Українського Гідрометцентру та АПД (Німецько-український агрополітичний діалог). Режим доступу : <https://menr.gov.ua/news/34871.html> (дата звернення 30.04.2020).
33. Северо-Евразийский Климатический Центр. [Електронний ресурс]: [Інтернет портал]. – Електронні дані. – Обзор состояния и тенденций изменения климата 2019 г. Режим доступу : <http://seakc.meteoinfo.ru/images/seakc/monitoring/seakc-2019v.pdf> (дата звернення 29.04.2020).
34. Water quantity, river floods and droughts in impacts of Europe's changing climate – 2008 indicator-based assessment. Joint EEA-JRC-WHO report, EEA Report No 4. 2008, European Environmental Agency. Copenhagen: European Communities.
35. Baumgartner A., Liebsche H.-J. Lehrbuch der Hydrologie I / Allgemeine Hydrologie – Quantitative Hydrologie. Berlin / Stuttgart: Gebrüder Borntraeger. 1990.
36. Effects of Climate Change on the Hydrological Cycle in Central and Eastern Europe. Managing Protected Areas in Central and Eastern Europe Under Climate Change / Judith, S., Elisabeth, M., Hagen, K., et.al. Springer, Dordrecht. 2014, Vol. 58. P. 31–43. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7960-0_3
37. Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Bates B.C. et al. 2008 IPCC Secretariat, Geneva, 210 p.
38. UCAR Center for Science Education Climate change affects evaporation and precipitation (2011) The Water Cycle and Climate Change. <https://scied.ucar.edu/longcontent/water-cycle-climate-change>
39. Державне агентство водних ресурсів України [Електронний ресурс]: [Інтернет портал]. – Електронні дані. – Держводагентство вперше може обмежити права водокористувачів. –

Режим доступу: <https://www.davr.gov.ua/news/derzhvodagentstvo-vpershe-mozhe-obmezhati-pravodokoristuvachiv> (дата звернення 29.04.2020).

40. Шевчук С.А., Вишневецький В.І. Зміни зволоженості Українського Полісся та їх наслідки // Екологія і виробництво. 2019. Вип. 26. С. 35–39.

41. Оцінка впливу кліматичних змін на галузі економіки України / Під ред. Степаненко С.М., Польового А.М. 2011. Одеса: Екологія. 605 с.

42. 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: 23.04.2020)

References

1. Kislov, A.V. (2016). *Klimatologiya s osnovami meteorologii* [Climatology with the basics of meteorology]. Moskva: Akademiya. [in Russian].
2. Makarov, I.A. (2013). *Globalnoe izmenenie klimata kak vyizov mirovoy ekonomike i ekonomicheskoy nauke* [Global climate change as a challenge to the global economy and economic science]. *Ekonomicheskij zhurnal VShE*, 3, 479–494. [in Russian].
3. Porfirev, B.N. (2008). *Ekonomika klimaticheskikh izmeneniy* [The economy of climate change]. Moskva: Ankil. [in Russian].
4. Velasco-Muñoz, J., Aznar-Sánchez, J., Belmonte-Ureña, L., & Román-Sánchez, I. (2018). Sustainable Water Use in Agriculture: A Review of Worldwide Research. *Sustainability*, 10(4), 1084. doi:10.3390/su10041084
5. Cook, J., et al, (2016). Consensus on consensus: a synthesis of consensus estimates on human-caused global warming. *Environmental Research Letters*, Vol. 11, 4. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/4/048002>
6. Anderegg, W.R., Prall, J.W., Harold, J., & Schneider, S.H. (2010). Expert credibility in climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107(27), 12107–12109. <https://doi.org/10.1073/pnas.1003187107>
7. WMO. (2020). WMO Statement on the State of the Global Climate in 2019.
8. NASA. (2020). Global Temperature. Retrieved from <https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/>
9. IPCC. (2020). *Climate Change and Land. An IPCC Special Report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems* Retrieved from https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2020/02/SPM_Updated-Jan20.pdf
10. United Nations Framework Convention on Climate Change, United Nations 1992, FCCC/INFORMAL/84, GE.05-62220 (E) 200705. Retrieved from <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf>
11. Unep. (1994). United Nations convention to combat desertification. Retrieved from <https://www.unccd.int/official-documents>
12. Protocol, K. (1998). United Nations framework convention on climate change. Kyoto Protocol, Kyoto, 19. Retrieved from <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>
13. Agreement, P. (2015). United nations. United Nations Treaty Collect, 1–27. Retrieved from: https://treaties.un.org/doc/Treaties/2016/02/20160215%2006-03%20PM/Ch_XXVII-7-d.pdf
14. Pro skhvalennia Kontseptsii realizatsii derzhavnoi polityky u sferi zminy klimatu na period do 2030 roku [About the concept of realizing state power politics in the sphere of climate for the period up to 2030]. (2016, december 7). № 932-p. Kyiv: Kabinet Mynistriv Ukrainu. Retrieved from: <https://www.kmu.gov.ua/ua/npas/249573705>. [in Ukrainian].
15. Loboda, N.S., Serbova, Z.F., & Bozhok, Yu.V. (2014). Vplyv zmin klimatu na vodni resursy Ukrainy u suchasnykh ta maibutnykh umovakh (za stsenariiem hlobalnoho poteplinnia A1V) [Impact of climate change on Ukraine's water resources in current and future conditions (according to the scenario of global warming A1B)]. *Ukrainskyi hidrometeorologichnyi zhurnal*, (15), 149–159. [in Ukrainian].
16. Snizhko, S., Yatsiuk, M., Kuprikov, I., Shevchenko, O., Strutynska, V., Krakovska, S., & Shedemenko, I. (2012). Otsinka mozhlyvykh zmin vodnykh resursiv mistsevoho stoku v Ukraini v KhKhI stolitti [Assessment of possible changes in water resources of local runoff in Ukraine in the XXI century]. *Vodne hospodarstvo Ukrainy*, 6, 102. [in Ukrainian].
17. Vyshnevskiy, V.I. (2001). Zminy klimatu i richkovoho stoku na terytorii Ukrainy i Bilorusi [Climate change and river runoff in Ukraine and Belarus]. *Nauk. pratsi UkrNDHMI*, 249, 89–105. [in Ukrainian].

18. Arnell, N.W. (2004). Climate change and global water resources: SRES emissions and socio-economic scenarios. *Global environmental change*, 14(1), 31–52. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2003.10.006>
19. Oki, T., & Kanae, S. (2006). Global hydrological cycles and world water resources. *science*, 313(5790), 1068–1072.
20. Heinke, J., Müller, C., Lannerstad, M., Gerten, D., & Lucht, W. (2019). Freshwater resources under success and failure of the Paris climate agreement. *Earth System Dynamics*, 10(2).
21. Anderson, W. B., Seager, R., Baethgen, W., Cane, M., & You, L. (2019). Synchronous crop failures and climate-forced production variability. *Science advances*, 5(7). doi:10.1126/sciadv.aaw1976
22. Challinor, A.J., Watson, J., Lobell, D.B., Howden, S.M., Smith, D.R., & Chhetri, N. (2014). A meta-analysis of crop yield under climate change and adaptation. *Nature Climate Change*, 4(4), 287–291.
23. Carter, T.R., Parry, M.L., & Porter, J.H. (1991). Climatic change and future agroclimatic potential in Europe. *International Journal of Climatology*, 11(3), 251–269.
24. Howden, S.M., Soussana, J.F., Tubiello, F.N., Chhetri, N., Dunlop, M., & Meinke, H. (2007). Adapting agriculture to climate change. *Proceedings of the national academy of sciences*, 104(50), 19691–19696.
25. Romashchenko, M.I., Saydak, R.V. & Matyash, T.V. (2019) Development of irrigation and drainage as the basis of sustainable agriculture in Ukraine in climate change. *Modern problems of water management, environmental protection, architecture and construction: IX International scientific and technical conference. Georgia*, 243–250.
26. Oskolsky, V.V. (2012) *Ekonomichni aspekty upravlinnya vodnymy resursamy ta vodokorystyuvannya*. [Economic aspect of water management and water using]. *Ratsionalne vykorystannya vodnykh resursiv yak faktor zabezpechennia natsionalnoi bezpeky Ukrainy: Materialy VII Plenumu Spilky ekonomistiv Ukrainy ta Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii*. Kyiv. [in Ukrainian].
27. Tarariko Y.O., Saydak, R.V., Soroka, Y.V., & Vitvits'kiy S.V. (2016). *Rayonuvannya territoriy Ukrainy za rivnem zabezpechenosti hidrotermichnymi resursamy ta obsyahami ispol'zovanye sil's'kohospodars'kykh melioratsiy* [Raionuvannya terytorii Ukrainy za rivnem zabezpechenosti hidrotermichnymi resursamy ta obsyahamy vykorystannya silskohospodarskykh melioratsii]. Kyiv: Instytut vodnykh problem i melioratsiyi NAAN Ukrainy. [in Ukrainian].
28. *Natsionalni rakhunky Ukrainy za 2018 rik*. [National accounts of Ukraine for 2018. Statistical collection]. (2020). *Statystychnyi zbirnyk*. Kyiv: Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy. [in Ukrainian].
29. Bandoc, G., & Prăvălie, R. (2015). Climatic water balance dynamics over the last five decades in Romania's most arid region, Dobrogea. *Journal of Geographical Sciences*, 25(11), 1307–1327.
30. UkrHMI. (2013). *Rozroblennia stsenariiv zminy klimatychnykh umov v Ukraini na serednota dovhostrokovu perspektyvu z vykorystanniam danykh hlobalnykh ta rehionalnykh modelei* [Development of scenarios for climate change in Ukraine in the medium and long term using data from global and regional models]. *Zvit pro NDR (zakliuchni, 2013)*. Kyiv: UkrHMI. [in Ukrainian].
31. Pasov, V.M. (1986). *Izmenchivost urozhav i otsenka ozhidaemoy produktivnosti zernovyih kultur* [Yield variability and estimation of expected grain productivity.]. L.: Gidrometeoizdat. [in Russian].
32. *Yak zminiuietsia klimat v Ukraini*. [How the climate in Ukraine is changing]. Retrieved from <https://menr.gov.ua/news/34871.html> [in Ukrainian].
33. *Obzor sostoyaniya i tendentsiy izmeneniya klimata v 2019* [Overview of the status and trends of climate change in 2019.]. Retrieved from <http://seakc.meteoinfo.ru/images/seakc/monitoring/seakc-2019v.pdf> [in Russian].
34. European Environment Agency. (2008). *Impacts of Europe's changing climate: 2008 indicator-based assessment (No. 4)*. European Communities.
35. Baumgartner, A., & Liebscher, H.J. (1990). *Lehrbuch der Hydrologie. Allgemeine Hydrologie, quantitative Hydrologie*. Berlin, Stuttgart.
36. Stagl, J., Mayr, E., Koch, H., Hattermann, F.F., & Huang, S. (2014). Effects of climate change on the hydrological cycle in central and eastern Europe. In *Managing Protected Areas in Central and Eastern Europe Under Climate Change* (pp. 31–43). Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7960-0_3
37. Bates, B., Kundzewicz, Z., & Wu, S. (2008). *Climate change and water*. Intergovernmental Panel on Climate Change Secretariat.

38. UCAR Center for Science Education Climate change affects evaporation and precipitation (2011) The Water Cycle and Climate Change. Retrieved from <https://scied.ucar.edu/longcontent/water-cycle-climate-change>

39. SAWR. (2020). Derzhvodahentstvo vpershe mozhe obmezhyty prava vodokorystuvachiv [For the first time, the State Water Agency may restrict the rights of water users]. Retrieved from <https://www.davr.gov.ua/news/derzhvodahentstvo-vpershe-mozhe-obmezhyty-prava-vodokorystuvachiv> [in Ukrainian].

40. Shevchuk, S.A., & Vyshnevskiy, V.I. (2019). Zminy zvolozhenosti Ukrainського Polissya ta yikh naslidky [Changes in humidity of the Ukrainian Polissya and their consequences]. *Ekologia i vyrobnytstvo*, 5, 35. [in Ukrainian].

41. Stepanenko, S.M., Polovyi, A.M. (Ed.). (2011). Otsinka vplyvu klimatychnykh zmin na haluzi ekonomiky Ukrainy: monohrafiya. [Estimation of influence of climatic changes on branch of economy of Ukraine: monograph]. Odessa: Ekologia. [in Ukrainian].

42. 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].

**М.И. Ромащенко, Ю.В. Гусев, А.П. Шатковский, Р.В. Сайдак,
М.В. Яцюк, А.Н. Шевченко, Т.В. Матяш**

Влияние современных климатических изменений на водные ресурсы и сельскохозяйственное производство

Аннотация. Представлены результаты исследований оценки влагообеспеченности территории Украины, состояния водных ресурсов и аграрного производства в современных условиях изменения климата и с учетом прогноза на средне- и долгосрочную перспективы. Установлено, что скорость повышения среднегодовой температуры воздуха в Украине значительно выше по сравнению с соседними постсоветскими странами, глобальными и европейскими масштабами. Установлено, что вследствие устойчивого повышения температурного режима, площадь территории Украины со значительным дефицитом природной влагообеспеченности за период 1990–2015 гг. увеличилась на 7%, а с чрезмерным и недостаточным увлажнением наоборот – уменьшилась на 10%. При условии сохранения существующих темпов потепления к 2050 и 2100 годам территория страны с недостаточным уровнем увлажнения увеличится до 56 и 71% соответственно. Вследствие таких изменений существует высокая вероятность в средне- и долгосрочной перспективе увеличения площадей пашни с недостаточным уровнем увлажнения до 20,6 млн.га (67%) и 24,9 млн.га (80%) с одновременным снижением площадей пахотных земель с достаточным увлажнением до 5,5–1,8 млн.га. В современный период потенциальное суммарное испарение на 40–45 км³/год превышает показатель 1990 года, вследствие этого, несмотря на уменьшение водопотребления, общий объем воды, который отбирается с территории Украины, на 20–25 км³ больше. Дальнейшие климатические изменения будут только способствовать увеличению объемов дополнительного изъятия воды к 2050 г. на 80 км³, а к 2100 г. – почти на 150 км³ в сравнении с 1990 годом. Современные климатические изменения уже имеют значительное влияние на региональные изменения структуры посевов сельскохозяйственных культур и их производительность. Общее по стране увеличение производства зерновых и зернобобовых культур в современный период состоялось лишь за счет более влагообеспеченных регионов – Полесья и Лесостепи. Климатические изменения, которые уже произошли, в настоящее время оказались благоприятными для распространения площадей выращивания наиболее ликвидных культур на север страны, одновременно ограничили их производство на юге страны.

Ключевые слова: водные ресурсы, сельскохозяйственное производство, изменения климата, влагообеспеченность, зонирование, водный баланс, продуктивность.

**M.I. Romashchenko, Yu.V. Husyev, A.P. Shatkovskiy, R.V. Saidak,
M.V. Yatsyuk, A.M. Shevchenko, T.V. Matiash**

Impact of climate change on water resources and agricultural production

Abstract. The research results on the assessment of water supply in the territory of Ukraine, the state of water resources and agricultural production in the current climate change taking into account the forecast for the medium and long-term prospects are highlighted. It was established that the rate of average annual air temperature increase in Ukraine is much higher compared to the neighboring post-Soviet countries and the entire world as well. Due to the steady increase in temperature, the area of Ukraine with a signif-

icant deficit of natural moisture supply for the period 1990–2015 increased by 7%, and with excessive and sufficient moisture, on the contrary – decreased by 10%. If the current rate of warming is kept until 2050 and 2100, the territory of the country with insufficient humidity will increase up to 56 and 71%, respectively. As a result of such changes, there is a high probability for medium- and long-term prospects of increasing arable land with insufficient moisture up to 20.6 million hectares (67%) and 24.9 million hectares (80%) with a simultaneous decrease in arable land with sufficient moisture up to 5.5–1.8 million hectares. Currently, the potential total evaporation by 40–45 km³/year higher than in 1990, so as a result, despite the decrease in water consumption, the total volume of water taken from the territory of Ukraine is 20–25 km³ higher. Further climate change will increase the volume of additional water abstraction by 80 km³ till 2050, and by almost 150 km³ till 2100 compared to 1990. Modern climate change has significantly affected the cropping systems and their productivity at regional level. The general increase in the production of cereals and legumes in the country was only due to more humid regions – Polissya and Forest-Steppe. Climate change, which has already taken place, has been favorable for the spread of the most liquid crops in the north of the country, while limiting their production in the south.

Key words: water resources, agricultural production, climate change, moisture supply, zoning, water balance, productivity.

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202001-234>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/234>

УДК 631.6; 626.8

УЗАГАЛЬНЕННЯ НАУКОВОГО ДОСВІДУ ТА СУЧАСНІ АСПЕКТИ ЙОГО ВИКОРИСТАННЯ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ ВОДОРЕГУЛЮЮЧИХ СИСТЕМ У ЗОНІ ЛІВОБЕРЕЖНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

Г.В. Воропай¹, канд. техн. наук, Н.Б. Молеца², канд. техн. наук, Н.В. Мозоль³

¹ Інститут водних проблем і меліорації НААН, 03022, м.Київ, Україна; <https://orcid.org/0000-0002-5004-0727>, e-mail: voropaig@ukr.net;

² Інститут водних проблем і меліорації НААН, 03022, м.Київ, Україна; <https://orcid.org/0000-0002-3207-2573>, e-mail: sdp_2010@ukr.net;

³ Інститут водних проблем і меліорації НААН, 03022, м.Київ, Україна; <https://orcid.org/0000-0001-7495-4702>, e-mail: moznaz@ukr.net

Анотація. Узагальнено багаторічний науковий досвід досліджень у зоні Лівобережного Лісостепу (на осушувально-зволожувальній системі «Ромен») та визначено сучасні аспекти його використання для наукового забезпечення функціонування водорегулюючих систем та підвищення ефективності використання осушуваних земель в умовах змін клімату. Встановлено, що в умовах Лівобережного Лісостепу (на осушувально-зволожувальній системі «Ромен») отримано значну кількість наукових розробок щодо технологій вирощування сільськогосподарських культур на осушуваних землях, підібрані найбільш урожайні сорти культур та розроблені оптимальні норми внесення добрив при їх вирощуванні, вивчені способи основного обробітку ґрунту з врахуванням ступеня окультуреності ґрунтів, розроблено нові конструкції меліоративних систем (суміщені водорегулюючі системи з безхвильними та малоухильними дренами та водорегулюючими вузлами; локальні контурно-водоакумулюючі системи), які пройшли перевірку у виробничих умовах та ресурсозберігаюча технологія водорегулювання, в основу якої покладено застосування невеликих норм зрошення. На сьогодні для наукового забезпечення ефективного функціонування водорегулюючих систем та використання осушуваних земель у зоні Лівобережного Лісостепу в умовах змін клімату актуальним є використання отриманого досвіду щодо комплексу агротехнічних заходів із вирощування сільськогосподарських культур на осушуваних землях, підвищення водозабезпеченості територій меліоративних систем (застосування контурних водопоглинаючих конструкцій з місцевих фільтраційних матеріалів), ресурсоощадливих технологій регулювання водного режиму, в основу яких покладено обґрунтування доцільності застосування невеликих норм зрошення. Враховуючи набутий науковий досвід багаторічних досліджень, на осушувально-зволожувальній системі «Ромен» проводять регіональні експериментальні дослідження з вирощування перспективних та високопродуктивних кормових культур (пайзи, амаранту та кормових бобів), розроблена технологія їх вирощування на різних типах осушуваних ґрунтів, яка базується на дотриманні оптимальних параметрів водорегулювання та враховує такі чинники як глибина активного шару ґрунту, забезпеченість основними поживними елементами, ступінь кислотності ґрунту та сучасні зміни клімату.

Ключові слова: водний режим, врожайність, меліоративні системи, осушувані землі, сільськогосподарські культури, торфові і мінеральні ґрунти.

Актуальність. Сучасні кліматичні зміни, які спостерігаються у всіх ґрунтово-кліматичних зонах гумідної України, в т. ч. і в зоні Лівобережного Лісостепу, супроводжуються зміною умов вирощування сільськогосподарських культур та, відповідно, трансформують роль водорегулюючих систем. Якщо в 60–80-х рр. ХХ століття осушувальні системи переважно виконували функцію відведення надлишкових вод у весняний період, то на сьогодні ефективно землеробство на осушуваних землях вимагає розширення можливостей меліоративних систем здатністю покра-

щувати вологозабезпечення вирощуваних сільськогосподарських культур упродовж усього періоду вегетації.

Враховуючи чітку тенденцію до подальшого зростання посушливості клімату в Україні і, відповідно, погіршення умов природного вологозабезпечення на все більшій частині її території, а також формування в гумідній зоні не тільки умов перезволоження ґрунтів, але і дефіциту в них вологи впродовж періоду вегетації, зростає потреба та роль водорегулюючих систем у сталому веденні землеробства в умовах кліматичних змін.

© Воропай Г.В., Молеца Н.Б., Мозоль Н.В., 2020

Одночасно завдяки змінам клімату температурний режим гумідної зони став сприятливим для вирощування зернових та зернобобових культур (кукурудза на зерно, соя, соняшник та інші), раніше непритаманних цим регіонам. Середня врожайність зернових і зернобобових культур у зонах Лісостепу та Полісся, на відміну від зони Степу України, в останні 20 років зросла з 3,65 т/га до 4,91 т/га і з 2,98 т/га до 4,3 т/га відповідно [1].

Тому в умовах погіршення природного вологозабезпечення внаслідок зростання дефіциту річного водного балансу через збільшення сумарного випаровування на фоні практично незмінної кількості опадів регулювання водного режиму на осушуваних землях стає не тільки обов'язковою, але і визначальною складовою інтенсивних технологій вирощування сільськогосподарських культур, без наявності яких стає та ефективне землеробство в регіонах із нестійким природним зволоженням стає практично неможливим [2].

Досвід ведення сільськогосподарського виробництва на осушуваних землях свідчить про те, що існуюче наукове обґрунтування меліорації земель не відповідає вимогам сьогодення. Це стосується і використання осушуваних земель Лівобережного Лісостепу. Тому ефективність осушувальних меліорацій і використання меліорованих земель залежить від оптимального поєднання технічних, технологічних та організаційних рішень, які базуються на аналізі та узагальненні набутого досвіду багаторічних досліджень, проведених у цьому регіоні, та розробленні на цій основі методології ведення комплексних меліорацій в сучасних умовах змін клімату та особливостей сільськогосподарського використання осушуваних земель.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Обмаль відповідних досліджень останніх років свідчить про те, що структура сучасного сільськогосподарського використання осушуваних земель Лівобережного Лісостепу внаслідок економічних, соціальних і кліматичних факторів зазнала суттєвих змін, тому вивчення особливостей та використання природної родючості осушених торфових ґрунтів залишається актуальним [3].

До того ж потрібні також дослідження прийомів оптимізації технологічних і внутрішніх умов цього регіону для підвищення ефективності використання природних ресурсів шляхом програмування врожайності культур. В умовах нестійкого природного зволоження на сьогодні є важливою оптимі-

зація зовнішніх умов для вирішення проблеми доцільності розвитку зрошення [4].

В цьому напрямі проводилися дослідження щодо впливу режимів краплинного зрошення на ріст, розвиток та урожайність яблуні [5] та розроблено окремі елементи технології вирощування капусти білоголової на краплинному зрошенні в умовах цієї зони [6].

При використанні осушуваних торфових ґрунтів рекомендовано вирощувати багаторічні трави, що забезпечує високу продуктивність цих угідь [7], а також дозволяє зберегти родючість та знижує темпи їх трансформації. Визначено також, що перспективним є використання торфових ґрунтів для вирощування швидкорослих енергетичних гідрофільних культур [8].

Метою досліджень є узагальнення багаторічних наукових досліджень (на осушувально-зволожувальній системі «Ромен») та визначення сучасних аспектів їх використання для забезпечення ефективного функціонування водорегулюючих систем у зоні Лівобережного Лісостепу в умовах змін клімату.

Матеріали та методи досліджень. Методи досліджень базуються на системному аналізі та узагальненні знань щодо багаторічних наукових досліджень у зоні Лівобережного Лісостепу.

Для узагальнення використані результати багаторічних наукових досліджень за період 1935–2019 рр., які отримані на осушувально-зволожувальній системі «Ромен». Об'єкт розташований на осушеному болоті Ромен, походження і тип якого є характерними для умов Лівобережного Лісостепу України. Територія об'єкту знаходиться на прируслової заплаві в коритоподібній долині р. Ромен. На ній представлені мінеральні ґрунти II надзаплавної тераси з різко вираженими мікропониженнями та глибокі, середні і мілкі торф'яники [9].

Ґрунтоутворювальні породи долини р. Ромен – це алювіальні лесовидні карбонатні суглинки, які є продуктами розмивання та відкладання лесу. Материнськими ґрунтоутворювальними породами надмірно зволжених ґрунтів є лесовидні супіски і суглинки, переважно легкого та середнього механічного складу, а також флювіогляціальні піски з прошарками супісків і суглинків.

Масив заплави складають в основному торфові багатозольні ґрунти (зольність 20–50%). Найбільш поширені тут глибокторфові (торфовий шар 1,5 м та більше) та середньоторфові (торфовий шар 1,0–1,5 м) ґрунти. Мілкі торфові ґрунти зустрічаються серед них острівцями.

Оторфовані ґрунти (зольність 50–85%) займають прируслову смугу лівого берега та периферійні ділянки болота. В місцях переходу від заплави до тераси залягають дернові наносні ґрунти.

В результаті повеней найбільш мінералізованими стали торфові ґрунти прируслової частини і периферійні ділянки заплави.

Для торфових ґрунтів, як і для всіх заплавних земель Лісостепу України, характерна висока щільність складення ґрунту (в порівнянні з ґрунтами Полісся України), оскільки вони при щорічних розливах замулюються значною кількістю мінеральних часток [10].

Проведення комплексу наукових досліджень на осушувально-зволожувальній системі «Ромен» здійснюється на ділянках, де передбачено варіанти осушувальних заходів з використанням матеріального дренажу зі зрошенням; безухильного дренажу з підґрунтовим зволоженням за допомогою шлюзів-регуляторів; традиційного гончарного дренажу; гончарного дренажу з підґрунтовим зволоженням; гончарного дренажу з автоматизованою системою подачі води в гирло дрени при циклічному регулюванні. На території осушувально-зволожувальної системи «Ромен» побудовано акумулюючу ємкість, наповнення якої здійснюється шляхом збору дренажно-скидних вод та самопливом із магістрального каналу (р. Ромен). Подача води на зволоження з ємкості на дослідні ділянки проводиться самопливом.

Результати досліджень та їх обговорення. За понад 80-річний період на осушувально-зволожувальній системі «Ромен» проведено наукові дослідження щодо розроблення основних агрономічних прийомів вирощування сільськогосподарських культур (строки, способи обробітку ґрунту та удобрення, способи сівби, попередники, підбрані сорти, норми висіву) в умовах осушуваних земель зони Лівобережного Лісостепу.

Ці розробки містять обґрунтування доцільності та окремі елементи технологій вирощування малопоширених культур, які мають високу рентабельність та є перспективними для цього регіону: м'яти перцевої (урожайність 4,2 т/га); цикорію (корені 25,0–55,0 т/га); коноплі (соломки 12,0–13,0 т/га, насіння 0,4–0,5 т/га); махорки (2,9–4,3 т/га); коляндри (коріандр, кінза) (0,6 т/га), гармали або садової руті (0,2 т/га); амаранту прямосячого (насіння 0,9 т/га); амаранту різнонасінного (насіння 0,5 т/га); мексиканського томату (фізаліс) (1,8 т/га); топінамбуру (корені 8,9 т/га); маку олійного (насіння 0,5 т/га) та ін.

Розроблено також комплекс агротехнічних заходів вирощування технічних культур в умовах осушуваних земель, зокрема цукрових та кормових буряків (урожайність цукрових коренеплодів становить 45,0–58,0 т/га, кормових – 82,0–98,0 т/га), кукурудзи на силос (урожайність 60,0–80,0 т/га) та картоплі (при повній механізації процесів вирощування урожайність на торфових ґрунтах – 39,5 т/га на мінеральних – 25,2 т/га).

Розроблено та рекомендовано диференційовану систему обробітку ґрунту, яка залежить від потужності торфового шару, ступеня вологості торфу, його розкладу, часу проведення та біологічних особливостей вирощуваних культур. Встановлено, що глибока оранка підвищує врожайність сільськогосподарських культур (до 30%) порівняно з поверхневим способом обробітку ґрунту.

Розроблено та впроваджено в господарствах технології створення сінокосів на осушуваних землях, які базуються на оптимальному виборі високопродуктивних травосумішок багаторічних трав, визначенні способів, строків і норм сівби лучних трав. Ці технології, за умови дотримання оптимального водного режиму ґрунту, дають можливість отримувати високі врожаї багаторічних трав у різних травосумішках (сіна – 11,0–17,0 т/га, зеленої маси – 50,0–70,0 т/га), що дозволяє господарствам мати високоякісні корми [10].

Багаторічний науковий досвід включає також технології використання мінеральних і органічних добрив та проведення передпосівного обробітку насіння вирощуваних культур біопрепаратами, під впливом яких відбувається підвищення активності азотфіксації. Це дозволяє покращити поживний режим ґрунту завдяки формуванню розвиненої кореневої системи рослин та одержати прибавку врожаю від 9% до 22%. Підвищення родючості осушуваних ґрунтів можливе також шляхом включення до сівозміни багаторічних бобових трав, що забезпечує в орному шарі ґрунту бездефіцитний баланс гумусу (валовий вміст азоту становить 110–170 кг/га, фосфору – 46–73 кг/га та калію – 37–61 кг/га). В комплексі зі звичайною оранкою на глибину до 22,0–23,5 см органо-мінеральна система удобрення сприяє підвищенню продуктивності зерно-кормової сівозміни на 40% [9, 11]. Люцернові сівозміни на осушуваних ґрунтах дають змогу підвищити родючість ґрунту та врожайність інших культур у сівозміні при мінімальних дозах фосфорно-калійних добрив [11, 12].

На основі польових досліджень встановлені оптимальні співвідношення внесення сапропелю, мулу, гною і мінеральних добрив та надана економічна та агроекологічна оцінка ефективності їх застосування при вирощуванні різних сільськогосподарських культур на осушуваних землях [10].

Набутий науковий досвід, отриманий за результатами досліджень на осушувально-зволожувальній системі «Ромен», включає також розроблення вдосконалених конструкцій меліоративних систем та технологій регулювання водно-повітряного режиму активного шару ґрунту.

Створено також нові конструкції сумішених водорегулюючих систем із безухильними та малоухильними дренами і водорегулюючими вузлами. Такі системи дають можливість збільшити коефіцієнт земельного використання, підвищити продуктивність механізованих сільськогосподарських робіт, забезпечити оперативність управління водним режимом та підвищити до 25% врожайність сільськогосподарських культур [13].

Розроблено, експериментально перевірено та побудовано в ряді господарств контурно-водоакумулюючі системи для меліорації земель із безстічними пониженнями (локальні контурно-водоакумулюючі системи), які успішно працюють вже понад 25 років. Застосування контурно-водоакумулюючих систем дозволило замінити дренажно-колекторну мережу, дренажні колодязі і відкриті канали контурними водопоглинаючими конструкціями із застосуванням місцевих фільтраційних матеріалів, що забезпечує економію вартості їх будівництва до 60% (залежно від рельєфу та ґрунтово-геологічних умов). Такі системи дозволяють забезпечити оптимальний водно-повітряний режим в активному шарі ґрунту на території із безстічними пониженнями, що дозволяє отримувати стабільні врожаї вирощуваних культур. Важливою перевагою локальних контурно-водоакумулюючих систем є можливість збору, акумуляції і перерозподілу місцевого стоку у водоакумулюючих траншеях і повторне його використання для зволоження в посушливі періоди [14].

На осушуваних землях Лівобережного Лісостепу розроблена та впроваджена ресурсозберігаюча технологія водорегулювання, в основу якої покладено обґрунтування доцільності застосування невеликих норм зрошення. Встановлено, що при її застосуванні можливо забезпечити зменшення на 25–33% витрат водних і енергетичних ресурсів, збільшити на

15–30% урожайність сільськогосподарських культур та збільшити рентабельність господарств до 40% [15].

На сьогодні в умовах змін клімату, які призвели до погіршення умов водозабезпеченості водорегулюючих систем, на осушувально-зволожувальній системі «Ромен» науковцями ІВПіМ НААН продовжуються дослідження з питань підвищення ефективності функціонування водорегулюючих систем та використання осушуваних земель у зоні Лівобережного Лісостепу в умовах змін клімату та відповідно з особливостями сучасного сільськогосподарського використання осушуваних земель.

За результатами наукових досліджень (2014–2015 рр.) розроблена технологія накопичення об'ємів води та дренажного стоку в акумулюючій ємкості, яка апробована на осушувально-зволожувальній системі «Ромен». Результати апробації розроблених технологічних рішень щодо підвищення водозабезпеченості меліорованих територій показали, що в умовах середнього за кількістю опадів вегетаційного періоду 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, поданий на зволоження, складає 21,45 тис. м³.

Отже в умовах змін клімату, зростаючого дефіциту водних ресурсів забезпечення ефективного водорегулювання на осушуваних землях можливе шляхом підвищення водозабезпеченості меліоративних систем завдяки створенню резервних об'ємів води в акумулюючій ємкості за рахунок накопичення поверхневого та дренажного стоку. Підвищення врожайності багаторічних трав на зелену масу в умовах підґрунтового зволоження подачею води в дренажну систему з акумулюючою ємкості становить понад 30% [16, 17].

Враховуючи досвід проведених у попередні роки досліджень щодо вирощування малопоширених культур, які мають високу рентабельність та є перспективними для вирощування в зоні Лівобережного Лісостепу, та розробок щодо комплексу агротехнічних заходів з їх вирощування, на осушувально-зволожувальній системі «Ромен» нині проводяться регіональні експериментальні дослідження з вирощування високопродуктивних кормових культур (пайзи, амаранту та кормових бобів).

За результатами експериментальних досліджень, проведених науковцями ІВПіМ

НААН (2016–2019 рр.) на осушувально-зволожувальній системі «Ромен» розроблено «Методичні рекомендації з вирощування високопродуктивних кормових культур на меліорованих землях гумідної зони». У рекомендаціях висвітлено особливості технологій вирощування пайзи, амаранту та кормових бобів на різних типах осушуваних ґрунтів в сучасних умовах, враховуючи такі чинники як глибина активного шару ґрунту, забезпеченість основними поживними елементами, ступінь кислотності ґрунту та сучасні зміни клімату.

Регулювання водного режиму осушуваних ґрунтів базується на дотриманні оптимальних параметрів водорегулювання при вирощуванні високопродуктивних кормових культур, які забезпечують економію наявних

водних ресурсів, мінімізацію невиробничих скидів води за межі меліорованих територій, раціональне використання природного потенціалу агроландшафтів та стале сільськогосподарське виробництво в роки з різними погодними умовами.

Визначено оптимальні меліоративні режими та технологічні параметри водорегулювання при вирощуванні пайзи, амаранту та кормових бобів на осушуваних землях (таблиця 1). Оптимальні меліоративні режими та технологічні параметри водорегулювання враховують особливості водоспоживання кормових культур, їхні біологічні і господарські характеристики, а також особливості технологій їх вирощування залежно від типу ґрунту [18].

1. Рекомендовані норми вологості ґрунту при вирощуванні високопродуктивних кормових культур (пайзи, амаранту та кормових бобів) на осушуваних землях

Культура	Вологість ґрунту у шарі 0-0,5 м, % від повної вологоємкості			
	торфового		мінерального	
	оптимальна	найменша допустима (у літній період)	оптимальна	найменша допустима (у літній період)
Пайза	70–75	60	65–80	60
Амарант	65–75	55	65–75	55
Кормові боби	70–75	60	65–75	60

Результати наукових досліджень 2019 р. свідчать про те, що на осушувально-зволожувальній системі «Ромен» в умовах вегетаційного періоду оптимальні показники РГВ, вологості та вологозапасів в шарі ґрунту 0–50 см для вирощуваних культур були забезпечені на період сходів-появи справжнього листка. Цей період відмічався позитивною динамікою росту і розвитку пайзи, амаранту, кормових бобів. Починаючи з середини червня вологість в активному шарі ґрунту сягнула нижче допустимих меж (55–60% від ПВ), однак через відсутність необхідних для зволоження об'ємів води в існу-

ючих водних джерелах (акумуляюча ємкість, Карабугівське водосховище) та неможливість проведення зволожувальних заходів оптимальні меліоративні режими до кінця вегетаційного періоду не були забезпечені.

Дотримання оптимальних технологічних параметрів водорегулювання на початку вегетації та на період сходи-поява справжнього листка, який припадає на критичний період їх вирощування (без проведення зволожувальних заходів), забезпечило урожайність цих культур на рівні середніх показників (таблиця 2).

2. Урожайність вегетативної маси пайзи, амаранту та кормових бобів на дослідній ділянці осушувально-зволожувальної системи «Ромен»

Культура	Удобрення	Урожайність вегетативної маси, ц/га			
		2017	2018	2019	середнє
Кормові боби	без добрив	140,83	271,5	285,8	232,6
	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	176,0	317,6	327,0	273,5
Амарант	Без добрив	305,4	413,6	340,0	353,0
	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	350,0	475,0	392,0	405,6
Пайза	Без добрив	421,6	531,3	427,0	459,7
	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	486,6	609,3	517,0	537,7

Результати наукових досліджень останніх років на осушувально-зволожувальній системі «Ромен» свідчать про те, що в сучасних умовах змін клімату на меліорованих територіях Лівобережного Лісостепу покращення умов водозабезпеченості водорегулюючих систем досягається шляхом накопичення резервних об'ємів води в акумулюючих ємкостях. До того ж актуальним для вирішення питань підвищення водності меліорованих територій є застосування конструкцій контурно-водоакumuлюючих систем та використання їх водоакumuлюючої здатності.

На сучасному етапі для реалізації водорегулюючих заходів на осушуваних землях актуальними є адаптація та впровадження ресурсоощадливих технологій регулювання водного режиму, в основу яких покладено доцільність застосування невеликих норм зрошення, що дозволить в умовах лімітованої кількості поверхневого і дренажного стоку економити наявні водні ресурси.

Висновки. Визначено, що за понад 80-річний період проведення наукових досліджень у зоні Лівобережного Лісостепу (на осушувально-зволожувальній системі «Ромен») отримано значну кількість наукових розробок щодо агро меліоративних прийомів та технологій вирощування сільськогосподарських культур на осушуваних землях, обґрунтування доцільності вирощування малопоширених культур та розроблено вдосконалені

технології регулювання водно-повітряного режиму активного шару ґрунту та конструкції меліоративних систем.

Встановлено, що на сучасному етапі для наукового забезпечення ефективного функціонування водорегулюючих систем та підвищення ефективності використання осушуваних земель у зоні Лівобережного Лісостепу є актуальним отриманий досвід щодо комплексу агротехнічних заходів із вирощування сільськогосподарських культур на осушуваних землях, підвищення водозабезпеченості територій меліоративних систем (застосування контурних водопоглинаючих конструкцій з місцевих фільтраційних матеріалів), ресурсоощадливих технологій регулювання водного режиму, в основу яких покладено обґрунтування доцільності застосування невеликих норм зрошення.

Враховуючи набутий науковий досвід багаторічних досліджень, на осушувально-зволожувальній системі «Ромен» проводяться регіональні експериментальні дослідження з вирощування перспективних та високопродуктивних кормових культур (пайзи, амаранту та кормових бобів), розроблена технологія їх вирощування на різних типах осушуваних ґрунтів, яка базується на дотриманні оптимальних параметрів водорегулювання та враховує такі чинники як глибина активного шару ґрунту, забезпеченість основними поживними елементами, ступінь кислотності ґрунту та сучасні зміни клімату.

Бібліографія

1. Стратегія зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 року. Схвалено Кабінетом Міністрів України, 2019. № 688-р.
2. Вплив кліматичних змін на вологозабезпечення території України та виробництво сільськогосподарської продукції / Ромащенко М.І. та ін. // «Вода для всіх»: присвячено Всесвітньому дню водних ресурсів: Міжнар. наук.-практ. конференція: тези доп. Київ, 2019. С. 179–180.
3. Петренко Ю.М., Харченко О.В., Молеца Н.Б. Ефективність використання природної родючості осушених торфових ґрунтів за вирощування очеретянки звичайної при різних рівнях підґрунтових вод // Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: «Агрономія і біологія». 2014. Вип. 9. С. 41–46.
4. Харченко О.В. Ресурсне забезпечення та шляхи оптимізації умов вирощування сільськогосподарських культур у Лісостепу України: монографія. Суми: ВТД «Університетська книга», 2005. 342 с.
5. Павелківський О.В. Вплив режимів краплинного зрошення на водоспоживання, ріст і розвиток молодого яблуневого саду в умовах Лівобережного Лісостепу // Таврійський науковий вісник. 2013. № 84 2013. Ст. 229–234.
6. Чернишенко Т.В., Чефонова Н.В. Вплив способів зрошення та внесення добрив на врожайність і водоспоживання капусти білоголової пізньостиглої у Лівобережному Лісостепу України // Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2010. № 4. Ст. 78–81.
7. Слюсар І.Т., Сербенюк В.О., Сербенюк Г.А. Агро екологічні аспекти способів поліпшення луків та пасовищ на осушуваних органогенних ґрунтах гумідній зоні // Молодий вчений. 2018. Вип. 58. С. 249–253.
8. Торфово-земельний ресурс України (концепція комплексного використання) / за ред. В.П. Ситника, Р.С. Трускавецького. Харків: ННЦ ІГА ім. О.Н. Соколовського». 2010. 71 с.

9. Натальчук А.М. Збереження родючості осушуваних ґрунтів у сучасних умовах // Меліорація і водне господарство. 2009. Вип. 97. С. 94–101.
10. Гімбаржевський В.Р. Освоєння боліт та перезволожених земель у гумідній зоні України // Меліорація і водне господарство. 2004. Вип. 90. С. 133–151.
11. Гімбаржевський В.Р., Кулинич В.В. Ефективність біомеліорації на осушуваних лучних ґрунтах Лівобережного Лісостепу України // Меліорація і водне господарство. 2005. Вип. 92. С. 75–83.
12. Гімбаржевський В.Р., Ярош А. В. Бобово-злакові травосумішки на осушуваних ґрунтах Лівобережного Лісостепу України // Меліорація і водне господарство. 2004. Вип. 91. С. 112–121.
13. Скрипник О.В., Яцик М.В., Чалий Б.І., Ворошнова Л.М., Тищенко О.І. Створення та експлуатація водорегулювальних систем у гумідній зоні // Меліорація і водне господарство. 2004. Вип. 90. С. 124–132.
14. Скрипник О.В., Яцик М.В., Ворошнова Л.М., Молеца Н.Б. Ресурсоощадна меліорація перезволожених земель зі складним рельєфом // Вісник аграрної науки. 2005. № 5. С. 32–35.
15. Яцик М.В., Скрипник О.В., Ворошнова Л.М., Воропай Г.В., Мозоль Н.В. Ресурсоощадна технологія водорегулювання на меліорованих землях у зоні надлишкового зволоження // Меліорація і водне господарство. 2009. Вип. 97. С. 67–76.
16. 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.
17. 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.
18. Яцик Н.В., Воропай Г.В., Кіка С.М. Обґрунтування режимів водорегулювання при вирощуванні високопродуктивних кормових культур на осушуваних землях // Вісник аграрної науки. 2019. № 5. С. 60–67.

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. Romashhenko, M.I., Sajdak, R.V., Matiash, T.V., & Knysh, V.V. (2019). Vplyv klimatychnykh zmin na volohosabespechennia terytoriyi Ukrayiny ta vyrobnytstvo silskogospodarskoyi produktsiyi [Influence of climate change on the water supply of the territory of Ukraine and production of agricultural products]. Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia, prysviachena Vsesvitnomu dnu vodnykh resursiv (voda dlia vsikh). Kyiv, 179-180. [in Ukrainian].
3. Petrenko, Y.M., Kharchenko, O.V., Moleshcha, N.B. (2014) Efektyvnist' vykorystannya pryrodnoyi rodyuchosti osushenykh torfovykh gruntiv za vyroshchuvannya ocheretyanky zvychnoyi pry riznykh rivnyakh pidgruntovykh vod [Efficiency of using natural fertility of drained peat soils for growing common reed at different levels of groundwater] // Visnyk Sums'koho natsional'noho ahrarnoho universytetu. Seriya: «Ahronomiya i biolohiya», 9, 41–46. [in Ukrainian].
4. Kharchenko, O. V. (2005) Resursne zabezpechennia ta shlyakhy optymizatsiyi umov vyroshchuvannya sil'skohospodars'kykh kul'tur u Lisostepu Ukrayiny [Resource provision and ways of optimization of conditions of cultivation of agricultural crops in the Forest-Steppe of Ukraine]: monohrafiya. Sumy: VTD «Universytets'ka knyha», 342. [in Ukrainian].
5. Pavelkivs'kyu, O.V. (2013) Vplyv rezhymiv kraplynnoho zroshennia na vodospozhyvannya, rist i rozvytok molodoho yablunevoho sadu v umovakh Livoberezhnoho Lisostepu [Influence of drip irrigation regimes on water consumption, growth and development of a young apple orchard in the conditions of the Left-Bank Forest-Steppe] // Tavriys'kyu naukovyy visnyk, 84. 229–234. [in Ukrainian].
6. Chernyshenko, T.V., Chefonova, N.V. (2010) Vplyv sposobiv zroshennia ta vnesennia dobryv na vrozhaunist' i vodospozhyvannya kapusty biloholovoyi pizn'ostyhloyi u Livoberezhnomu Lisostepu Ukrayiny [Chernyshenko TV, Chefonova NV Influence of irrigation and fertilizer application methods on yield and water consumption of late white-headed white cabbage in the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine] // Visnyk Poltavsk'oyi derzhavnoyi ahrarnoyi akademiyi, 4, 78–81. [in Ukrainian].
7. Slyusar, I.T., Serbenyuk, V.O., Serbenyuk, H.A. (2018) Ahroekolohichni aspekty sposobiv polipshennia lukiv ta pasovyshch na osushuvanykh orhanohennykh gruntakh humidniy zoni

[Agroecological aspects of ways to improve meadows and pastures on drained organogenic soils in the humid zone] // *Molodyy vchenyy*, 58, 249–253. [in Ukrainian].

8. Torfovo-zemel'nyy resurs Ukrayiny (kontseptsiya kompleksnoho vykorystannya) [Peat-land resource of Ukraine (the concept of integrated use)] / za red. V.P. Sytnyky, R.S. Truskavets'koho (2010). Kharkiv: NNTS» IHA im. O.N. Sokolovs'koho», 71. [in Ukrainian].

9. Natalchuk, A.M. (2009). Zberejennia rodutshosti ocuchuvanuh gruntiv v sutshacniuh umovah [Preservation of fertility of drained soils in modern conditions]. *Reclamation and water management*, 97, 94–101. [in Ukrainian].

10. Himbarzhevskiy, V.R. (2004). Osvoynennya bolit ta Perezvolozhenykh zemel u humidniy zoni Ukrayiny [Development of marshes and wetlands in the humid zone of Ukraine]. *Melioratsiya i vodne hospodarstvo*, 90, 133–151. [in Ukrainian].

11. Himbarzhevskiy, V.R., & Kulynych, V.V. (2005) Efektyvnist biomelioratsiyi na osushuvanykh luchnykh gruntakh Livoberezhnoho Lisostepu Ukrayiny [Efficiency of biomelioration on the drained meadow soils of the Left Bank Forest Steppe of Ukraine]. *Melioratsiya i vodne hospodarstvo*, 92, 75–83. [in Ukrainian].

12. Himbarzhevskiy, V.R., & Yarosh, A.V. (2004). Bobovo-zlakovi travosumishky na osushuvanykh gruntakh Livoberezhnoho Lisostepu Ukrayiny [Bean-grass mixtures on the drained soils of the Left Bank Forest Steppe of Ukraine]. *Melioratsiya i vodne hospodarstvo*, 91, 112–121. [in Ukrainian].

13. Skrypnyk, O.V., Yatsyk, M.V., Chalyi, B.I., Voroshnova L.M., & Tyshenko, O.I. (2004). Stvorennya ta ekspluatatsiya vodorehulyvalnykh system u humidniy zoni. [Creation and operation of water regulation systems in the humid zone]. *Melioratsiya i vodne hospodarstvo*, 90, 124–132. [in Ukrainian].

14. Skrypnyk, O.V., Yatsyk, M.V., Voroshnova L.M., & Moleshcha, N.B. (2005) Resursooshchadna melioratsiya Perezvolozhenykh zemel zi skladnym relyefom [Resource-saving land reclamation of wetlands with complex relief]. *Visnyk ahrararnoyi nauky*, 5, 32–35. [in Ukrainian].

15. Yatsyk, M.V., Skrypnyk O.V., Voroshnova L.M., Voropay, G.V., & Mozol, N.V. (2009). Resursooshchadna tekhnolohiya vodorehulyuvannya na meliorovanykh zemlyakh u zoni nadlyshkovooho zvolozhennya [Resource-saving technology of water regulation on reclaimed lands in the zone of excess moisture]. *Melioratsiya i vodne hospodarstvo*, 97, 67–76. [in Ukrainian].

16. Yatsyk, M.V., Voropay, G.V., & Moleshcha, N.B. (2016). Pidvyshhennia vodosabespechenosti meliorativnykh system humidnoyi sony [Improvement of water supply of amelioration systems of humid zone]. *Melioratsiya i vodne hospodarstvo*, 103, 63–68. [in Ukrainian].

17. Voropay, G.V., Yatsyk, M.B., & Mozol, N.V. (2019). Suchasnyy stan ta perspektyvy rozvytku osushival'nykh melioratsiy v umovakh zmin klimatu [Current state and the prospects of development of drainage reclamation in a changing climate]. *Melioratsiya i vodne hospodarstvo*, 2, 31–39. [in Ukrainian].

18. Yatsyk, M.B., Voropay, H.V., & Kika, S.M. (2019). Obhruntuvannya rezhymiv vodorehulyuvannya pry vyroshchuvanni vysokoproduktyvnykh kormovykh kul'tur na osushuvanykh zemlyakh [Justification of regimes of water regulation at growing highly productive forage crops on sewed lands]. *Visnyk ahrararnoyi nauky*, 5, 60–67. [in Ukrainian].

Г.В. Воропай, Н.Б. Молеца, Н.В. Мозоль

**Обобщение научного опыта и современные аспекты его использования
для обеспечения эффективного функционирования водорегулирующих систем
в зоне Левобережной Лесостепи Украины**

Аннотация. Обобщен многолетний научный опыт исследований в зоне Левобережной Лесостепи (на осушительно-увлажнительной системе «Ромэн») и определены современные аспекты его использования для научного обеспечения функционирования водорегулирующих систем и повышения эффективности использования осушаемых земель в условиях изменений климата. Установлено, что в условиях Левобережной Лесостепи (на осушительно-увлажнительной системе «Ромэн») получено значительное количество научных разработок по технологиям выращивания сельскохозяйственных культур на осушаемых землях, подобраны наиболее урожайные сорта культур и разработаны оптимальные нормы внесения удобрений при их выращивании, изучены способы основной обработки почвы с учетом степени окультуренности почв, разработаны новые конструкции мелиоративных систем (совмещенные водорегулирующие системы с безуклонными и малоуклонными дренами и водорегулирующими узлами, локальные контурно-водоаккумулирующие системы), которые прошли проверку в производственных условиях, и ресурсосберегающая технология водорегулирования, в основе которой применение небольших норм орошения. На сегодняшний день для

научного обеспечения эффективного функционирования водорегулирующих систем и использования осушаемых земель в зоне Левобережной Лесостепи в условиях изменений климата актуальным является использование полученного опыта по комплексу агротехнических мероприятий выращивания сельскохозяйственных культур на осушаемых землях, повышение водообеспеченности территорий мелиоративных систем (применение контурных водопоглощающих конструкций из местных фильтрационных материалов), ресурсосберегающих технологий регулирования водного режима, в основе которых обоснованное применение небольших норм орошения. Учитывая полученный научный опыт многолетних исследований на осушительно-увлажнительной системе «Ромэн», проводятся региональные экспериментальные исследования по выращиванию перспективных и высокопродуктивных кормовых культур (пайзы, амаранта и кормовых бобов), разработана технология их выращивания на разных типах осушаемых почв, которая основана на поддержании оптимальных параметров водорегулирования и учитывает такие факторы как глубина активного слоя почвы, обеспеченность основными питательными элементами, степень кислотности почвы и современные изменения климата.

Ключевые слова: водный режим, урожайность, мелиоративные системы, осушаемые земли, сельскохозяйственные культуры, торфяные и минеральные грунты.

G.V. Voropay, N.B. Molescha, N.V. Mozol

Generalization of scientific experience and modern aspects of its use to ensure the effective functioning of water-regulating systems in the Left Bank Forest Steppe of Ukraine

Abstract. Long-term scientific experience of research in the area of the Left Bank Forest Steppe (on the drainage-irrigation system «Romen») is summarized and modern aspects of its use for the scientific support of the functioning of water-regulating systems and increase of the productivity of drained lands under climate change were determined. It was specified that for more than 80 years of scientific researches in the conditions of the Left Bank Forest Steppe it was received a considerable amount of scientific developments on the technologies of crop cultivation on the drained lands (including a resource-saving water regulation technology when applying small irrigation rates), selected the most productive varieties of crops and calculated optimal fertilizer rates for their cultivation, studied the methods of basic soil cultivation, taking into account the degree of cultivated soils, developed new design of drainage systems (combined water regulating systems with straight and low-slope drains and water regulating units; local contour water accumulating systems) that have been tested in a production environment. and resource-saving water regulation technology, which is based on the use of small irrigation rates. For today, to scientifically ensure the effective functioning of water regulation systems and the use of drained lands in the Left Bank Forest-Steppe under climate change, it is important to use the experience gained on a set of agronomic measures for growing crops on drained lands and improving water supply of reclamation systems (application of contour water-absorbing constructions made of local filtration materials), resource-saving technologies of water regime regulation, which are based on substantiation of expediency of application of small norms of irrigation. filtration materials), resource-saving technologies of water regime regulation, when applying small irrigation rates. Taking into account the gained scientific experience of long-term researches, on the drainage-irrigation system «Romen» regional experimental researches on cultivation of perspective and highly productive forage crops (barnyard grass, amaranth and forage beans) are carried out. The technology of their cultivation on various types of drained soils, which is based on the observance of optimal parameters of water regulation and takes into account such factors as the depth of active soil layer, the availability of basic nutrients, the degree of soil acidity and current climate change has been developed.

Key words: water regime, yield, reclamation systems, drained lands, agricultural crops, peat and mineral soils.

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202001-226>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/226>

UDC 631.43:556.166

EVALUATING HYDRAULIC PROPERTIES OF SOILS: A MANAGEMENT STRATEGY TOWARDS FIGHTING THE 21ST CENTURY FLOOD DISASTER

M.S. Adiaha¹, E.E. Oku²

¹ Permanent Scientist, Department of Planning, Research, Extension & Statistics, Nigeria Institute of Soil Science (NISS); <https://orcid.org/0000-0002-2645-3687>, e-mail: mondaysadiaha@mail.com, sundaymonday@niss.gov.ng;

² Scientist, Department of Soil Science, University of Abuja; <https://orcid.org/0000-0002-5043-6457>, e-mail: eessienoku@gmail.com

Abstract. *The continual destruction of the environment due to anthropogenic and natural factors has played a role in increasing global flood disaster, acting like a hindrance in meeting the target of global sustainability. Flood has been looked at as an overland flow of water into land which is naturally dry after filling-up of natural open and close water holding bodies. The impact caused by flood disaster has been recorded and include death of humans and animals, apart from the massive destruction of properties and infrastructures, thereby limiting human development. Looking at land and water as a scarce and unrenewable natural resources, then it follows that effective management of land and water resources is one way a society can maximize its economic growth and development. Studying the flux of fluid especially water into the soil profile is a great approach in investigating a soil towards the tendency for flooding. Infiltration is the key to soil water conservation and management. The ability of the soil to act as a sponge in-order to cut-down the raising cases of loss of lives and property with associated impact due to flood disaster lies on its infiltration capacity. The study evaluated the strength of soils of University of Abuja Flood meadows to absorb hydrological shock as flood. Outcome of the study revealed that dry land of University of Abuja flood meadow is able to absorb reasonable quantity of water as flood, with coefficient of variability value of (CV=12%) for the hydraulic conductivity of the site. While bulk density of the area was found to be (2.30 g cm⁻³) and Porosity of (8%). Conclusion of the study states that most of the sites investigated have a weak hydrological potential in regards to adsorbing and transporting of the water down the soil profile, hence the area should be put to vegetation cover to reduce the flooding impact, alongside an advance drainage system in the area.*

Keyword: hydrology, soil infiltration, water flux, vegetation, water.

1. Introduction

1.1 Background of the Study

Human-kind has experienced several challenges including flooding. Flood is defined as a very large amount of water that has overflowed from a source as a river, a pond or a broken pipe to cover a previously dried area (Oku and Aiyelari, 2011). With the increasing frequency in the impact of climate change the manse of flood has been severe here-and-there, especially in the tropical regions (IPCC, 2000). Flooding occurs when soil and vegetation of an area is unable to absorb the volume water released through rainfall or water bodies overflow (Hume, 1993, Ogban et al., 2000)

Damages caused by flood have been reported globally to include: crop loss, destruction of lives and properties, distortion of economic activities and the psychological trauma associated with the disaster. Flooding is one of the major environmental crises one has to contend with within the 21st century. Floods are among the most devastating natural disaster in the world, claiming more

lives and causing more property damage than any other natural phenomena (UNFCCC, 2009).

Flood events have been frequent during the last decade, causing loss of lives, extensive damage to properties, including houses, destruction of transport infrastructures, agricultural land degradation, breakdown in educational system and food production (NEMA, 2008).

The number of reported flood disaster in Nigeria has been huge, especially during the rains. The Federal Capital Territory of Nigeria have experienced its own share of flood cases, with several cases of loss of human (NEMA, 2008) lives. Against the increasing disaster due to flood, this study aimed at evaluating the infiltration behavior (hydrological property) of soils in-order to prepare against flood shock.

2. Materials and methods

2.1 The Study Area

University of Abuja lies at Latitude Abuja is 8°.95' 43" and Longitude is 7°.07' 47". University of Abuja is located in sub-locality

of Gwagwalada a times can record extreme maximum temperature which varies from 37°C in the south west (Bida) to about 30°C in the north-east (Jos) (NIMET, 2009). The two distinct

seasons within the zone are rainy and dry season. The parent material of the area is characterized by the presence of stones, gravel with ironstone sand to loamy texture.

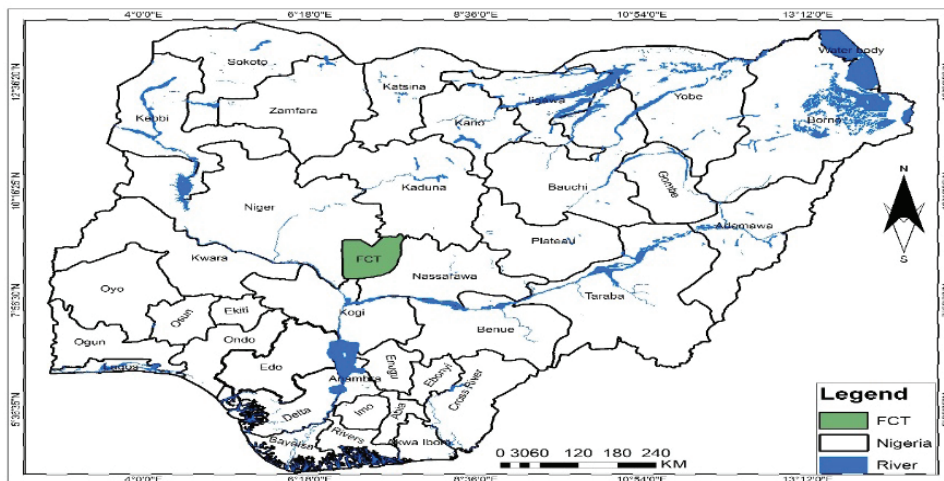


Figure 1. Extrapolated map of Abuja from the map of Nigeria

2.2 Study site Description

The study was conducted at the University of Abuja flood-meadow at a topo-sequence. These flood-meadow are among the major source of dry season vegetable crops for the local farmers.

2.3 Site Selection and Soil Sampling

Flood meadows areas were surveyed along the Giri River, and the following were selected:

1. Cultivated flood meadow with code (CM)
2. Dried Land (Control) with code (C)
3. Fallowed flood meadow with code (FM)

2.4 Experimental Procedures

Two replicate infiltration runs was carried out in all the site selected. The experimental set up is presented in Figure 2 and 3.

2.5 Infiltration Experimentation and Modelling

The double ring infiltrometer method was used (Anderson and Ingram, 1989). Infiltration model as proposed by Philip (1957) and Kostikov (1932) were used. They are represented by the following equations:

$$I = C t \alpha; \tag{1}$$

$$I = S t^{1/2} + A t, \tag{2}$$

where *I* – Cumulative infiltration (cm);
t – time (minute);
A – transmissivity or adsorptivity (miⁿ⁻¹ or cm hr⁻¹);
C – Initial infiltration (cm);
α – Index of stability of soil structure upon wetting;
S – Sorptivity.

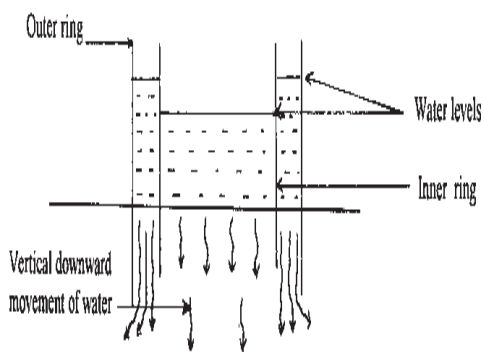


Figure 2. Double ring Infiltrometer experiment



Figure 3. Infiltration experiment with soil infiltrometer

2.6 Estimation of Infiltration Characteristics

Optimal values of the parameters of the two models were estimated using regression module of the GENSTAT package. To estimate the Kostiakov model parameters, the cumulative infiltration and time data were subjected to a non-linear regression analysis ($z = kt^a$) to find the parameters k and a . Using the final infiltration rate, the cumulative infiltration and time data were subjected to a non-linear regression analysis ($z - ft = kt^a$) to determine parameters k and a for the modified Kostiakov model. The Philip's model parameters were estimated by subjecting the cumulative infiltration and time data to a linear regression analysis ($zt - 0.5 = S + At0.5$) to find the parameters S and A .

2.7 Fitting infiltration models

The infiltration data were analyzed according to the model of Kostiakov (1932) using Equation 1

and Philip (1957) using Equation 2 as these two models are frequently used in the humid forest zone to characterize infiltration.

Results and discussion

Analysis as presented in (Table 1 and Figure 4 shows infiltration behavior on the flood meadows. The trend of infiltration characteristics differed with the different landuse with slope positions. Infiltration of water into the soil along the toposequence was lowest on the fallowed area of the meadow, presenting a view that soil bulk density could enhance high infiltration rate in the soils, this view was also made in the work of Oku and Aiyelari. The flooding treatments exerted significant influence on the investigated hydrological property of the different landuse. The flux in hydrological strength of the soils occurred at an unequal rate, this could be attributed to the different topo-unit of the sites, this view confirms the study of Wu et al (1997; Pagliai, 1988; Oku et al., 2010; Suleiman and Ritchie2001).

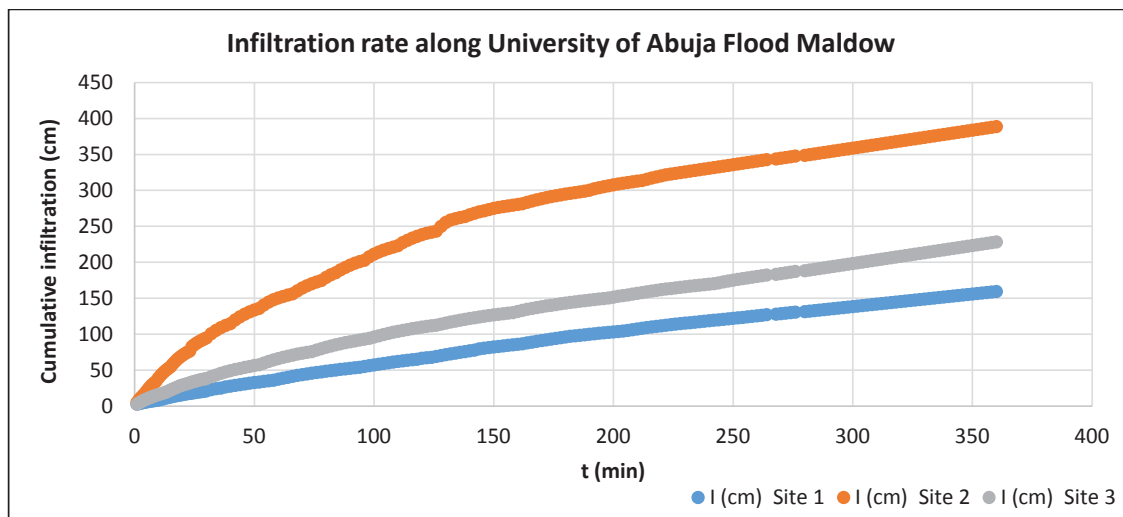


Figure 4. Hydraulic Behavior of the meadow soils of University of Abuja

1. Infiltration behavior along Flood meadows

Site	Slope Position	Philip Model				Kostiakov Model				i Initial Infiltration (cm/min)	I Cumulative Intake (cm/360 mins)
		A	S	R ²	r	C	$\hat{\alpha}$	R ²	r		
CM	Foot slope	0.346	2.206	0.984	0.564	0.802	0.162	1	0.184	0.8	84.2
C	Middle slope	0.46	14.351	0.527	0.569	0.659	0.966	0.982	0.171	2	248.5
FM	Foot slope	0.387	5.139	0.931	0.656	0.725	0.516	0.999	0.268	1.2	126.1
X		0.398	7.232	0.814	0.596	0.729	0.548	0.994	1.333	152.933	
STD		0.047	5.174	0.204	0.042	0.058	0.329	0.008	0.043	69.707	
CV (%)		12	72	25	7	8	60	1	21	37	46

Where: X = mean, SD = Standard deviation, CV = coefficient of variability, SE = Standard error, A = absorptivity, S = transmissivity, C = Index of initial infiltration, $\hat{\alpha}$ = index of soil stability, R² = Correlation Model, r = correlation coefficient

2. Infiltration behavior along Flood meadows

Site	Hydraulic Conductivity (cm/hr)	Model	R ²	Bulk density (gcm ⁻³)	Porosity (%)
CM	0.346	0.432+12.009	0.9909	2.16	18
C	0.46	0.9717+86.05	0.9177	2.30	8
FM	0.387	0.588+27.78	0.9797	1.83	31

R² = Correlation Model, r = correlation coefficient

Conclusions and recommendations. The outcome of the study shows that the soils of the Flood meadows have low ability to infiltrate water into the soil profile. And for the area to be safe in the case of six hours continuous ponding from rain, irrigation or water overflow then evaluation of resident is advice. It could also be said that since the dried land (control site) indicated a highest water flux, it means that if proper drainage

system is perform in the area then cases of water overflow in the area could be minimized if not eradicated. Outcome of this investigation shows that the fallowed land absorbed water than the cultivated land, and thus it could be concluded that for disaster due to flood to be minimized in the area such area with similar characteristics should be left on their natural vegetation or planted to grass like vetiver for cover.

References

1. Oku, E, & Aiyelari, A. (2011). Predictability of Philip and Kostiakov Infiltration Models under Inceptisols in the Humid Forest Zone, Nigeria, *Kasetsart J. (Nat. Sci.)*, 45, 594–602.
2. Wu, L., Pan., Robertson, M., & Souse, (1997). Numerical evaluation of ring infiltrometer under various soil conditions. *Soil Sci*, 162, 771–777.
3. National Emergency Management Agency, NEMA. (2008). Flooding in Nigeria Urban centers. Retrieved from: <http://nema.gov.ng/category/press-room/events/#>
4. IPCC. (2000). *Climate Change 2014: Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge.
5. UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). (2009). Report of the Conference of the Parties on its fifteenth session, held in Copenhagen, December 7–19, 2009. Addendum. Part Two: Action Taken by the Conference of the Parties at its Fifteenth Session. FCCC/CP/2009/11/Add.1. United Nations Framework Convention on Climate Change.
6. Hume, I.H. (1993). Determination of infiltration characteristics by volume balance border check irrigation. *Agric. Water Managemnet*, 23, 23–30.
7. Ogban, P.L., O. Madeakor and I.P. Akwe. 2000. Infiltration characteristics and erosion potentials of catenary soils in Southeastern. Nigeria, pp. 90–93. In O. Babalola, (ed.). *Proceedings of the 26th Annual Conference of the Soil Science Society of Nigeria*. Nigeria: Ibadan.
8. Pagliai, M. (1988). Soil Porosity Aspects. *Intern. Agrophysics*, 4, 215–232.
9. Oku, E.E., Babalola, O. and Essoka, A. N. (2010). Profile Distribution of Some Physical Properties and Infiltration Behaviour along a Paleustalfs Toposquence in South Western Nigeria. *Tropical Agriculture (Trinidad)*, Vol. 87 (1), 1–10.
10. Suleiman, A.A and Ritchie, J.T. (2001). Estimating Saturated Hydraulic Conductivity from Soil Porosity. *American Society of Agricultural Engineers*, 44 (2), 1–5.

М.С. Адіаха, Е.Е. Оку

Оцінювання вологопровідності ґрунтів: стратегія управління для боротьби з катастрофічними повенями 21-го століття

Анотація Постійне руйнування навколишнього природного середовища внаслідок антропогенних та природних факторів відіграло роль у зростанні кількості катастрофічних повеней по всьому світу, виступаючи перешкодою для досягнення мети глобальної стійкості. Повінь розглядається, як затоплення поверхні землі, яка природно є сухою, після заповнення природних відкритих та закритих водойм. Катастрофічні повені, окрім масового знищення об'єктів інфраструктури, спричиняють загибель людей і тварин, тим самим обмежують людський розвиток. Якщо дивитися на землю та воду, як на обмежені та не відновлювані природні ресурси, то впливає, що ефективне управління земельними та водними ресурсами – це один із способів, яким суспільство може досягти максимального економічного зростання та розвитку. Вивчення потоку рідини, особливо води, у ґрунтового профілі є чудовим підходом для дослідження ґрунту щодо механізмів

затоплення. Інфільтрація є ключем до збереження та управління ґрунтовими водами. Здатність ґрунту виступати в ролі губки, щоб зменшити випадки катастрофічних повеней, які призводять до людських та майнових втрат, полягає в його здатності до інфільтрації. У дослідженні було оцінено міцність лучних ґрунтів Університету Абуджі, які потерпають від повеней для визначення поглинання гідрологічного шоку при повені. За результатами дослідження було виявлено, що сухі угіддя заплави Університету Абуджі здатні поглинати розумну кількість повеневих вод зі змінним коефіцієнтом ($CV = 12\%$) для гідропровідності ділянки. Встановлено, що об'ємна щільність ґрунту ділянки складала $2,30 \text{ г/см}^3$ і пористість – 8% . У висновках дослідження зазначено, що більшість досліджуваних ділянок має слабкий гідрологічний потенціал щодо адсорбції та транспортування води вниз за ґрунтовим профілем, отже, ця територія майже завжди повинна бути вкрита рослинним покривом для зменшення впливу повеней, разом з ефективним функціонуванням дренажної системи, яка розміщена поблизу.

Ключові слова: гідрологія, інфільтрація ґрунту, водяний потік, рослинність, вода.

М.С. Адиаха, Е.Е. Оку

Оценка влагопроводности почв: стратегия управления для борьбы с катастрофическими наводнениями 21-го века

Аннотация. Постоянное разрушение окружающей среды в результате антропогенных и природных факторов повлияло на количество катастрофических наводнений по всему миру, выступая препятствием для достижения цели глобальной устойчивости. Наводнение рассматривается, как затопление поверхности земли, которая естественно является сухой, после заполнения естественных открытых и закрытых водоемов. Катастрофические наводнения, кроме массового уничтожения объектов инфраструктуры, вызывают гибель людей и животных, тем самым ограничивают развитие общества. Если смотреть на землю и воду, как ограниченные, но не возобновляемые природные ресурсы, то следует, что эффективное управление земельными и водными ресурсами – это один из способов, которым общество может достичь максимального экономического роста и развития. Изучение потока жидкости, особенно воды, в почвенном профиле является прекрасным подходом для исследования почвы по механизмам затопления. Инfiltrация является ключом к сохранению и управлению ґрунтовими водами. Способность почвы выступать в роли «губки», чтобы уменьшить случаи катастрофических наводнений, которые приводят к человеческим и имущественным потерям, заключается в ее способности к инfiltrации. В исследовании оценивали стойкость луговых почв Университета Абудже, которые страдают от наводнений для определения поглощения гидрологического шока при наводнении. По результатам исследования было выявлено, что сухие угіддя поймы Университета Абудже способны поглощать разумное количество паводковых вод с переменным коэффициентом ($CV = 12\%$) для гидравлической проводимости участка. Установлено, что объемная плотность почвы участка составляла $2,30 \text{ г/см}^3$ и пористость – 8% . В выводах исследования отмечено, что большинство исследуемых участков имеют слабый гидрологический потенциал по адсорбции и транспортировке воды вниз по ґрунтовым профилям, следовательно эта территория почти всегда должна быть покрыта растительным покровом для уменьшения влияния наводнений, вместе с эффективным функционированием дренажной системы, которая размещена поблизости.

Ключевые слова: гидрология, инfiltrация почвы, водный поток, растительность, вода.

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202001-219>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/219>

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

СИСТЕМНА МОДЕЛЬ ІНТЕГРОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ВОДНИМИ РЕСУРСАМИ Р. ІНГУЛЕЦЬ ЗА БАСЕЙНОВИМ ПРИНЦИПОМ

П.І. Ковальчук¹, докт. техн. наук, Р.Ю. Коваленко², канд. техн. наук, М.В. Яцок³, канд. геогр. наук, В.П. Ковальчук⁴, докт. техн. наук, О.С. Демчук⁵, канд. техн. наук, Г.А. Балихіна⁶, 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 Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-6185-577X>, e-mail: romchik89@ukr.net

³ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-5535-715X>, e-mail: mv_yatsiuk@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

⁶ Національна академія аграрних наук України, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-5571-3556>, e-mail: maslova-anna@ukr.net

Анотація. Розроблена системна модель для інтегрованого управління водними ресурсами басейну р. Інгулець, що відповідає вимогам Водної рамкової Директиви ЄС про встановлення економічно ефективного водокористування із забезпеченням доброго або відмінного екологічного стану річок. Структурно-функціональна схема системної моделі включає підсистеми: подачі води каналом Дніпро-Інгулець; промивки р. Інгулець з Карачунівського водосховища та витіснення призми солоних вод в р. Дніпро; екологічної безпеки при скидах забруднень у р. Інгулець; подачі води на зрошення в Інгулецьку зрошувальну систему, попередження засолення та осолонцювання ґрунтів. Розроблено систему технологічних, економічних та екологічних критеріїв оцінки інтегрованого управління за басейновим принципом. Технологічні критерії визначають підтримання рівнів води у водосховищах. Екологічні критерії включають витіснення призми солоних вод та обмеження на якість води, забезпечення доброго екологічного стану річки. Економічно ефективно водокористування оцінюється за критерієм динаміки витрат водних ресурсів на промивку річки та на зрошення. Інтегроване управління здійснюється за підсистемами, за видами управління та за системою критеріїв. Система інтегрованого управління в басейні р. Інгулець включає оперативне управління водними ресурсами та управління структурою. Для вибору оптимальної структури системи управління пропонується сценарний аналіз. Проводиться імітаційне моделювання варіантів сценаріїв на основі оперативного управління. Для цих цілей формалізовано балансові різницеві рівняння водообміну у водосховищах, двошарову модель динаміки водних мас, відповідно поширення, змішування забруднюючих речовин при промивках річок із водосховищ. Оптимізація варіантів сценаріїв здійснюється за принципом Парето. Наводиться приклад оцінювання ефективності запропонованої системи управління і її порівняння з існуючим регламентом промивки р. Інгулець.

Ключові слова: балансові різницеві рівняння, водообмін, інтегроване управління, критерії оцінки, промивка річок, системна модель.

Постановка проблеми. Басейн річки, як складна система, належить до найважливіших об'єктів системного управління в природокористуванні. В роботах [1, 2] обґрунтовано впровадження басейнового принципу управління, за якого річковий басейн виступає як основна одиниця управління і який є «системою з усталеними екологічними, соціальними та економічними зв'язками» [3]. Особливість таких систем полягає в тому, що вони описують об'єкти, які мають принципово

нові властивості, а саме: ієрархічність, структурну організованість, адаптивність, керованість в умовах невизначеності та ризику, багатокритеріальність в оцінках функціонування. Це означає, що управління цією системою не можна здійснити окремими аналітичними чи статистичними методами, а слід розглядати її як цілісну соціо-еколого-економічну систему [4], узгодження управлінських рішень якої досягається застосуванням методології системного управління [5]. Відповідно до

© Ковальчук П.І., Коваленко Р.Ю., Яцок М.В., Ковальчук В.П., Демчук О.С., Балихіна Г.А., 2020

Директиви ЄС розробка планів управління річковим басейном забезпечує встановлення економічно ефективного водокористування з досягненням доброго або відмінного екологічного стану річок.

Актуальність дослідження. Для інтегрованого управління водними ресурсами в басейнах річок в Україні наявна правова база [6]. Проте відсутній інструментарій системного моделювання та вибору структури управління в басейні ріки за екологічними й економічними критеріями, що відповідає створенню систем управління водними ресурсами за умов сталого розвитку. Отже актуальним завданням є розробка системної моделі інтегрованого управління водними ресурсами басейну р. Інгулець.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Важливою особливістю системного управління водними ресурсами за басейновим принципом є наявність інтегрованих підходів [7]. Виділено кілька таких підходів, зокрема інтегроване управління за рівнями ієрархії та за видами управління, інтегрування за водними, земельним та технологічними ресурсами [8]. Адаптація інтегрованих підходів повинна базуватися на положеннях Директиви ЄС [9], в якій передбачено інтегрування за економічними та екологічними цілями, що обумовлено парадигмою сталого розвитку [10]. Екосистемний підхід [7] передбачає вдосконалення моніторингових досліджень аналізу якості води за методикою екологічної оцінки [11] за нормативами для питного водопостачання [12] та для зрошення [13, 14] із використанням нейронної мережі.

Екологічне оздоровлення річок досягається промивкою з водосховищ їх 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 [19, 20, 21].

Мета досліджень – створити системну модель інтегрованого управління водними ресурсами р. Інгулець, за якою проводиться сценарне моделювання варіантів технологічних рішень, їх оцінювання та оптимізація економічних критеріїв ефективного водокористування за екологічних обмежень і критеріїв досягнення доброго або відмінного екологічного стану річкового басейну.

Матеріали і методи. В системній моделі застосовується як інструментарій метод декомпозиції басейну ріки на підсистеми, аналіз підсистем і композиції їх у цілісну модель інтегрованого управління за басейновим принципом. Для вдосконалення моніторингу пропонуються телекомунікаційні методи передачі даних [22]. Застосовується метод сценарного аналізу, який на першому рівні ієрархії здійснює імітаційне моделювання перспективних сценаріїв управління, на другому рівні – варіанти оцінюються за критеріями економічно ефективного водокористування із забезпеченням екологічних цілей та нормативних обмежень. Для імітаційного моделювання формалізується система балансових різницевоїх рівнянь динаміки водних мас, змішування та поширення забруднень у річках і водосховищах. Розроблена система комбінованого управління басейном річки за застосування імпульсного методу промивки русел річок [23]. Багатокритеріальна оптимізація варіантів структури управління здійснюється за принципом Парето [24].

1. Методологія і моделі

1.1. Структурно функціональний підхід. Системний аналіз, як інструментарій, дозволяє застосувати структурно-функціональний підхід для інтегрованого управління басейном річки. Проте кожен басейн має свою специфіку і підсистеми, які повинна відобразити модель інтегрованого управління (рис. 1).

Розроблено структурно-функціональну схему системної моделі р. Інгулець, виділені структурні підсистеми, такі як (рис. 2): I – підсистема подачі води каналом Дніпро-Інгулець, подача води по руслу річки і наповнення Карачунівського водосховища; II – підсистема промивки р. Інгулець із Карачунівського водосховища з витісненням призми солоних вод в р. Дніпро; III – підсистема екологічної безпеки (при скидах стоків підприємствами-забруднювачами у р. Інгулець); IV – підсистема подачі води на зрошення в Інгулецьку зрошувальну систему, попередження засолення та осолонцювання ґрунтів.

Функціональні підсистеми включають: формалізацію критеріїв управління та системи моніторингу, систему оперативного управління та балансові моделі; сценарне моделювання та вибір оптимальних варіантів структури управління за принципом Парето (рис. 2).

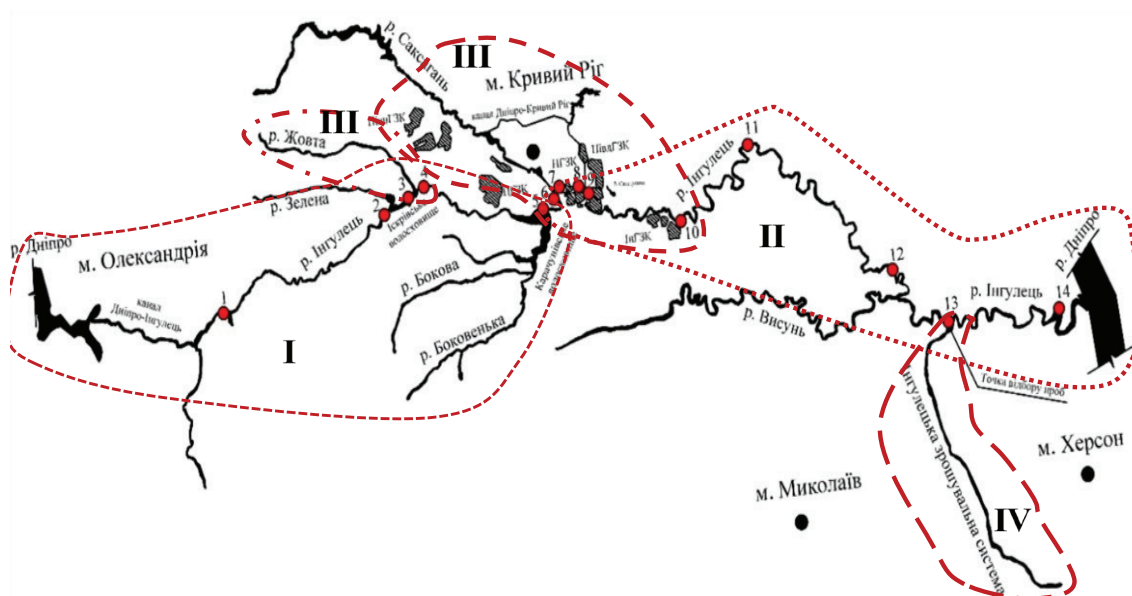


Рис. 1. Структурна схема басейну р. Інгулець за виділеними підсистемами

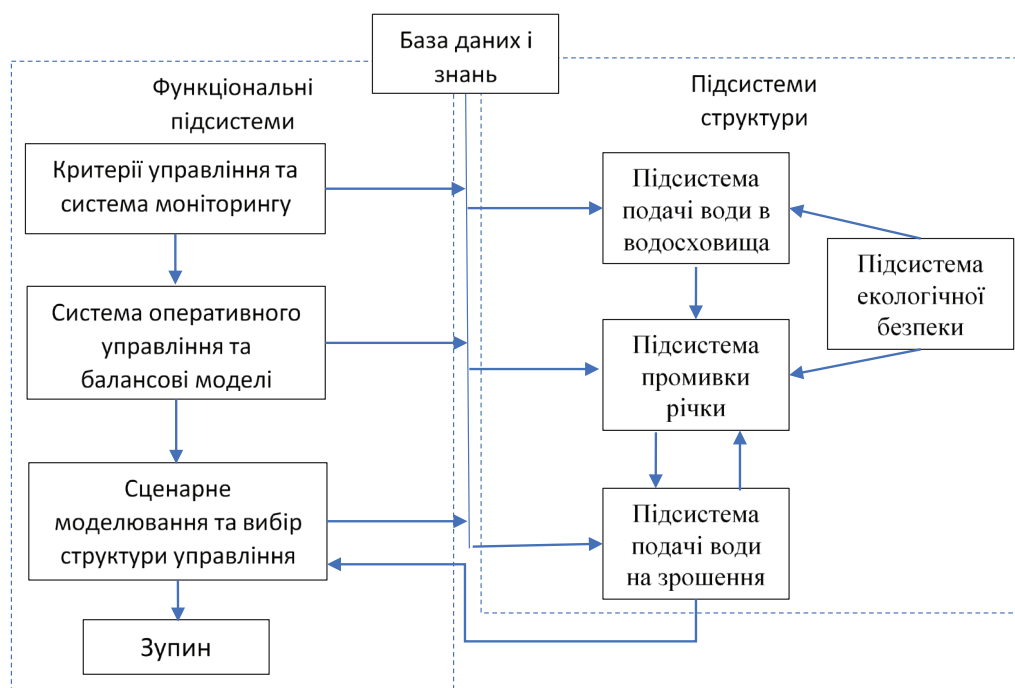


Рис. 2 Структурно-функціональна блок-схема басейну р. Інгулець

1.2. Критерії управління та система моніторингу

Критерії управління. Технологічний критерій $F_1(x, t)$ визначає підтримання рівня води у водосховищі в заданих межах:

$$H_2(t) \leq F_1(x, t) \leq H_1(t), \quad (1)$$

де $H_1(t), H_2(t)$ – нижній та верхній рівні води в процесі її використання.

Економічні критерії $F_{2i}(T)$ математично визначаються як сумарні витрати води за час T на подачу водоспоживачам або на промивку річки:

$$F_{2i}(T) = \int_0^T Q_i(x_i(t), U_i(t)) dt, \quad i = 1, \dots, n, \quad (2)$$

де Q_i – нелінійна функція витрат води для об'єкта $x_i(t) \in X$, управління $U_i(t) \in U$ в момент часу $t \in (0; T)$.

Екологічний критерій $F_{31}(x(t), Q(t))$ виражає міру ризику виносу забруднюючих речовин на заплаву в деякій точці $x(t)$ при витратах $Q(t)$ в момент часу t :

$$F_{31}(x(t), Q(t)) = R(x(t), Q(t)), \quad (3)$$

де R – деяка функція міри ризику, що залежить від витрат води з водосховища $Q(t)$.

Формалізуються також екологічні попуски $Q(t) \geq C(x, t)$, що перевищують деяку величину стоку річки. Для оздоровлення річок визначаються витрати води при промивках, що забезпечують неповернення призми солоних вод до водозаборів. До того ж враховують також екологічні цілі, задані як обмеження на якість води або як критерії досягнення доброго екологічного стану річки:

$$F_{4j}(x, t) \leq C_j, \quad j = 1, \dots, k, \quad (4)$$

де $F_{4j}(x, t)$ – екологічні критерії, C_j обмеження на показники якості води за чинними нормативами в моменти $t \in [0; T]$ в точках вимірювання x .

Враховуючи, що якість води для зрошення характеризується згідно з нормативними документами за екологічними та агрономічними критеріями, а класи за цими критеріями визначаються на основі обмежень у вигляді нерівностей (порогових елементів), то логіко-математичну модель нейрона для разових концентрацій показника можна представити:

$$A(S_{ij}) = \begin{cases} \text{Іклас} - \text{"Придатна"}, \text{ якщо } P_{ij}^1 \leq S_{ij} \leq P_{ij}^2, \\ \text{Іклас} - \text{"Обмежено придатна"}, \text{ якщо } P_{ij}^2 < S_{ij} \leq P_{ij}^3, \\ \text{Іклас} - \text{"Непридатна"}, \text{ якщо } P_{ij}^3 < S_{ij} \leq P_{ij}^4, \end{cases} \quad (5)$$

де $i=1, 2$ оцінки відповідно за екологічними або агрономічними критеріями;

$j \in [1; n_1] \cup [1; n_2]$ – порядковий номер екологічних або агрономічних критеріїв, n_1, n_2 відповідна їх кількість;

$P_{ij}^1, \dots, P_{ij}^4$ – обмеження для класифікації показників; $A(S_{ij})$ – визначає клас показника, R – вирішуючі функції у вигляді векторів.

Реалізація екосистемного підходу здійснюється на основі нейронної мережі (рис. 3)

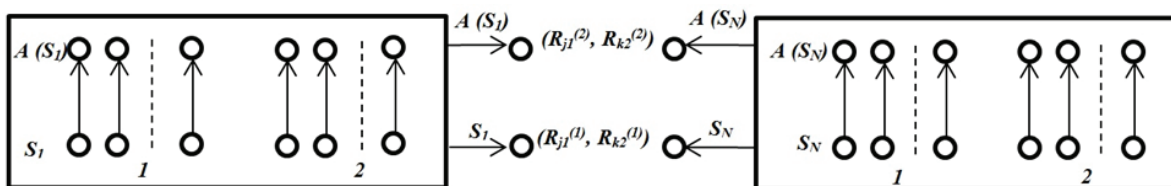


Рис. 3. Оцінювання якості води для зрошення за ансамблем нейронів

через вимірювання в просторі і часі значень показників, послідовним їх графічним аналізом уздовж русла річки [6].

1.1. Система управління басейном річки. Для вибору оптимальної структури системи управління пропонується сценарний аналіз. Проводиться імітаційне моделювання сценаріїв на основі систем оперативного управління водними ресурсами. Оптимізація варіантів систем управління здійснюється за економічними та екологічними критеріями за використання принципу Парето.

У підсистемі подачі води каналом Дніпро-Інгулець здійснюється управління рівнем води і наповнення Карачунівського водосховища за критерієм підтримки рівнів води (1). Промивка потрібна для витіснення в р. Дніпро призми солоних вод, яка утворюється внаслідок забруднень підприємствами між греблею водосховища та с. Андріївка (рис. 1). Результатом промивки має бути досягнення доброго екологічного стану річки за критеріями (3)–(4) та подача води задовільної якості на Інгулецьку зрошувальну систему.

Як показує практика, промивка в системі комбінованого управління здійснюється витісненням призми високомінералізованих вод без значного їх перемішування. Якщо призма мінералізованих вод витіснена за пункт відбору, то через один-два дні вода набуває нормативної якості. В таких випадках імпульс із великими витратами води можна скоротити на певне число діб, що призводить до економії водних ресурсів. Завдяки економії певної кількості води визначається розімкнута лінія управління. Це позиційна складова (рис. 4), яка задається плануванням послідовності в часі імпульсів із їх витратами з водосховища і корегується в процесі управління.

Прийняття рішень про черговий імпульс приймається за функцією, що оцінює управляючі впливи на основі вхідних і вихідних значень одночасно, тобто використовується обернений зв'язок:

$$Q(x, t_{n+1}) = F(V_i(t_n), S_i(t_n), V_j(t_n), S_j(t_n), Q(x, t_n)), \quad (6)$$

де $Q(x, t_{n+1})$ – витрати (імпульс) у наступний $n+1$ момент часу;

V_j, S_j – концентрації хлору у верхньому і нижньому шарах у пункті перед водозабором;
 V_i, S_i – концентрації у верхньому і нижньому шарах у пункті водозабору;
 $Q(x, t_n)$ – витрати в попередній момент часу з водосховища;
 F – функція, що визначає алгоритм прийняття рішень;
 B – водосховище;
 q_1, q_2, \dots, q_n – неконтрольовані витрати води з дифузних та точкових джерел;
 P_1, P_2 – значення концентрацій в пунктах відбору проб перед водозабором та біля головної насосної станції;
 ЗС – пункт забору води на зрошувальну систему чи для промислових потреб;
 СПМВ – стан призми мінералізованих вод;
 БППР – блок підтримки прийняття рішень;
 А – позиційна складова комбінованої системи управління;
 УкД-І – управління каналом Дніпро-Інгулець.

Система управління басейном р. Інгулець передбачає створення диспетчерського пункту при заборі води на Інгулецьку зрошувальну систему. Виникає необхідність оперативного збору і передачі даних на основі застосування телекомунікаційних технологій [22]. Для реалізації алгоритму БППР використовують дані про подачу води каналом Дніпро-Інгулець, рівні води в Карачунівському водосховищі та витрати води з водосховища, якість водних ресурсів у пунктах забору с. Андріївка та при подачі на Інгулецьку зрошувальну систему, стан призми мінералізованих вод (рис. 4).

При виборі сценаріїв управління басейном річок застосовують інтегрований підхід за екологічними та економічними цілями [7]. Вибір варіантів структури в системі управління передбачає оптимізацію економічних цілей:

$$\left\{ \int_0^T F_1(X(t+1), U(t)) dt, \dots, \int_0^T F_n(X(t+1), U(t)) dt \right\} \rightarrow \max, \quad (7)$$

де F_1, \dots, F_n – економічні критерії, які визначаються як сумарні витрати на інтервалі T , для оцінювання кількості та якості водних ресурсів;
 $X(t)$ та $U(t)$ – відповідно стани системи та управління в момент t .

До того ж, безумовно, на інтервалі керування T враховують екологічні цілі, задані як обмеження або як критерії досягнення доброго екологічного стану системи басейну річки:

$$\begin{cases} F_{n+1}(X(t+1), U(t)) \leq C_{n+1}(t); \\ F_p(X(t+1), U(t)) \leq C_p(t), \end{cases} \quad (8)$$

де F_{n+1}, \dots, F_p – екологічні критерії, $C_{n+1}(t), C_p(t)$ обмеження в моменті $t \in [0; T]$ для досягнення доброго або відмінного екологічного стану.

1.4. Моделювання руху води та поширення забруднень. Для імітаційного моделювання сценаріїв управління пропонуються балансові моделі, що базуються на рівнянні динаміки та збереження мас води і забруднюючих речовин. Водообмін у водосховищі відбувається так, що частина

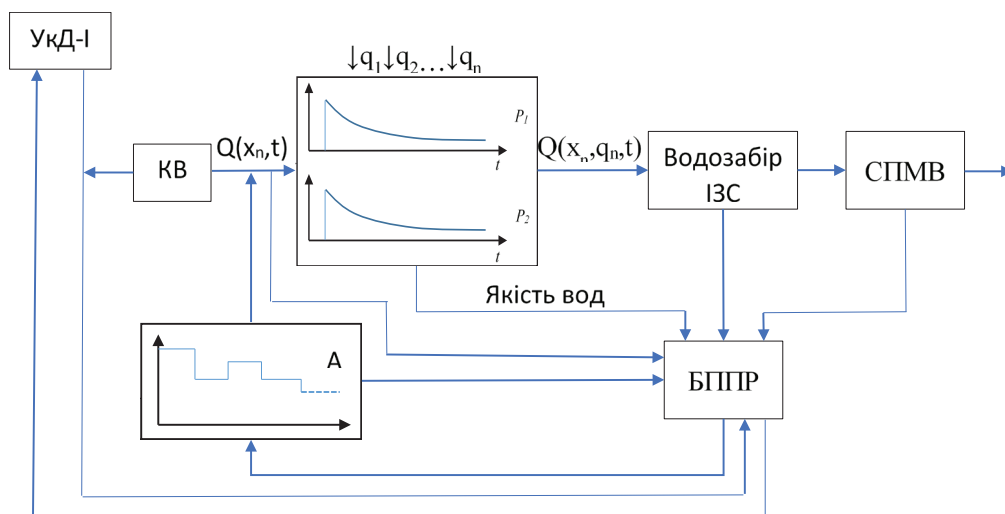


Рис. 4. Схема системи управління басейном р. Інгулець

забрудненої води витісняється потоком води з каналу:

$$W_i^{n+1} = W_i^n + q_i^n - p_i^n - E_i^n, \quad n=1, \dots, N \quad (9)$$

де W_i^{n+1} , W_i^n – об'єм водних ресурсів у водосховищі в $n+1$ -й і n -й моменти часу в i -й комірці;
 q_i^n – об'єм водних ресурсів, що надходять з каналу та приток у водосховище;
 p_i^n – об'єм водних ресурсів, що відбираються з водосховища;
 E_i^n – випаровування з водної поверхні;
 i – кількість комірок.

Концентрація речовини в n -й момент часу в i -й комірці в результаті змішування визначається за формулою:

$$U_i^{n+1} = \frac{w_i^n u_i^n + q_i^n c_i^n - p_i^n s_i^n}{W_i^{n+1}}, \quad (10)$$

де $w_i^n u_i^n$ – об'єм водних ресурсів w_i^n з концентрацією u_i^n , що знаходяться в i -й комірці в n -й момент часу;
 $q_i^n c_i^n$ – об'єм водних ресурсів q_i^n , що надходять із каналу у водосховище з певною концентрацією c_i^n в i -й комірці та n -й момент часу;
 $p_i^n s_i^n$ – об'єм водних ресурсів p_i^n , що відбирають із водосховища, з певною концентрацією s_i^n в i -й комірці та n -й момент часу.

В результаті промивки взаємодіють процеси витіснення забруднених вод та процеси перемішування води верхнього шару з нижнім. Для адекватного відображення неусталеного повільно змінюваного руху водного потоку у відкритих руслах (з урахуванням швидкостей руху різних шарів води та підйомної сили потоку у верхньому шарі) розглянуто двошарову різницеву модель, яка описує рух води у верхньому шарі потоку (де рух відбувається зі значною швидкістю) та динаміку потоку в придонному шарі (де відбувається рух повільно змінюваного потоку).

Використовуються балансові рівняння [6] потоку води у верхньому шарі, що визначає нерозривність потоку, у вигляді:

$$W_i^{n+1} = r(W_i^n + q_i^n) + (1-r)(W_{i-1}^n + q_{i-1}^n), \quad (11)$$

$$0 \leq r \leq 1; \quad i = 1, \dots, N,$$

де W_i^n , W_{i-1}^n – об'єми води в n -й момент часу в i -й та $i-1$ -й комірці;
 q_i^n , q_{i-1}^n – об'єми води в n -й момент часу в i -й та $i-1$ -й комірці, що надходять із бічного притоку або фільтруються з ґрунтовими водами; W_i^{n+1} – водні ресурси в i -й комірці в $n+1$ -й момент часу;

r – коефіцієнт, що залежить від швидкості потоку (при $r=0$, водні маси з i -й комірки переходять за визначений момент часу цілком в $i+1$ -у комірці, при $r=1$ – повністю стояча вода);

N – кількість комірок (для р. Інгулець взято $N = 336$).

Очевидно, що при $0 < r < 1$ – частина води залишається в i -й комірці, інша частина надходить з $i-1$ -й комірки. В сценарії 1 взято $r = 0,02$

Балансові рівняння потоку води в нижньому шарі задаються у вигляді:

$$D_i^{n+1} = D_i^n \mu + p_i^n \mu + (1-\mu)(D_{i-1}^n + p_{i-1}^n), \quad 0 \leq \mu \leq 1 \quad (12)$$

де D_i^n , D_{i-1}^n – водні ресурси, що надходять з i -ї та $i-1$ -ї комірок нижнього шару;
 D_i^{n+1} – водні ресурси в i -й комірці в $n+1$ -й момент часу;
 p_i^n , p_{i-1}^n – водні ресурси, які надходять у нижній шар із приток або фільтруються з ґрунту;
 μ – коефіцієнт швидкості руху води (при $\mu = 1$ – стояча вода;
 $\mu = 0$ – все надходить з $i-1$ -ої комірки).

Неусталений рух води задається за допомогою змінних у часі граничних умов у верхньому шарі. Цим же способом задається інтенсивність імпульсу промивки при послідовності імпульсів.

Балансові рівняння динаміки та збереження мас забруднюючих речовин побудовані так, що здійснюється перемішування нижнього та верхнього шару з певною інтенсивністю λ , підняття водних мас із нижнього шару у верхній з певною концентрацією забруднень у нижньому шарі та опускання відповідних водних мас з верхнього шару в нижній з концентрацією забруднень, які знаходяться у верхньому шарі.

Результуюча модель передбачає, що концентрація в $n+1$ -й момент часу в i -й комірці, в результаті змішування у верхньому шарі визначається за формулою:

$$U_i^{n+1} = \frac{rW_i^n U_i^n + r q_i^n C_{q_i}^n + (1-r)W_{i-1}^n U_{i-1}^n + (1-r)q_{i-1}^n C_{q_{i-1}}^n + \lambda D_i^n S_i^n - \lambda D_i^n U_i^n}{W_i^{n+1}}, \quad (13)$$

де $rW_i^n U_i^n$ – водні ресурси rW_i^n з концентрацією U_i^n в i -й комірці (в n -й момент часу);
 $r q_i^n C_{q_i}^n$ – водні ресурси $r q_i^n$, які поступили з притоки чи з ґрунтових вод із концентрацією $C_{q_i}^n$ в i -ту комірці;

$(1-r)W_{i-1}^n U_{i-1}^n$ – водні ресурси $(1-r)W_{i-1}^n$ із концентрацією U_{i-1}^n в i -й комірці; $(1-r)q_{i-1}^n C_{q_{i-1}}^n$ – водні ресурси $(1-r)q_{i-1}^n$, що надійшли з $i-1$ -ої комірки в дану комірку з притоки чи з ґрунтових вод із концентрацією $C_{q_{i-1}}^n$. Між верхнім і нижнім шаром іде водообмін: із нижнього шару надходять у верхній шар водні ресурси λD_i^n із концентрацією S_i^n і опускаються в нижній шар водні ресурси $-\lambda D_i^n$ з концентрацією U_i^n . Величина λ характеризує інтенсивність водообміну між верхнім та нижнім шаром.

Концентрація в $n+1$ -й момент часу в i -й комірці нижнього шару визначається за формулою:

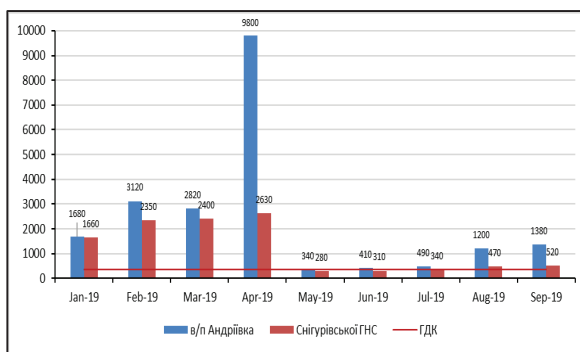
$$S_i^{n+1} = \frac{\mu D_i^n S_i^n + \mu p_i^n R_i^n + (1-\mu) D_{i-1}^n S_{i-1}^n + (1-\mu) p_{i-1}^n R_{i-1}^n - \lambda D_i^n S_i^n + \lambda D_i^n U_i^n}{D_i^{n+1}}, \quad (14)$$

де $\mu D_i^n S_i^n$ – водні ресурси μD_i^n із концентрацією S_i^n , що залишилися в i -й комірці; $\mu p_i^n R_i^n$ – водні ресурси μp_i^n із концентрацією R_i^n , що надходять із ґрунту з ґрунтовими водами або з притоку річки (μ – коефіцієнт, при $\mu \rightarrow 0$, швидкість потоку зростає, при $\mu \rightarrow 1$, швидкість потоку зменшується до нуля); $(1-\mu) D_{i-1}^n S_{i-1}^n$ – водні ресурси, що надійшли з $i-1$ -й комірки з концентрацією S_{i-1}^n ; $(1-\mu) p_{i-1}^n R_{i-1}^n$ – водні ресурси $(1-\mu) p_{i-1}^n$ з концентрацією R_{i-1}^n , що надходять в $i-1$ -й комірку з притоку або з ґрунтових вод; $-\lambda D_i^n S_i^n$ – водні ресурси $-\lambda D_i^n$ з концентрацією S_i^n , що надходять ввєрх, у верхній шар (знак «мінус» означає убування з нижнього шару); $\lambda D_i^n U_i^n$ – водні ресурси, що надходять із верхнього шару в нижній з концентрацією U_i^n .

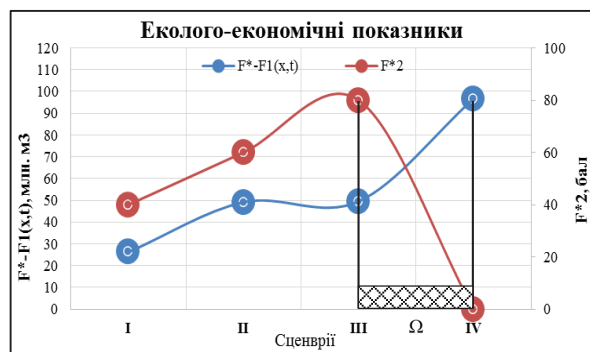
2. Моделювання управління та результати аналізу. Для реалізації системної моделі інтегрованого управління водокористуванням вибрано басейн р. Інгулець (рис. 1). Рівень води в Карачунівському водосховищі підтримується за рахунок поповнення води з каналу Дніпро-Інгулець та природнього стоку річки. Якість води у водосховищі задовільна, відбір здійснюється для питних потреб м. Кривий ріг та промивки річки. Промивка потрібна для витіснення в р. Дніпро призми солоних вод, яка утворюється внаслідок забруднень підприємствами між греблею водосховища та с. Андріївка (рис. 1). Результатом промивки повинно бути також досягнення доброго екологічного стану річки та подача води задовільної якості на Інгулецьку зрошувальну систему.

Проте існуючий метод управління без оберненого зв'язку не забезпечує в окремі періоди задовільну якість води на зрошення (рис. 5, а), є економічно затратним. Проведено сценарний аналіз варіантів [6] інтегрованого управління промивкою річки за системою критеріїв (рис. 5, б).

Вибрано, за принципом Парето, оптимальний сценарій III, що передбачає оперативне управління промивкою річки за вмістом токсичних іонів аніон-хлору (рис. 6) для запобігання негативного процесу засолення ґрунту в умовах зрошення. За даним сценарієм вдосконалюється екологічна складова промивки так, що на першому етапі протягом 7 днів подається невеликий імпульс із наростаючою витратою від 5 до 20 м³/с. Це забезпечує промивку русла без виходу штучного паводка на заплаву. Для оперативного управління використовується імпульсний метод. При цьому задається план імпульсів промивки, який корегується контуром оберне-

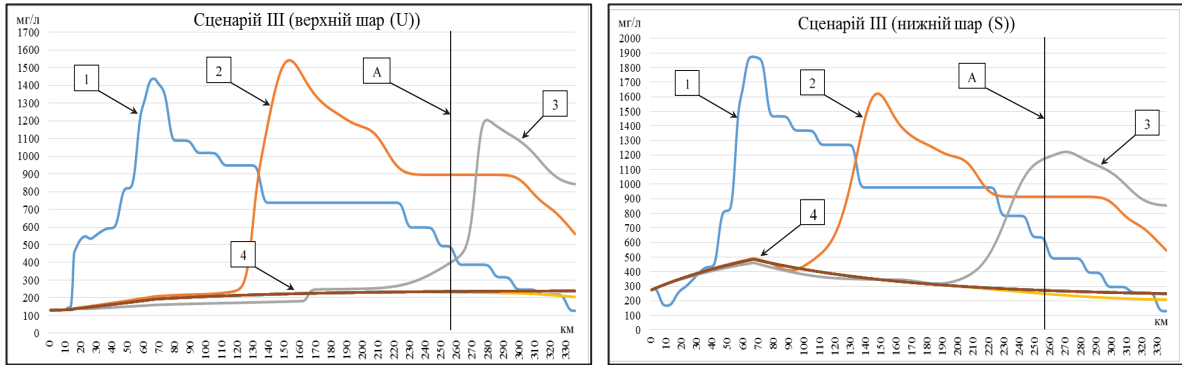


а)



б)

Рис. 5. Якість води за показником аніон-хлору пункт с. Андріївка та перед водозабором на Інгулецьку ЗС у 2019 р. (а), принцип вибору оптимальних за Парето варіантів управління (б)



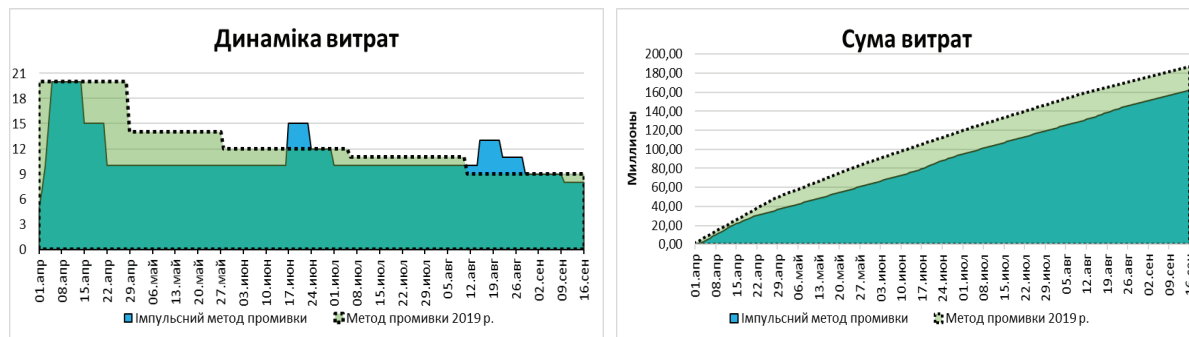
а) б)

Рис. 6. Динаміка забруднень Si^- у верхньому (а), нижньому (б) шарах в процесі промивки при сценарії III в різні моменти часу: 1 – 1-й день; 2 – 7-й день; 3 – 15-й день; 4 – 30-90-і дні (усталений режим)

ного зв'язку в системі комбінованого управління за результатами вимірювань якості води в пункті с. Андріївка та в точці її відбору на Інгулецьку зрошувальну систему. Сценарій управління враховує середньодакдні об'єми заборів води на зрошення.

Порівняно з існуючим у 2019 р. способом промивки без оберненого зв'язку в системі комбінованого управління якості води залишається в межах ГДК. За економічним крите-

рієм запропонована система комбінованого управління використовує лише 160 млн. м куб. води для промивки річки, а існуюча система значно більше – 190 млн. м. куб (рис. 7). Рекомендується збільшити термін промивки з 1 квітня по 15 вересня. Порівняльний аналіз двох методів промивки показав більшу ефективність методу з оберненим зв'язком за екологічними критеріями та за величиною відборів води на промивку і зрошення (рис. 7).



а) б)

Рис. 7 Динаміка витрат води (а) та об'ємів (б) води при різних методах управління промивкою

Висновки. Найповніше інтегроване управління водними ресурсами за басейновим принципом дозволяє здійснити системна модель. Структурно-функціональна схема моделі передбачає поділ басейну річки Інгулець на підсистеми, взаємозв'язок між якими забезпечує цілісний розгляд такої системи для прийняття управлінських рішень. Формалізована система критеріїв інтегрованого управління дозволяє підтримувати баланс води у водосховищах за технологічними показниками, за еколо-

гічними – контролювати витрати води для промивки річки, проведення екологічних попусків та підтримки задовільної якості води в точках водозаборів, за економічними критеріями – проводити оцінювання і вибір оптимальних сценаріїв управління.

Модель сценарного аналізу дозволяє вибрати найбільш ефективний за екологічними та економічними критеріями варіант промивки річки. Імпульсний метод у системі управління є інструментарієм для реалізації найбільш ефективного сценарію за економічними

критеріями витрат водних ресурсів, забезпечуючи добрий екологічний стан та оздоровлення річки за якістю води.

Рекомендується застосовувати інтегрований підхід для вибору структури управління водними ресурсами в басейні річки за системою технологічних, економічних та екологічних критеріїв, вибирати систему управління промивкою річки на основі сценарного екосистемного аналізу варіантів,

визначати оптимальний варіант за принципом Парето.

Порівняльний аналіз запропонованого методу промивки з оберненим зв'язком у системі комбінованого управління, на відміну від існуючого в 2019 р. способу промивки, показав економію 30 млн. м куб. води та можливість забезпечити потрібну якість водних ресурсів (не перевищення ГДК) протягом вегетаційного періоду.

Бібліографія

1. Dukhovny, V., Sokolov, V., Manthrilake, H.: *Integrated Water Resources Management: Putting Good Theory into Real Practice. Central Asian Experience. SIC ICWC, Tashkent* (2009).
2. Шашук В., Яцик А. Україна на шляху до басейнового принципу управління водними ресурсами // *Водне господарство України*, 2007. № 4. С. 6–10.
3. 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
4. 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.
5. Згуровський М.З., Панкратова Н.Д. *Основи системного аналізу*. Київ: Видавнича група ВНУ, 2007. 544 с.
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. 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.
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. 2018, № 1(107). С. 17-23. DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg201801-115>
9. 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.
10. 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.
11. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / Романенко В.Д. та ін. Київ: Символ-Т. 1988. 28 с.
12. ДСТУ 4808:2007 Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні та екологічні вимоги щодо якості води і правила вибирання. К.: Держспоживстандарт України, 2007.
13. ДСТУ 7286:2012 Якість природної води для зрошення. Екологічні критерії. Київ: Мінекономрозвитку України, 2013. 14 с. (Національний стандарт України).
14. ДСТУ 2730:2015. Якість природної води для зрошення. Агрономічні критерії. Київ: ДП «УкрНДНЦ» України. 2016. 14 с. (Національний стандарт України).
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. «Environmental assessment accelerated Mahaweli development program» in US Agency for International Development, New York: TAMS, pp. 389, (1980).

18. «Investigation of Options to increase the flood mitigation performance of Wivenhoe Dam», Final Report. Brisben: GHD, pp. 146 (2011).
19. Бабій П.О., Лисюк О.Г. Рукотворна повінь на р. Рось // Водне господарство України. 2010. № 5. С. 4–6.
20. Бурлака В.О. Промивка р. Інгулець у 2011 році // Водне господарство України. 2011. № 5. С. 17–18.
21. Kovalchuk Pavlo, Balykhina Hanna, Kovalenko Roman, Demchuk Olena, & Rozhon Viacheslav (2018). Information technology of the system control of water use within river basins. *Advances in Computer Science for Engineering and Education*, 123–132. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-91008-6_13
22. Войтович О.П., Ковальчук В.П. Розвиток моніторингових досліджень вологості ґрунту для забезпечення керування зрошенням експериментально-розрахунковим методом // Меліорація і водне господарство. Київ. 2019, Том 2. С. 113–120.
23. Ивахненко А.Г., Пека П.Ю., Востров Н.Н. Комбинированный метод моделирования водных и нефтяных полей. Киев: Наук. думка. 1984. 151 с.
24. Подиновский В.В., Ногин В.Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. Москва: Наука, 1982. 253 с.

References

1. Dukhovny, V., Sokolov, V., & Manthrilake, H. (2009). *Integrated Water Resources Management: Putting Good Theory into Real Practice. Central Asian Experience. SIC ICWC*, Tashkent
2. Stashuk, V.A. & Yatsyk, A.V. (2007). *Ukraine na shlyahu do baseynovoho pryntsyphu upravlinnia vodnymy resursamy* [Ukraine is on the way toward the basin principle of water resources management]. *Vodne hospodarstvo Ukrainy*, 4, 6–10. [in Ukrainian].
3. Klymchuk, O. M., Pinkina, T. V. & Pinkin, A. A. (2018). *Vprovadzhennia systemy integrovanoho upravlinnia vodnymy resursamy za baseynovym pryntsepom* [Adaptation of the integrated water resources management system based on the basin principle]. *Scientific Journal Science Rise*, 4(45), 36–40. [in Ukrainian].
4. Kovalchuk, P.I. & Kovalchuk V.P. (2015). *Systemne upravlinnia yak rozvytok integrovanoho upravlinnia vodnym rezhymom 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].
5. Zghurovs`kyi, M.Z., & Pankratova, N.D. (2007). *Osnovy systemnoho analizu* [Fundamentals of system analysis]. Kyiv: Vydavnycha grupa VNV. [in Ukrainian].
6. *Zakon Ukrainy «Pro vnesennia zmin do deiakyh zakonodavchyh aktiv Ukrainy shchodo vprovadzhennia integrovanyh pidhodiv v upravlinni vodnymy resursamy za baseynovym 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., 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]
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. *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.
10. *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].
11. Romanenko, V.D. (1988). *Metodyka ekolohichnoi otsinky yakosti poverkhnevyykh vod za vidnovidnymy kategoriyamy*. [The methodology of ecological assessment of surface water quality according to the relevant categories] Kyiv: Symvol-T, 28. [in Ukrainian].
12. *Dzherela tsentralizovanoho pytnoho vodopostachannia. Hihienichni ta ekolohichni vymohy shchodo yakosti vody i pravyla vybyrannia*. [Sources of centralized drinking water supply. Hygienic

and environmental requirements for water quality and selection rules]. (2007). DSTU 4808:2007. Natsionalnyi standart Ukrainy. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy. [in Ukrainian]

13. Yakist pryrodnoi vody dlia zroshennia. Ekolohichni kryterii. [Water quality for an irrigation. Ecological criteria]. (2012). DSTU 7286:2012. Natsionalnyi standart Ukrainy. Kyiv: Minekonomrozvytku Ukrainy. [in Ukrainian]

14. Yakist pryrodnoi vody dlia zroshennia. Ahronomichni kryterii [Water quality. Agronomic criteria]. (2015). DSTU 2730:2015. Natsionalnyi standart Ukrainy Kyiv: DP «UkrNDNTs» Ukrainy. [in Ukrainian]

15. Kovalchuk, P., Rozhko, V., Kovalchuk, V., Balykhina, H., & Demchuk, O. (2019). 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 menegment in the Elbe catchment area. International Conference RIVER BASINS 2015: Monitoring, Modelling & Management of Pollutants. Germany, Karlsruhe, 67–74.

17. Environmental assessment accelerated Mahaweli development program. (1980). US Agency for International Development, New York: TAMS.

18. Investigation of Options to increase the flood mitigation performance of Wivenhoe Dam. (2011). Final Report. Brisben: GHD.

19. Babiy, P.O., & Lisyuk, O.G. (2010). Man-made flood on the river Ros. Water management of Ukraine, 5, 4–6. [in Ukrainian]

20. Burlaka, B. (2011). The flushing Inhulets river in 2011. Water Management of Ukraine, 5, 17–18. [in Ukrainian]

21. Kovalchuk, P., Balykhina, H., Kovalenko, R., Demchuk, O., & Rozhon, V. (2018). Information technology of the system control of water use within river basins. Advances in Computer Science for Engineering and Education, 123–132. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-91008-6_13

22. Voitovich, O., & Kovalchuk, V. (2019). Monitoring research of field soil moisture to provide irrigation management on the base of an experimental and calculation method. Land Reclamation and Water Management, 2, 113–120. doi: <https://doi.org/10.31073/mivg201902-179>

23. Ivakhnenko, A., Peka, Y., & Vostrov, N. (1984). The Combined Method of Modeling Water and Oil Fields. Naukova Dumka, Kyiv. [in Russian]

24. Podinovsky, V., Noghin, V. (1982). «Pareto optimal solution for multicriterion problems» Nauka, Moscow. [In Russian]

**П.И. Ковальчук, Р.Ю. Коваленко, М.В.Яцюк,
В.П. Ковальчук, О.С.Демчук, А.А. Балыхина**

Системная модель интегрированного управления водными ресурсами р. Ингулец по бассейновому принципу

Аннотация. Разработана системная модель для интегрированного управления водными ресурсами бассейна р. Ингулец, что соответствует требованиям Водной рамочной директивы ЕС об установлении экономически эффективного водопользования с обеспечением хорошего или отличного экологического состояния рек. Структурно-функциональная схема системной модели включает подсистемы: подсистема подачи воды каналом Днепр-Ингулец; подсистема промывки р. Ингулец с Качачуновского водохранилища и вытеснения призм солёных вод в р. Днепр; подсистема экологической безопасности при сбросах загрязнений в р. Ингулец; подсистема подачи воды на орошение в Ингулецкую оросительную систему, предупреждения засоления почв. Разработана система технологических, экономических и экологических критериев оценки интегрированного управления по бассейновому принципу. Они включают поддержание уровня воды в водохранилищах, обеспечение экологического состояния реки, динамику расходов водных ресурсов. Формализованная система интегрированного управления в бассейне р. Ингулец включает оперативное управление водными ресурсами и управление структурой. Интегрированное управление осуществляется по подсистемам, видам управления и системой критериев. Для оперативного управления формализованы балансовые разностные уравнения водообмена в водохранилищах. Используется двухслойная модель динамики водных масс, распространения и смешивания загрязняющих веществ при промывках рек из водохранилищ. Приводится пример оценивания эффективности предложенной системы и ее сравнение с существующим регламентом промывки р. Ингулец.

Ключевые слова: балансовые разностные уравнения, водообмен, интегрированное управление, критерии оценки, промывка рек, системная модель.

P.I. Kovalchuk, R.Yu. Kovalenko, M.V. Yatsyuk,
V.P. Kovalchuk, O.S. Demchuk, H.A. Balykhina

**System model of integrated management of the water resources
of the Ingulets River by a basin principal**

Abstract. System model of integrated management of the water resources of the Ingulets River was developed according to the requirements of the EU Water Framework Directive on providing cost-effective water use with ensuring good or excellent ecological status of rivers. The structural-functional diagram of the system model includes next subsystems: water supply by the Dnipro-Ingulets canal; flushing of the Ingulets River from the Karachunivske reservoir and the displacement of the salt water prism to the Dnipro River; environmental safety during pollution discharges into the Ingulets River; water supply for the Ingulets irrigation system, prevention of soil salinization. The system of technological, economic and environmental criteria for the assessment of integrated management by a basin principle was developed. It includes maintaining water level in reservoirs, ensuring good ecological condition of the river, and the dynamics of water consumption. The formalized system of integrated management for the Ingulets River basin includes water resource operative control and structure control. Integrated management is carried out by subsystems, types of management and criteria system. Balance differential equations of water exchange in reservoirs are formalized for operative control. Two-layer model for dynamics of water masses, distribution and mixing of pollutants during river flushing is used. Assessment of the efficiency of the proposed system and its comparison with the existing Ingulets River flushing schedule are demonstrated as an example.

Key words: balance difference equations, water exchange, integrated management, assessment criteria, river flushing, system model.

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202001-217>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/217>

УДК 628.1

ОСОБЛИВОСТІ ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ЗІ ЗНАЧНИМ ВМІСТОМ СИНТЕТИЧНИХ МИЮЧИХ ЗАСОБІВ НА ФОСФАТНІЙ ОСНОВІ

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;
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. Незважаючи на зменшення загального обсягу стічних вод за перші десятиріччя ХХІ сторіччя на території України суттєво змінився характер забруднень, що формують їх склад. Зокрема збільшився вміст фосфатних сполук і амонійного азоту. Збільшення фосфатної складової стічних вод викликано масовим розповсюдженням синтетичних миючих засобів на фосфатній основі. Діючі очисні споруди не пристосовані для вилучення значних об'ємів фосфатних сполук, що провокує процес евтрофікації водойм, їх вторинного забруднення за рахунок біологічних процесів (катастрофічного розмноження ціанобактерій та бурхливого розвитку вищої водної рослинності). До можливих шляхів вирішення цього питання належать: заборона використання синтетичних миючих засобів на фосфатній основі; реконструкція каналізаційних очисних споруд, яка дозволить ефективно затримувати фосфатні сполуки; реконструкція водопровідних очисних споруд, яка дозволить очищати воду погіршеної якості з джерел водопостачання, та комбінація всіх трьох попередніх пунктів, але не з глобальною забороною використання синтетичних миючих засобів на фосфатній основі, а з підняттям на них націнки до рівня безфосфатних миючих засобів і допущенням цих засобів за рахунок цієї націнки. Досліджено низку фізико-хімічних методів, які базуються на реакціях окиснення модельного розчину синтетичного миючого засобу. Зокрема такий перспективний напрям нових технологій водоочищення як використання так званих передових окислювальних технологій (AOTs), в яких за допомогою електричних розрядів у водно-повітряному середовищі або на поверхні тонкої плівки води генеруються сильні окиснювачі. Озонування проведили за допомогою апарату, який поєднував кавітаційну обробку і озонування. Наведено результати експериментальних досліджень окиснення органічної складової модельного розчину при застосуванні реагенту «Фентона», фізичних методів очистки (озонування з кавітацією, плазмова обробка) та обробка пероксидом водню.

Ключові слова: водопідготовка, очистка стічних вод, фосфати, бар'єрний розряд, озонування, кавітація.

Актуальність. За перші десятиріччя ХХІ сторіччя в Україні суттєво змінився характер антропогенного навантаження. Так, за даними моніторингу статистичної звітності 2ТП – Водгосп системи Держводагентства [1] суттєво скоротилися об'єми скидів стічних вод. Відповідні зміни об'ємів скидів стічних вод наочно демонструє тренд до зменшення скидів у басейн р. Дніпро (рис. 1).

Разом зі зменшенням загального обсягу стічних вод суттєво змінився і характер забруднень, що формують їх склад. У разі зменшився скид металів речовин, які формують органічну складову за інтегральним показником перманганатної окиснюваності (надалі ХСК), тощо, але в той же час збільшився вміст фосфатних сполук і амонійного азоту (рис. 2).

Збільшення фосфатної складової стічних вод можна пояснити масовим розповсюдженням синтетичних миючих засобів на фосфатній основі [2]. Діючі у нас очисні споруди не пристосовані для вилучення значних об'ємів фосфатних сполук зі стоків і ці сполуки транзитом проходять крізь очисні споруди та потрапляють у водоприймач, який своєю чергою, слугує джерелом водопостачання населених пунктів, розташованих нижче за течією. Зарегульованість головних джерел водопостачання, зниження зовнішнього водообміну [3] додатково погіршують ситуацію, тому що відсутність стабільної течії суттєво кількістю перекатів, швидкоплинних мілин, меандр тощо сприяють зниженню природної аерації води і відповідно знижують

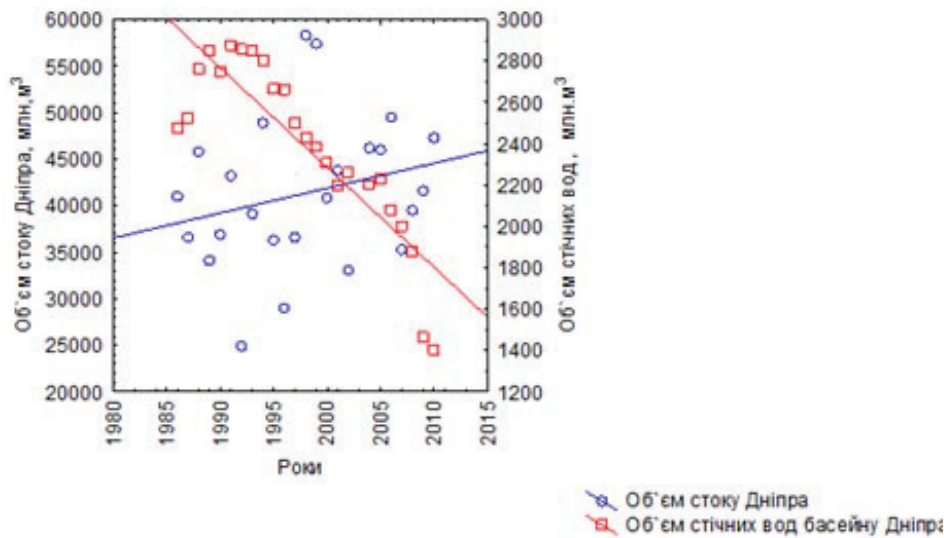


Рис. 1. Зміни об'ємів стоку Дніпра 1984–2010 рр. та об'єму скиду стічних вод, та їх лінійні тренди

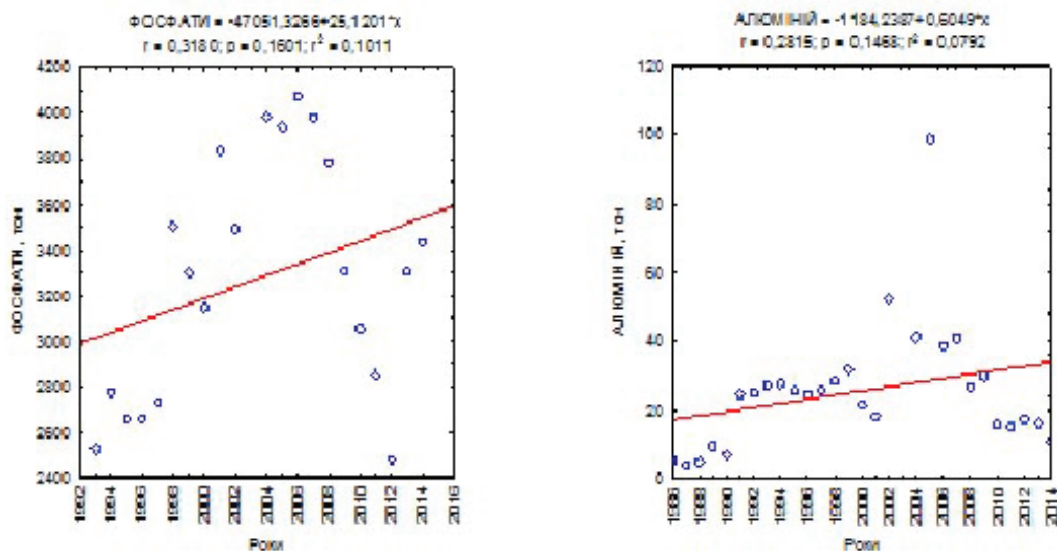


Рис. 2. Зміни об'ємів скидів фосфатних сполук і амонійного азоту за 1984–2014 рр. та їх лінійні тренди

здатність річок до самоочищення. Це своєю чергою провокує процес евтрофікації водойм і, відповідно, їх вторинного забруднення за рахунок біологічних процесів. На прикладі каскаду Дніпровських водосховищ ми спостерігаємо ці явища у вигляді майже щорічних «вибухів цвітіння водосховищ» – катастрофічного розмноження ціанобактерій, бурхливого розвитку вищої водної рослинності і утворення аноксидних зон на глибинах більше 8 м при температурах води 27–29 °С. Відповідно відбувається суттєве погіршення якості вихідної води у джерелі водо-

постачання. Води подібної якості існуючі у нас водопровідні очисні споруди не здатні ефективно очищувати [4]. Тому на сьогодні питання зниження органічної складової стічних вод загалом і розчинів синтетичних миючих засобів зокрема, як у стічних водах, так і у водах, що надходять на водопровідні очисні споруди, є актуальним і болючим.

Існує кілька шляхів вирішення цього питання:

1. Найбільш радикальний – заборона використання синтетичних миючих засобів на фосфатній основі.

2. Реконструкція каналізаційних очисних споруд, що дозволить ефективно затримувати фосфатні сполуки.

3. Реконструкція водопровідних очисних споруд, що дозволить очищати воду погіршеної якості з джерел водопостачання.

4. Комбінація всіх трьох попередніх пунктів, але не з глобальною заборонаю використання синтетичних миючих засобів на фосфатній основі, а із підняттям на них націнки до рівня безфосфатних миючих засобів і дотуванням цих засобів за рахунок цієї націнки.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Очищення поверхневих природних і стічних вод від поверхнево-активних речовин (ПАР) на фосфатній основі традиційно проводять за допомогою флотаційної та коагуляційної технологій. Флотаційна технологія спроможна забезпечити вилучення ПАР до 80% [5-7], а її поєднання з коагуляційним процесом можливо досягти 90% [8-10] вилучення ПАР. Ефективність адсорбційного вилучення ПАР на супермікропористому активованому вугіллі може досягати 95% і вище, але у разі порівняно невисоких вихідних концентрацій ПАР ($C < 100\text{--}200$ мг/дм³) і за адекватних умов проведення динамічного процесу [11].

Всі ці методи вкрай затратні як за капітальними, так і за експлуатаційними витратами, до того ж вони вимагають наявності кваліфікованого обслуговуючого персоналу і дуже важко автоматизуються.

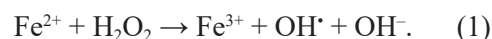
Мета досліджень. Перевірити перспективність можливих напрямів зниження концентрацій синтетичних фосфатовмісних миючих засобів у природних і стічних водах за рахунок процесів фізико-хімічного окиснення.

Матеріали і методи дослідження. В якості рішень, які здатні знижувати суттєві концентрації синтетичних миючих засобів на фосфатній основі у стічних водах, ми досліджували низку фізико-хімічних методів, які базуються на реакціях окиснення модельного розчину синтетичного миючого засобу.

В якості модельного миючого засобу досліджували розчин 1 г суміші: фосфорнокислих солей (в перерахунку на P₂O₅) – 16,2%; аніонних ПАР – 26,83%; бікарбонату натрію NaHCO₃ – 56,97% в 1 дм³ дистилляту. Вміст органічної складової визначався за інтегральним показником – біхроматною окиснюваністю (надалі ХСК – хімічне споживання кисню). Визначення ХСК здійснювали відповідно до ДСТУ ГОСТ 31859:2018 [12], а в окремих дослідках – за методикою виробника обладнання (спектрофотометру DR-2800) за допомогою готових розчинів реагентів –

№ 22758 – 00 виробництва корпорації HACH-Lange. Концентрації ХСК у модельних розчинах коливалися у межах від 336 мг O₂/дм³ до 466 мг O₂/дм³. В якості окисників у дослідках були задіяні розчин пероксиду водню, реагент «Фентона», озонування та обробка «холодною» плазмою, отриманою за допомогою бар'єрного розряду на поверхні шару води товщиною 150 мкм.

Реагент «Фентона» базується на відтворенні реакції Фентона (*Fenton reaction*) – хімічна реакція розпаду пероксиду водню під дією солей двовалентного заліза, яку можна описати брутто-рівнянням:



Ця реакція йде з утворення активних радикалів, які можуть ініціювати радикально-ланцюгові процеси, що призводить до руйнування органічних молекул. Особливістю цієї реакції є те, що найкраще вона проходить коли рН = 2.

Серед нових технологій водоочищення одним із перспективних напрямків вважається використання так званих передових окислювальних технологій (AOTs) [13-16], в яких за допомогою електричних розрядів у водно-повітряному середовищі або на поверхні тонкої плівки води генеруються сильні окиснювачі. Застосування електророзрядної (плазмової) обробки дозволяє синтезувати широкий спектр природних окиснювачів – як довгоживучий O₃, так і короткоживучі (момент розряду) R(OH), H₂O₂, O, а також ефект ультрафіолетового опромінення. Це дозволяє насичити воду киснем, а завдяки сумарній дії синтезованих окиснювачів – розпочати інтенсифікований процес окиснення органічних та неорганічних сполук. Доцільність розробки та впровадження цих технологій визначається величиною питомих енерговитрат на обробку води, експлуатаційними витратами, а також вартістю виготовлення та монтажу обладнання [14]. Найбільш оптимальними умовами обробки води є такі, коли імпульсний бар'єрний розряд у розрядній камері діє на тонку плівку води (≈ 0,15 мм) або на її краплі малих розмірів (< 1 мм) [17].

Озонування проводили за допомогою апарату, який поєднував кавітаційну обробку і озонування. Продуктивність установки по озону становила 15 г/год.

Результати дослідження та їх обговорення. Результати обробки розчину-імітанту миючих засобів пероксидом водню, реагентом «Фентона», озонуванням з кавітацією наведені у таблиці 1.

1. Результати обробки розчину миючих засобів пероксидом водню, реагентом «Фентона», озонуванням з кавітацією в ХСК, мг O₂/дм³

ХСК вихідне	H ₂ O ₂	Реагент «Фентона»	O ₃ , 3 хв.	O ₃ , 15 хв.	O ₃ , 25 хв.
336	330	35,4	228	175	140

Залежність зміни ХСК від часу обробки озонування + кавітація наведено на рис. 3.

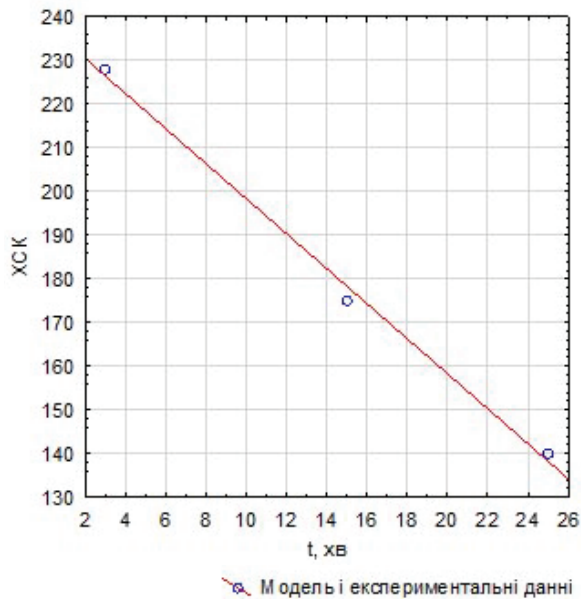


Рис. 3 Залежність зміни ХСК від терміну обробки озонування + кавітація

Рівняння моделі зміни ХСК у процесі озонування має вигляд:

$$\text{ХСК} = 238,5302 - 4,0137t, \quad (2)$$

де ХСК – хімічне споживання кисню, мг O₂/дм³;

t – час озонування, хв.

Множинна кореляція – $R = 0,9978$; детермінація – $R^2 = 0,9958$; $p < 0,00415$.

Зниження ХСК (НАСН-Lange) модельного розчину при обробці за допомогою бар'єрного розряду з формуванням плазми на розділі фаз рідина – газ представлено у таблиці 2.

2. Зміна ХСК модельного розчину залежно від вкладеної питомої енергії

Питома вкладена енергія, кВт/м ³	ХСК, мг O ₂ /дм ³
0	466
2	314
4	266
6	227

Графік окиснення плазмою бар'єрного розряду модельного розчину і його регресійну модель наведено на рис. 4.

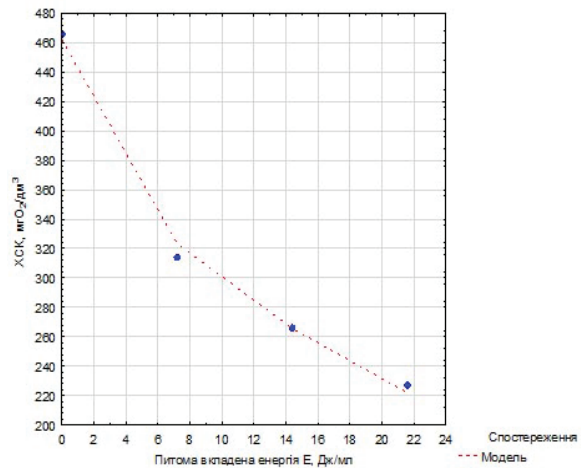


Рис. 4. Залежність зміни ХСК від обробки плазмою бар'єрного розряду модельного розчину

Рівняння моделі окиснення модельного розчину за допомогою плазми бар'єрного розряду:

$$\text{ХСК} = 462,0872 - 51,714 \cdot \sqrt{E}, \quad (3)$$

де ХСК – хімічне споживання кисню, мг O₂/дм³;

E – Питома вкладена енергія, Дж/мл.

Множинна кореляція – $R = 0,998$; детермінація – $R^2 = 0,996$; приведена детермінація $R^2 = 0,994$; Фішера $F(1,2) = 504,56p < 0,00198$ Стандартна помилка оцінки: 8,0596.

Висновки. Найкращий ефект окиснення органічної складової модельного розчину було досягнуто при застосуванні реагенту «Фентона» – 89,5%.

Усі фізичні методи (озонування з кавітацією та плазмова обробка) досягли близько 50% зниження вмісту ХСК: озонування – 58,3%; плазмова обробка – 51,3%.

Найгірші результати отримані при обробці пероксидом водню – 1,78%.

Досліди у цьому напрямку потребують подальшого продовження, тому що всі методи, які були апробовані, потребують

подальшого очищення води. Перспективним, на наш погляд, може бути поєднання методів фізичної обробки з реагентом «Фентона» або з додатковою адсорбцією залишків органічних сполук чи з додатковою біологічною обробкою.

Бібліографія

1. Про затвердження Порядку ведення державного обліку водокористування: Наказ № 78 Мінприроди України від 16 бер. 2015 року № 78 // Офіційний вісник України. 2015. № 32, 30 квіт. С. 201.
2. Савлущинська М.О., Горбатьок Л.О. Фосфор у водних екосистемах // Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія : Біологія. Тернопіль, 2014. № 4. С. 153–162.
3. Коржов Є.І., Леонтєва Т.О. Зовнішній водообмін як один з факторів формування кількісних показників фітопланктону заплавних водойм пониззя Дніпра // Сучасна гідроекологія: місце наукових досліджень у вирішенні актуальних проблем: збірник матеріалів V науково-практичної конференції для молодих вчених. Київ : ІГНАНУ, 2018. С. 23–25.
4. Данилова І.В. Залежність вмісту хлороформу у питній воді від розвитку синьо-зелених водоростей // Збалансоване природокористування. Київ, 2015. № 4. С. 77–79.
5. Когановский А.М. Физико-химические основы извлечения поверхностно-активных веществ из водных растворов и сточных вод. Киев : Наук. Думка, 1978. 175 с.
6. Кожанов В.А., Клименко Н.А. Методы определения технологических параметров процесса пенной сепарации ПАВ // Химия и технология воды. Киев, 1984. Т. 6, № 2. С. 177–182.
7. Ибадулаев Ф.Ю. Пенная сепарация ПАВ из сточных вод // Химия и технология воды. Киев, 2004. Т. 26, № 1. С. 50–59.
8. Aboulhassan M.A. Removal of surfactant from industrial wastewaters by coagulation flocculation process. *International Journal of Environmental Science & Technology*. 2006. № 3. P. 327–332.
9. Mahri A.H. Removal of Anionic Surfactants in Detergent Wastewater by Chemical Coagulation. *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 2004. № 7. P. 2222–2226.
10. Терехова Е.Л. Интенсификация очистки сточных вод от поверхностно-активных веществ : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.04 / Дальневосточный государственный университет путей сообщения. Иркутск, 2004. 175 с.
11. Смолин С.К. Особенности удаления экологически опасных поверхностно-активных веществ из водных систем : дис. ... канд. хим. наук : 21.06.01 / Институт коллоидной химии и химии воды им. А.В. Думанского НАНУ. Киев, 2003. 185 с.
12. ДСТУ ГОСТ 31859:2018 Вода. Визначення хімічного поглинання кисню (ГОСТ 31859-2012, IDT; ISO 15705:2002, NEQ). Київ: ДП «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості», 2018. 12 с. (Національний стандарт України).
13. Jiang B. Review on electrical discharge plasma technology for wastewater. *Chemical Engineering Journal*. 2014. No. 236. P. 348–363.
14. Sugai T. Investigation for optimization of an inductive energy storage circuit for electrical discharge water treatment. *IEEE Transactions on Plasma Science*. 2014. Vol. 42. № 10. P. 3101–3108.
15. Kostich M.M. Decolorization of reactive textile dyes using water falling film dielectric barrier discharge. *Journal of Hazardous Materials*. 2011. № 192. P. 763–771.
16. Grinevich V. I. Application of dielectric barrier discharge for waste water purification. *Plasma Chem Plasma Process*. 2011. № 31. P. 573–583.
17. Божко І.В., Кобильчак В.В. Обробка імпульсним бар'єрним розрядом води в крапельно-ному стані // Технічна електродинаміка. Київ, 2015. № 3. С. 60–66.

References

1. Nakaz № 78 Minpryrody Ukrainy «Pro zatverdzhennya Poryadku vedennya derzhavnoho obliku vodokorystuvannya» [On approval of the Procedure for keeping the state account of water use]: pryiniaty 16 ber. 2015 roku № 78. (2015, April 30). *Ofitsiyyny visnyk Ukrainy*, 32, 201 [in Ukrainian].
2. Savluchynska, M.O., Horbatiuk, L.O. (2014). Fosfor u vodnykh ekosystemakh [Phosphorus in aquatic ecosystems]. *Naukovi zapysky Ternopil's'koho natsional'noho pedahohichnoho universytetu imeni Volodymyra Hnatiyuka. Seriya : Biolohiya – Scientific notes of the Ternopil Volodymyr Hnatiyuk National Pedagogical University. Series: Biology*, 4, 153–162. Ternopil [in Ukrainian].

3. Korzhov, Ye.I., Leontieva, T.O. (2018). Zovnishniy vodoobmin yak odyn z faktoriv formuvannya kil'kisnykh pokaznykiv fitoplanktonu zaplavnykh vodoym ponyzzya Dnipro [External water exchange as one of the factors of formation of quantitative indicators of phytoplankton of floodplain reservoirs of the lower Dnieper]. *Modern hydroecology: a place of scientific research in solving urgent problems: a collection of materials of the 5th scientific-practical conference for young scientists*, Kyiv: IoHNASU, 23–25 [in Ukrainian].
4. Danylova, I.V. (2015). Zalezhnist' vmistu khloroformu u pytniy vodi vid rozvytku syn'o-zelenykh vodorostey [The dependence of chloroform content in drinking water on the development of blue-green algae]. *Zbalansovane pryrodokorystuvannya – Balanced nature management*, 4, 77–79. Kyiv [in Ukrainian].
5. Kohanovskyi, A.M. (1978). Fiziko-khimicheskiye osnovy izvlecheniya poverkhnostno-aktivnykh veshchestv iz vodnykh rastvorov i stochnykh vod [Physico-chemical basis for the extraction of surfactants from aqueous solutions and wastewater]. Kyiv: Nauk. Dumka [in Russian].
6. Kozhanov, V.A., Klymenko N.A. (1984). Metody opredeleniya tekhnologicheskikh parametrov protsessa pennoy separatsii PAV [Methods for determining the technological parameters of the surfactant foam separation process]. *Khimiya i tekhnologiya vody – Chemistry and water technology*, 6(2), 177–182. Kyiv [in Russian].
7. Ibadulaev, F.Yu. (2004). Pennaya separatsiya PAV iz stochnykh vod [Foam separation of surfactants from wastewater]. *Khimiya i tekhnologiya vody – Chemistry and water technology*, 26(1), 50–59. Kyiv [in Russian].
8. Aboulhassan, M.A. (2006). Removal of surfactant from industrial wastewaters by coagulation flocculation process. *International Journal of Environmental Science & Technology*. 3, P. 327–332. <https://doi.org/10.1007/BF03325941>
9. Mahri, A.H. (2004). Removal of Anionic Surfactants in Detergent Wastewater by Chemical Coagulation. *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 7, P. 2222–2226. <http://dx.doi.org/10.3923/pjbs.2004.2222.2226>
10. Terekhova, E.L. (2004). Intensifikatsiya ochistki stochnykh vod ot poverkhnostno-aktivnykh veshchestv [Intensification of wastewater treatment from surfactants]. PhD thesis. Irkutsk: Dal'nevostochnyy gosudarstvennyy universitet putey soobshcheniya [in Russian].
11. Smolin, S. K. (2003). Osobennosti udaleniya ekologicheskii opasnykh poverkhnostno-aktivnykh veshchestv iz vodnykh sistem [Features of the removal of environmentally hazardous surfactants from water systems]. PhD thesis. Kyiv: Institut kolloidnoy khimii i khimii vody im. A.V. Dumanskogo NANU [in Russian].
12. Voda. Vyznachennya khimichnoho pohlynannya kysnyu [Water. Determination of chemical oxygen uptake]. (2018). DSTU 31859:2018. Natsionalnyi standart Ukrainy. Kyiv: DP «Ukrayins'ky naukovo-doslidnyy i navchal'nyy tsentr problem standartyzatsiyi, sertyfikatsiyi ta yakosti». [in Ukrainian].
13. Jiang, B. (2014). Review on electrical discharge plasma technology for wastewater. *Chemical Engineering Journal*, 236, 348–363. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2013.09.090>
14. Sugai, T. (2014). Investigation for optimization of an inductive energy storage circuit for electrical discharge water treatment. *IEEE Transactions on Plasma Science*. 42(10), P. 3101–3108. <https://doi.org/10.1109/TPS.2014.2304543>
15. Kostich, M.M. (2011). Decolorization of reactive textile dyes using water falling film dielectric barrier discharge. *Journal of Hazardous Materials*. 192, P. 763–771. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.05.086>
16. Grinevich, V.I. (2011). Application of dielectric barrier discharge for waste water purification. *Plasma Chem Plasma Process*. 31, P. 573–583. <https://doi.org/10.1007/s11090-010-9256-1>
17. Bozhko, I.V., Kobylchak, V.V. (2015). Obrobka impul'snym bar'yernym rozryadom vody v krapel'nomu stani [Impulse barrier water treatment in a drip condition]. *Tekhnichna elektrodynamika – Technical electrodynamic*, 3, 60–66. Kyiv [in Ukrainian].

Д.В. Чарный, Е.М. Мацелюк, Ю.А. Онанко

Особенности исследования физико-химической очистки сточных вод с большим содержанием синтетических моющих средств на фосфатной основе

Аннотация. Несмотря на уменьшение общего объема сточных вод за первые десятилетия XXI века на территории Украины существенно изменился характер загрязнений, которые формируют их состав. В частности, увеличилось содержание фосфатных соединений и аммонийного

азота. Увеличение фосфатной составляющей сточных вод вызвано массовым распространением синтетических моющих средств на фосфатной основе. Действующие очистные сооружения не приспособлены для извлечения значительных объемов фосфатных соединений, что провоцирует процесс эвтрофикации водоемов, их вторичного загрязнения за счет биологических процессов (катастрофического размножения цианобактерий и бурного развития высшей водной растительности). К возможным путям решения этого вопроса относятся: запрет использования синтетических моющих средств на фосфатной основе; реконструкция канализационных очистных сооружений, которая позволит эффективно задерживать фосфатные соединения; реконструкция водопроводных очистных сооружений, которая позволит очищать воду ухудшенного качества из источников водоснабжения, и комбинация всех трех предыдущих пунктов, но не с глобальным запретом использования синтетических моющих средств на фосфатной основе, а с поднятием на них наценки до уровня бесфосфатных моющих средств и дотированием этих средств за счет этой наценки. Исследован ряд физико-химических методов, основанных на реакциях окисления модельного раствора синтетического моющего средства. В частности такое перспективное направление новых технологий водоочистки как использование так называемых передовых окислительных технологий (АОТ), в которых с помощью электрических разрядов в водно-воздушной среде или на поверхности тонкой пленки воды генерируются сильные окислители. Озонирование проводили при помощи аппарата, который сочетал в себе кавитационную обработку и озонирование. Приведены результаты экспериментальных исследований окисления органической составляющей модельного раствора при применении реагента «Фентона», физических методов очистки (озонирование с кавитацией, плазменная обработка) и обработка перекисью водорода.

Ключевые слова: водоподготовка, очистка сточных вод, фосфаты, барьерный разряд, озонирование, кавитация.

D.V. Charnyi, E.M. Matseliuk, Yu.A. Onanko

Specificities of the study of physical and chemical treatment of wastewater with a significant content of synthetic phosphate-based detergents

Abstract. Despite the decrease in the total volume of sewage over the first decades of the 21st century in the territory of Ukraine, the nature of the contaminants that make up their composition has changed significantly. In particular, the content of phosphate compounds and ammonium nitrogen has increased. The increase in the phosphate component of wastewater is caused by the widespread of synthetic phosphate-based detergents. Existing treatment facilities are not designed to remove significant volumes of phosphate compounds. That causes the process of reservoirs eutrophication, their secondary contamination due to biological processes (catastrophic reproduction of cyanobacteria and rapid development of higher aquatic vegetation). The possible ways to solve this issue include: prohibition of the use of synthetic phosphate-based detergents; reconstruction of sewage treatment plants, which will enable effective retention of phosphate compounds; reconstruction of water treatment plants, which will enable to purify poor quality water from water sources and the combination of all these ways, but not with the global prohibition of the use of synthetic phosphate-based detergents, but by increasing the extra charges for them to the level of phosphate-free detergents and subsidizing them for that. A number of physical and chemical methods based on the oxidation reactions of a model solution of synthetic detergent were investigated, in particular, such a promising area of new water purification technologies as the use of so-called advanced oxidation technologies (AOTs), in which strong oxidants are generated by electric discharges in the water-air environment or on the surface of a thin film of water. Ozonation was performed using an apparatus that combined cavitation treatment and ozonation. The results of organic component oxidation experimental studies of the model solution with the use of «Fenton» reagent, physical methods of purification (ozonation with cavitation, plasma treatment) and treatment with hydrogen peroxide are presented.

Keywords: water treatment, sewage treatment, phosphates, barrier discharge, ozonation, cavitation.

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202001-233>

Available at: <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/233>

УДК 631.15:631.62

ПРОБЛЕМИ ТА ОСНОВНІ НАПРЯМИ РОЗВИТКУ ЗРОШЕННЯ ТА ДРЕНАЖУ В УКРАЇНІ В УМОВАХ ЗМІН КЛІМАТУ

М.І. Ромащенко¹, докт. техн. наук, О.О. Дехтяр², канд. техн. наук, Ю.В. Гусев³, канд. екон. наук, М.В. Яцюк⁴, канд. геогр. наук, Р.В. Сайдак⁵, канд. с.-г. наук, Т.В. Матяш⁶, канд. техн. наук, А.П. Шатковський⁷, докт. с.-г. наук, Г.В. Воропай⁸, канд. техн. наук, І.В. Войтович⁹, канд. техн. наук, О.П. Музика¹⁰ канд. техн. наук, С.В. Усатий¹¹

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/0000-0002-0011-7124>; e-mail: oksana.dehtiar@gmail.com;

³ Херсонська обласна державна адміністрація, Херсон, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-5144-2533>; e-mail: economistinukraine@gmail.com;

⁴ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-5535-715X>; e-mail: mv_yatsiuk@ukr.net;

⁵ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-0213-0496>; e-mail: saidak_r@ukr.net;

⁶ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0003-1225-086X>; e-mail: t.v.matiash@gmail.com;

⁷ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-4366-0397>; e-mail: andriy-1804@ukr.net;

⁸ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-5004-0727>; e-mail: voropaig@ukr.net;

⁹ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-1543-3955>; e-mail: bondaro02@ukr.net;

¹⁰ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-3388-3001>; e-mail: muzyka_iwpim@ukr.net;

¹¹ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0001-8784-4078>; e-mail: s_usatyi@ukr.net;

Анотація. В роботі наведено результати аналізу сучасного стану, встановлені основні проблеми та напрями розвитку зрошення та дренажу в Україні в умовах змін клімату. Виконаний комплексний аналіз даних метеостережень засвідчив, що темпи зростання середньорічної температури повітря в Україні за останні 10 років перевищують 0,6°C, за практично незмінної кількості опадів, і якщо ці темпи збережуться, то у 2050 р. площа ріллі з дефіцитом кліматичного водного балансу 150 мм і більше зросте порівняно з 2016 р. на 3,7 млн га і досягне 21,78 млн га, а у 2100 р. – 26 млн га ріллі. Кліматичні зміни зумовили розвиток процесу прогресуючого зневоднення ґрунтів, внаслідок чого стало землеробство на всій території України буде можливим лише за умови зрошення або водорегулювання. Водночас існуючий стан використання потенціалу зрошувальних та дренажних систем є вкрай незадовільним. У 2019 р. фактично поливалось 532 тис. га, а двобічне водорегулювання здійснювалось на площі менше 300 тис. га. Для пошуку шляхів та механізмів відновлення потенціалу зрошувальних та дренажних систем виконано аналіз причин існуючого стану та встановлено, що кризова ситуація в галузі сформувалась унаслідок багаторічного недофінансування робіт з експлуатації та відновлення, через незавершеність реформування земельних та економічних відносин, недосконалість існуючого законодавства та механізмів державної підтримки, особливо моделі управління галуззю. За результатами досліджень розроблено наукові засади відновлення зрошення і дренажу в умовах змін клімату, що передбачають проведення правових та інституційних реформ на засадах децентралізованого управління із залученням водокористувачів, удосконалення існуючого законодавства, модернізацію зрошувальних та дренажних систем, створення сприятливих умов для залучення інвестицій, впровадження механізму фінансування витрат на управління, обслуговування та експлуатацію на основі нової системи утворення тарифів, впровадження системи наукового та кадрового забезпечення меліоративної галузі.

Ключові слова: кліматичні зміни, зрошувальні, дренажні системи, інфраструктура, модернізація, відновлення, Стратегія.

Актуальність. Україна володіє чималим земельно-ресурсним потенціалом. Сільськогосподарські угіддя становлять близько 19% загальноєвропейських, поміж ними близько 27% ріллі. Площа найпродуктивніших ґрунтів чорноземів в Україні досягає 17,0 млн. гектарів, або 8% світових запасів. Коли є 32,5 млн га ріллі, що значно більше, ніж у будь-якій Європейській країні, Україна має всі можливості стати лідером із виробництва сільськогосподарської продукції. Проте через недостатній рівень природного вологозабезпечення, яке й надалі погіршується внаслідок розвитку процесу прогресуючого зневоднення території України через зміни клімату, середня врожайність основних сільськогосподарських культур поки що значно нижча ніж у багатьох країнах. Підвищити ефективність та забезпечити сталість землеробства в умовах змін клімату, що дозволить Україні стати конкурентним на світовому ринку виробником продовольства, буде можливим лише за умови значного нарощування площ зрошення і водорегулювання [1–4].

На жаль, сьогодні із 2,17 млн га зрошуваних земель у 2019 р. фактично поливалось близько 532 тис. га, а двобічне водорегулювання здійснювалось на площі менше 300 тис. га за загальної площі дренажних систем 3,3 млн га. За таких площ фактичного поливу та водорегулювання меліоровані землі не в змозі пом'якшити негативний вплив зростання посушливості клімату на сталість землеробства. Тому питання відновлення ефективного використання наявного потенціалу зрошення і дренажу є вкрай актуальним і вимагає якнайшвидшого вирішення. Розв'язання цього питання можливе лише на основі детального аналізу та оцінки сучасного стану функціонування водогосподарсько-меліоративного комплексу як у частині існуючої форми (моделі) управління ним, стану законодавчого та нормативно-методичного забезпечення функціонування наявної інженерної інфраструктури, так і щодо технічного її стану – від фізично і морально застарілого енергонеєфективного насосно-силового обладнання до різного рівня каналів і трубопроводів, які відпрацювали свій проєктний ресурс, та, здебільшого, старих типів дощувальних машин, що також вичерпали свій фізичний ресурс і не в змозі забезпечувати проведення поливів у повній відповідності з науково-обґрунтованими екологічно безпечними режимами зрошення.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Дослідження різних аспектів розвитку

землеробства в умовах змін клімату, оцінку та прогноз вологозабезпечення території України для адаптації сучасних практик ведення сільського господарства до негативних погодних умов, аналіз стану існуючих зрошувальних та дренажних систем та визначення шляхів покращення їх функціонування, питання удосконалення системи управління водогосподарською галуззю відображено в наукових працях учених ІВПіМ та інших наукових установ НААН України [2, 4, 9–19]. Вивчаючи світовий досвід розвитку зрошення та дренажу, було проаналізовано різноманітні підходи до їх техніко-технологічного відновлення, проведення модернізаційних заходів, реформування систем управління водогосподарськими галузями в частині загальних вимог та принципів, які можна впровадити для нашої країни. Результати проведених наукових досліджень дозволили визначити основні напрями розвитку на шляху створення ефективного та дієвого сектора зрошення та дренажу в Україні, що дасть можливість забезпечити сталість аграрного виробництва в сучасних умовах.

Мета досліджень. Аналіз існуючого стану та обґрунтування напрямів розвитку сектора зрошення і дренажу для забезпечення сталості землеробства в умовах змін клімату.

Матеріали та методи досліджень. У роботі використовували комплекс методів: аналітичні, експертних оцінок, обстежень, порівнянь і аналогів, експериментальні. Для оцінки гідротермічних умов використовували дані спостережень державної мережі метеорологічних станцій, а річкового стану – мережі гідрологічних постів Укргідрометцентру. Для оцінки технічного стану об'єктів інженерної інфраструктури використовували методичні підходи згідно з вимогами міжнародних та європейських стандартів та чинних на сьогодні в Україні нормативних документів.

Результати досліджень та їх обговорення. Виконано комплексний аналіз даних спостережень за температурою і кількістю опадів, які використано для розрахунків величини дефіциту кліматичного водного балансу як у розрізі року, так і помісячно. Отримані дані покладено в основу зонування території України за величиною кліматичного водного балансу в періоди 1961–1990 (референтні значення), 1991–2018, а також на 2050 та 2100 роки.

Картосхеми цього районування наведені в [4, 5]. Їх аналіз свідчить про те, що кліматичні зміни зумовили розвиток процесу прогресуючого зневоднення ґрунтів, внаслідок

чого площа ріллі з жорстким (понад 150 мм) дефіцитом річного кліматичного балансу постійно зростає і станом на 1.01.2016 р. досягла 18,65 млн га (57% від наявної площі ріллі). Якщо темпи зростання середньорічної температури повітря, а сьогодні вони становлять понад 0,6°C/10 років і є найвищими серед країн Європи, збережуться, то у 2050 р. площа ріллі з дефіцитом річного кліматичного балансу досягне 21,78 млн га (67% наявної площі ріллі), а у 2100 – 26 млн. га (80% наявної площі ріллі). Внаслідок прогресуючих кліматичних змін також очікується подальше зменшення доступних до використання водних ресурсів за одночасного погіршення їх якості [4–6].

Отже зміни клімату вже спричинили значне погіршення умов ведення землеробства в Україні і будуть надалі їх погіршувати через прогресуюче зростання дефіциту кліматичного водного балансу, унаслідок чого стале ведення землеробства не тільки в зоні Степу, а і Лісостепу і на Поліссі буде можливим лише за умови штучного покращення природного вологозабезпечення шляхом зрошення або водорегулювання з допомогою систем дренажу [4–7].

За офіційними статистичними даними в Україні станом на 1 січня 2017 р. обліковувалось 5485,3 тис. га меліорованих, зокрема 2178,3 тис. га зрошуваних і 3307,0 тис. га осушуваних земель із відповідною меліоративною інфраструктурою (водосховища, магістральні та розподільні канали, захисні дамби, насосні станції, колекторно-дренажна мережа та ін.).

Згідно з даними інвентаризації до складу міжгосподарських зрошувальних систем (ЗС) входять 423 головні водозабірні споруди, 1730 насосних станцій, 96 водосховищ з корисним об'ємом 463 млн м³. Протяжність постійної зрошувальної мережі складає 7,3 тис. км, зокрема – 3,3 тис. км та трубопроводу – 3,9 тис. км.

До складу інженерної інфраструктури зрошувальних систем відноситься також колекторно-дренажна мережа, протяжність якої становить 7,7 тис. км. На цій мережі функціонує 3,2 тис. гідротехнічних споруд, а також 930 дренажних насосних станцій та 815 свердловин вертикального дренажу.

Станом на 2013 р. у наявності в сільськогосподарських підприємствах було 5655 одиниць стаціонарного зрошувального обладнання та 4572 пересувного. З цієї кількості 4226 одиниць припадало на дощувальні машини, 1613 – різноманітні пристрої для

поливу та 4388 – водяні насоси та насосні станції.

Дренажна інфраструктура в зоні Полісся включає 1671 дренажну меліоративну систему. Зокрема 835 осушувальних систем однієї дії на площі 1,7 млн га, 585 осушувально-зволожувальних систем двобічної дії на площі 1,1 млн га та 251 польдерну систему на площі 0,4 млн га. Осушувальні системи складають 47%, осушувально-зволожувальні та водоборотні системи з акумуляцією дренажних вод – 42%, та системи польдерного типу – 11%. Найбільш досконалими технічно вважаються системи двобічної дії та системи польдерного типу, які обслуговують близько 1,4 млн га осушуваних земель. Майже на 70% площ меліоративні системи мають закритий дренаж. На 1,1 млн га передбачена можливість двостороннього регулювання водного режиму, на 317 тис. га побудовані польдерні системи [8, 10].

Дослідження, проведені фахівцями ІВПіМ НААН, засвідчили, що на сьогодні стан сектора зрошення та дренажу є критичним і характеризується:

- практично повною відсутністю капіталовкладень в інженерну інфраструктуру зрошувальних та дренажних систем;
- значним погіршенням технічного стану головних насосних станцій, насосних станцій підкачки, магістральних та розподільних каналів, напірних трубопроводів, водосховищ, водоприймальних басейнів та інших об'єктів інженерної інфраструктури (рис. 1–3), особливо внутрішньогосподарської зрошувальної і дренажної мережі. Регулююча запірня та захисна арматура на меліоративній мережі перебуває в незадовільному стані і не відповідає сучасним вимогам [11–13];
- незадовільним технічним станом існуючого насосно-силового обладнання та високою енергоємністю подачі води на зрошення (до 400–450 кВт год на 1000 м³). Електротехнічне обладнання та устаткування насосних станцій за майже 50-річний період експлуатації практично повністю вичерпало свій проєктний ресурс, що призвело до росту аварійних ситуацій та зупинок на ремонт. За практично повного фізичного зносу фактичні значення ККД агрегатів значно менші від їх номінальних значень. Понад 60% насосних агрегатів, зокрема найбільш поширених на зрошувальних системах відцентрових насосах типу Д, відпрацювали нормативний термін експлуатації та потребують капітального ремонту або повної заміни на сучасні енергоефективні агрегати з можливістю максимального маневрування відповідно з попитом;



Рис. 1. Стан залізобетонних конструкцій аварійного полігонального водоскиду в Херсонській області



Рис. 2. Докова частина польдерної насосної станції в Закарпатській області



Рис. 3. Технічний стан Головної насосної станції в Одеській області

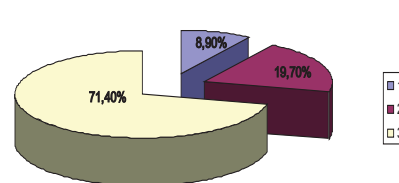
• недостатньою забезпеченістю сучасним високотехнологічним дощувальним обладнанням на площі більше 650 тис. га, відсутністю дієвих механізмів державної підтримки виробництва та придбання засобів поливу та нестачею коштів у сільгоспвиробників на оновлення парку дощувальних машин. Здебільшого використовується морально застаріла широкозахватна дощувальна техніка, яка перевищила свій нормативний ресурс роботи у 2,0–2,5 рази, внаслідок чого питомі витрати енергії на зрошення збільшуються. На сьогодні 8 тис. таких дощувальних машин у робочому стані знаходиться близько 5 тис. одиниць. Але вони також не в змозі забезпечити проведення якісних поливів відповідно до науково обґрунтованих режимів зрошення. Слід відзначити, що попит сільгоспвиробників на дощувальну техніку зараз здебільшого задовольняється за рахунок таких іноземних марок машин як “Valley”, “Zimmatic”, “Reinke”, “Centerliner”, “Linestar” “Bauer” та інші. Проте на сьогодні ПАТ «Завод Фрегат» освоїло виробництво сучасних широкозахватних дощувальних машин фронтального і кругового переміщення із забором води

із закритої зрошувальної мережі, які за своїми техніко-технологічними характеристиками здатні конкурувати із зарубіжними аналогами, а виробничі потужності ПАТ «Завод Фрегат» достатні для задоволення не тільки внутрішніх потреб, а й для поставки дощувальної техніки на експорт;

• значними (до 40–50%) непродуктивними втратами води на шляху її транспортування до поля через незадовільний стан облицювання меліоративних каналів, водосховищ, басейнів накопичувачів та ін. (рис. 4, 5). Зважаючи на те, що більшість магістральних, розподільних каналів, водосховищ і басейнів накопичувачів були побудовані або реконструйовані 40–50 років тому, нормативний термін роботи облицювання закінчився, його технічний стан оцінюється як незадовільний або навіть критичний і, як наслідок, фільтраційні втрати зростають, а коефіцієнт корисної дії споруд зменшується [8, 14]. Встановлено, що найменші фільтраційні втрати води зафіксовані на Каховській зрошувальній системі, як найновішій і більш технологічно досконалій побудованих в Україні. Одночасно, на одній з перших великих зрошувальних систем



Рис. 4. Технічний стан каналів



1-заповнення каналів;
2- скиди; 3 – фільтрація
+ випаровування

Рис. 5. Розподіл непродуктивних втрат води

Інгулецькій, що введена в експлуатацію у 1956–1963 рр., на шляху транспортування втрачається до 50% води. Такі ж втрати і на Нижньо-Дністровській зрошувальній системі в Одеській області;

- суттєвим погіршенням технічного стану меліоративних систем гумідної зони, фізичним та моральним старінням основних меліоративних фондів, практично повною відсутністю робіт із належної експлуатації внутрішньогосподарської мережі. Загальна зношеність елементів інженерної інфраструктури меліоративних систем гумідної зони нині складає понад 60%. Через відсутність на дренажній мережі відповідних технічних засобів та гарантованих джерел води, недосконалість конструктивно-технологічних рішень щодо акумуляції, перерозподілу та повторного використання води для зволоження 60–65% наявних систем дренажу не в змозі виконувати двостороннє регулювання водного режиму;

- порушенням технологічної цілісності меліоративних систем, яку спричинено розпаюванням земель, і, як наслідок, подрібненням земельних ділянок та збільшенням кількості землекористувачів, передачею внутрішньогосподарських мереж у комунальну власність.

Внаслідок невдалого реформування економічних відносин, ще у 90-х роках ХХ століття, при якому проведено розпаювання земель, було зруйновано цілісність меліоративного комплексу, подрібнено великі колективні господарства на невеликі фермерські господарства з різноманітною формою організації та різними економічними можливостями. Невеликі фермерські господарства, дрібні землекористувачі неспроможні компенсувати витрати, пов'язані з відновленням інфраструктури, застосуванням новітніх агротехнологій, закупівлею сучасних дощувальних машин та сільськогосподарської техніки, придбанням засобів захисту рослин [4, 9, 10, 17].

До речі, міжгосподарська мережа залишилась у державній власності, працездатна і перебуває в задовільному технічному стані, хоча нормативний термін експлуатації її інженерної інфраструктури практично повністю вичерпано. Внутрішньогосподарська мережа, що раніше була на балансі ліквідованих колгоспів та радгоспів, виявилася практично без власників, що призвело до її руйнування, розкрадання трубопроводів, обладнання насосних станцій, дощувальних машин. Передача внутрішньогосподарської мережі на баланс сільським радам згідно з Постановою КМ

України 2003 р. не сприяла її відновленню через відсутність фінансових та технічних ресурсів на реконструкцію, модернізацію, експлуатацію та обслуговування;

- недосконалістю та неефективністю існуючої, практично незмінної з радянських часів, системи управління водним ресурсами та меліорацією земель, які притаманні високий ступінь централізації, практично повна відстороненість водокористувачів від управління та формування тарифів на послуги з подачі води.

Організаційна структура також поєднує функції розробки та реалізації державної політики, зокрема планування водокористування та розподілу води між користувачами і управління інфраструктурою та надання послуг. Це протирічить загальноприйнятим у світі основним рамковим принципам управління водним господарством.

Існуюча державна політика в галузі меліорації і водного господарства неефективна і через неврегульованість низки законодавчих питань, а саме відносно приналежності внутрішньогосподарських меліоративних систем; створення та врегулювання діяльності організацій водокористувачів; шляхів залучення інвестицій в меліоративний комплекс; консолідації земельних паїв для спільного використання зрошуваних та осушуваних земель задля збереження технологічної цілісності меліоративних комплексів тощо.

Існуючі проблеми обумовлюють нездатність систем зрошення та дренажу адекватно реагувати на зміну кліматичних умов і потребують проведення комплексу заходів відновлення їх наявного потенціалу за для значного розширення площ фактичного поливу та водорегулювання.

На основі виконаного аналізу технічного стану зрошувальних та дренажних систем, за даними інвентаризації 2013 р. запропоновано роботи з відновлення та розвитку зрошення та дренажу насамперед проводити на існуючих меліоративних системах за наявного резерву потужностей для забору та подачі води (наприклад Головного Каховського магістрального каналу). При цьому загальна площа додаткового поливу тільки на великих зрошувальних системах півдня України може скласти понад 635 тис. га (табл. 1).

Нарощування площ поливу має проводитись шляхом здійснення модернізації зрошувальних систем на землях, що раніше поливались із максимальним використанням існуючих внутрішньогосподарських мереж. Нарощування площ водорегулювання

1. Орієнтовні площі та вартість введення додаткового зрошення на півдні України

Область	Площа додаткового введення зрошення, тис. га	В т.ч. по каналах, тис. га			
		Головний Каховський магістральний канал	Північно-Кримський канал	Канали Інгулецької зрошувальної системи	Інші канали
Дніпропетровська	70	–	–	–	70
Запорізька	140	40	–	–	100
Миколаївська	100	–	–	60	40
Одеська	100	–	–	–	100
Херсонська	225	125	90	10	–
Всього	635	165	90	70	310

потрібно здійснювати шляхом відновлення працездатності насамперед осушувально-зволожувальних систем, а також модернізації інших типів дренажних систем шляхом доповнення їх функцією водорегулювання або зрошення (табл. 2).

Модернізація та відновлення зрошувальних і дренажних систем має передбачати переважне застосування:

- інноваційних високотехнологічних способів та технік поливу, насамперед широкого впровадження систем краплинного зрошення, мікрозрошення, низьконапірних систем дощування та дощувальної техніки;
- водо- та енергозберігаючих, екологічно безпечних режимів зрошення та водорегулювання;

– сучасних протифільтраційних матеріалів: геомембран, геотекстилів, георешіток, геосіток, бентоматів та ін., які в різних сполученнях можна застосовувати для здійснення протифільтраційних заходів на магістральних та розподільчих меліоративних каналах, водосховищах, басейнах-накопичувачах;

– сучасних високоефективних насосних агрегатів із м'яким пуском та регульованою продуктивністю, що дозволить істотно економити електроенергію, використовувати великі насосні агрегати в режимі малих подач;

– обладнання всіх водогосподарських систем приладами моніторингу та обліку витрат води, а також системами диспетчеризації з автоматичним управлінням процесами водоподачі, водорозподілу та водовідведення

2. Розподіл дренажних систем по областях України

Область	Загальна площа осушуваних земель, млн. га	Кількість меліоративних систем, шт.	Питома вага осушуваних земель у загальній площі с/г угідь, %	Площа систем двосторонньої дії, млн. га	Площа осушуваних земель, які використовуються у с/г виробництві, млн. га
Вінницька	0,057	162	3,3	0,003	0,056
Волинська	0,416	191	33,0	0,156	0,346
Житомирська	0,425	109	24,0	0,188	0,354
Закарпатська	0,185	7	40,5	0,002	0,168
Ів.-Франківська	0,195	27	30,9	–	0,194
Київська	0,188	64	9,6	0,083	0,153
Львівська	0,513	108	36,8	0,036	0,173
Рівненська	0,390	285	41,7	0,234	0,320
Сумська	0,106	64	5,7	0,078	0,096
Тернопільська	0,165	47	15,7	0,010	0,163
Хмельницька	0,117	124	14,0	0,024	0,116
Чернівецька	0,121	170	15,0	–	0,042
Чернігівська	0,300	176	14,3	0,241	0,271
Всього:	3,184	1534	26,4	1,059	2,774

і контролем водного балансу на всіх рівнях транспортування води;

- власних джерел енергопостачання, включаючи відновлювальні джерела енергії, що разом з комплексом енергозберігаючих заходів сприятиме зниженню енерговитрат на подачу води на зрошення;
- впровадження інформаційних систем управління зрошенням та водорегулюванням [8, 15].

Для визначення напрямів, черговості, вибору технічних і технологічних рішень щодо проведення модернізації, резервів потужності для кожної меліоративної системи попередньо потрібно здійснити повну технічну інвентаризацію та енергоаудит насосно-силового обладнання як на внутрішньогосподарському, так і на міжгосподарському рівнях. Пріоритетність проведення заходів із модернізації має визначатись залежно від комплексу різних факторів (технічний стан, висота підйому та витрати на подачу води, наявний резерв потужностей тощо) з врахуванням наявності попиту у сільгосптоваровиробників на розширення площ зрошення (водорегулювання) в зоні дії конкретної системи.

Методологічні та технологічні підходи щодо проведення реконструкції зрошувальних

систем було відпрацьовано на прикладі Нижньо-Дністровської ЗС в Одеській області (рис.6) в рамках виконання пілотного проекту «Реконструкція систем зрошення в Україні», що фінансувався Європейським банком реконструкції і розвитку.

Нижньо-Дністровська ЗС експлуатується з 1968 р. та перебуває в незадовільному технічному стані (рис. 6). Електротехнічне обладнання та устаткування насосних станцій за 50 років експлуатації практично повністю вичерпало проектний ресурс, напірні трубопроводи, водозабірні та підпірно-регульовальні споруди, магістральні та розподільчі канали, басейни-накопичувачі та інші гідротехнічні споруди перебувають в аварійному стані.

Система була запроєктована на 45 тис. га площ зрошення, проте 2018 р. поливалось менше 10 тис. га. За результатами технічного, енергетичного та фінансового аудиту на Нижньо-Дністровській системі визначено основні проблеми, вузькі місця та обґрунтовано перелік першочергових заходів із модернізації, реалізація яких дасть можливість відновити зрошення до проектного рівня.

Головними з них є:

- заміна на головній насосній станції (ГНС) та станціях підкачки існуючих висо-



Рис. 6. Нижньо-Дністровська ЗС

конапірних типів насосів на низьконапірні, маневрені та енергоефективні;

– модернізація тракту подачі води від ГНС до регульовального басейну шляхом влаштування додаткового трубопроводу;

– збільшення ємності регульовальних басейнів на водозаборах магістрального та розподільних каналів, басейнів добового регулювання на підкачувальних насосних станціях;

– проведення протифільтраційних заходів на магістральних каналах, басейнах-накопичувачах та водосховищах, зокрема і шляхом переобладнання частини відкритих зрошувальних каналів у трубопровідну мережу;

– обладнання насосних станцій та водорозподільної мережі водообліковими приладами, впровадження автоматизованої системи диспетчерського управління водорозподілом та інформаційної системи оперативного контролю водокористування;

– застосування альтернативних джерел енергозабезпечення шляхом будівництва вітрових електростанцій.

Проведення цих та інших заходів із модернізації дозволить відновити зрошення на Нижньо-Дністровській ЗС на проектному рівні.

Результати досліджень на Нижньо-Дністровській ЗС, ряді інших зрошувальних та дренажних систем України [18], узагальнення аналізу та світового досвіду, насамперед досвіду трансформації зрошення та дренажу в пострадянських країнах [16, 17], стали основою формування наукових засад відновлення та розвитку зрошення і дренажу в Україні, які передбачають:

1. Проведення правової та інституційної реформи системи управління меліоративною галуззю на засадах децентралізованої, із залученням водокористувачів до управління інженерною інфраструктурою систем зрошення і дренажу.

2. Формування та реалізація нової державної політики управління сектором зрошення та дренажу, що передбачає відокремлення функцій управління водними ресурсами від функції управління та експлуатації інженерною інфраструктурою водного господарства.

3. Удосконалення існуючого та розроблення нового законодавства з питань управління водними ресурсами та меліорацією земель.

4. Модернізацію зрошувальних та дренажних систем на основі розроблення та реалізації інвестиційних проектів із віднов-

лення та розвитку зрошення та дренажу з використанням механізмів фінансування з державних та приватних джерел, а також від міжнародних фінансових інституцій.

5. Заходи з модернізації мають забезпечити мінімізацію питомих витрат електроенергії на подачу і відведення води, значне зменшення її втрат на фільтрацію та технологічні скиди на шляху транспортування від джерела водопостачання до поля як через застосування більш досконалих технічних та технологічних рішень і обладнання, так і інформаційних технологій та систем управління процесами водоподачі, водорозподілу та водовідведення.

6. Відновлення інфраструктури зрошення і дренажу має відбуватись на засадах пріоритетності забезпечення завдань охорони навколишнього середовища, включаючи збереження та відтворення родючості ґрунтів, захист територій та населених пунктів від шкідливої дії вод, досягнення та підтримання доброго стану водних ресурсів на основі запровадження принципу «забруднювач платить».

7. Розробку та впровадження механізму фінансування витрат на управління, обслуговування, експлуатацію та розвиток зрошення і дренажу на основі нової системи утворення тарифів. Тарифи мають визначатись на засадах повного покриття собівартості та віддзеркалювати фактичну собівартість, а механізм визначення тарифів має бути колективним, прозорим, логічним та зрозумілим для всіх зацікавлених сторін; має відображати реальні витрати на управління та експлуатацію на всіх рівнях функціонування меліоративних систем та інше.

8. Розробку та впровадження системи наукового та кадрового забезпечення меліоративної галузі, розвиток потенціалу організацій, що беруть участь у плануванні, наукових дослідженнях, проектуванні, експлуатації та технічному обслуговуванні зрошувальних і дренажних систем на всіх рівнях (міжгосподарський та внутрішньогосподарський), в управлінні цими системами та навчанні персоналу.

Ці підходи реалізовані в «Стратегії зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 року», яка розроблена науковцями ІВПіМ НААН спільно з групою експертів зі Світового Банку, ФАО та затверджена Кабінетом міністрів України у 2019 р. Виконання «Стратегії» дозволить створити в Україні ефективний та дієвий сектор послуг зі зрошення і дренажу, що управляється за участю водокористувачів і забезпечує

сталість землеробства в умовах змін клімату та сприяє вирішенню стратегічного завдання з розвитку сільського господарства України в напрямі досягнення ним статусу комерційно життєздатного світового лідера з виробництва продовольства [19].

Висновки. Зміни клімату зумовили значне погіршення умов природного вологозабезпечення території України. Пом'якшити негативний вплив кліматичних змін можливо шляхом створення ефективного та дієвого сектора зрошення та дренажу, що дасть можливість забезпечити сталість землеробства та створити передумови для перетворення нашої країни у світового лідера з виробництва продовольства.

Виконаний аналіз існуючої системи управління водними ресурсами і меліорацією земель показав, що незадовільний стан використання наявного потенціалу зрошення та дренажу сформувався внаслідок відсутності капіталовкладень, незавершеності реформування економічних відносин в галузі та земельної реформи, недосконалості механізмів державної підтримки та існуючого законодавства, неефективності моделі організації та управління галуззю.

На підставі вивчення світового досвіду та проведених досліджень визначено, що відновлення та розвиток зрошення і дренажу в Україні можливі лише за умови проведення правових та інституційних реформ на

засадах децентралізації, удосконалення існуючого законодавства, проведення заходів із модернізації зрошувальних та дренажних систем на основі розроблення та реалізації інвестиційних проектів із відновлення та розвитку зрошення та дренажу, створення сприятливих умов для залучення інвестицій, розробки та впровадження механізму фінансування витрат на управління, обслуговування, експлуатацію та розвиток зрошення і дренажу на основі нової системи утворення тарифів, розробки та впровадження системи наукового та кадрового забезпечення меліоративної галузі.

Основою розгортання робіт із відновлення зрошення та дренажу має стати «Стратегія зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 р.», а інструментом досягнення цілей «Стратегії...» відповідний план заходів, сформований на принципово нових інституційних, науково-технічних, техніко-технологічних, економічних, організаційних, соціальних та екологічних підходах.

Успішна реалізації цілей відновлення зрошення та дренажу в Україні дозволить створити умови для сталого ведення прибуткового аграрного виробництва в умовах змін клімату, відновити полив на площі близько 1,0–1,2 млн. га та водовідведення на площі 1,0 млн. га та додатково отримувати до 10 млн. тонн зерна, 8–10 млн. тонн плодів, ягід та овочів щорічно.

Бібліографія

1. Стратегія удосконалення механізму управління в сфері використання та охорони земель сільськогосподарського призначення державної власності та розпорядження ними. Постанова КМ України від 7.06.2017 № 413. Урядовий кур'єр, 17.06.2017. № 112.
2. Сайдак Р.В. Вплив агрометеорологічних та агротехнічних чинників на рівень і сталість продуктивності сільськогосподарських культур у зоні Південного Степу // Меліорація і водне господарство. Київ. 2009. Вип. 97. С. 261–271.
3. Основні характеристики земельного фонду України. Харків. 2017. URL: <https://proconsul.com.ua/konsultacii/pokazateli-rynka-nedvizhimosti/>
4. Концепція відновлення та розвитку зрошення у південному регіоні України / За наук. ред. д.т.н., акад. М.І. Ромащенко. Київ: ЦП «Компринт», 2014. 28 с.
5. Тараріко Ю.О., Сайдак Р.В., Сорока Ю.В. Підсумки та перспективи досліджень з оцінки та раціонального використання агроресурсного потенціалу сільськогосподарських територій // Меліорація і водне господарство. Київ. 2019. № 2. С. 186–198.
6. Районування території України за рівнем забезпеченості гідротермічними ресурсами та обсягами використання сільськогосподарських меліорацій / Ю.О. Тараріко та ін. ЦП «Компринт», 2015. 62 с.
7. Вплив кліматичних змін на вологозабезпечення території України та виробництва сільськогосподарської продукції / М.І. Ромащенко та ін. / Мат-ли наук. практ. конф. «Вода для всіх» Київ: ТОВ «ЦП Компринт». 21.03.2019. С. 179–180.
8. Меліорація ґрунтів (систематика, перспективи, інновації): колективна монографія / Балюк С.А. та ін. Херсон: Грін Д.С., 2015. 668 с.
9. Наукові засади відновлення та розвитку зрошення в Україні в сучасних умовах / Ромащенко М.І., та ін. // Меліорація і водне господарство. Київ. 2017. Вип. № 106. С. 3–14.

10. Воропай Г.В., Яцик М.В., Мозоль Н.В. Сучасний стан та перспективи розвитку осушувальних меліорацій в умовах змін клімату // Меліорація і водне господарство. Київ. 2019. № 2. С. 31–39.
11. Дехтяр О.О., Коваленко О.В., Брюзгіна Н.Д. Оцінка технічного стану об'єктів інженерної інфраструктури меліоративних систем // Меліорація і водне господарство. Київ. 2018. Вип. 107. С. 102–109.
12. Крученюк В.Д., Дехтяр О.О., Брюзгіна Н.Д. Перспективні технології усунення активних протічок води в бетонних спорудах // Зб. «Будівельні матеріали, виробы і санітарна техніка». Київ. 2012. № 45. С. 25–29.
13. Відновлення функціональної здатності зрошувальних систем / Крученюк В.Д. та ін. // Вісник аграрної науки. Київ. 2015. № 3. С. 49–52.
14. Дослідження технологічних втрат води із зрошувальних каналів та шляхи з їх мінімізації / Дехтяр О.О. та ін. Мат-ли наук.-пр.конф. «Вода: проблеми та шляхи вирішення» Рівне. 5-8.07. 2017. С. 94–99.
15. Наукові засади розвитку аграрного сектора економіки південного регіону України / за наук. ред. Ромашенка М.І., Вожегової Р.А., Шатковського А.П. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС. 2017. 438 с.
16. Romashchenko M., Dekhtiar O. Irrigation Reform in Ukraine: Organizational and Legal Aspects/ 2nd World Irrigation Forum (WIF2) “Water management in a changing World: Role of Irrigation in Sustainable Food Production”. 6-12.11 2016. Chiang Mai, Thailand. W.1.3.01. 11 p.
17. Ромашенко М.І., Дехтяр О.О. Деякі аспекти реформування водогосподарської галузі // Меліорація і водне господарство. Київ. 2016. Вип. 103. С. 3–8.
18. Оцінка перспектив відновлення зрошення та порівняльний аналіз водокористування в зоні великих зрошувальних систем Ромашенко М.І. та ін. Міжнар. наук.-пр. конф. «Вода для всіх» Київ. 2019. С. 49–50.
19. Стратегія зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 року URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/688-2019-%D1%80>.

References

1. Strategiiia udoskonaleniia mekhanizmu upravlinnia v sferi vykorystannia ta okhorony zemel silskohospodarskogo pryznachennia derzhavnoi vlasnosti ta rozporiadzhennia nymy [Strategy for improving the management mechanism in the area of use and protection of agricultural land of state ownership and disposal]: Postanova KM Ukrainy № 413 (2017, July 7). Uriadovyi kurier, 112. [in Ukrainian].
2. Saidak, R.V. (2009). Vplyv agrometeorolohichnykh ta agrotekhnichnykh chynnykiv na riven i stalist produktyvnosti silskohospodarskykh kultur u zoni Pivdennoho Stepu [Influence of agrometeorological and agrotechnical factors on the level and sustainability of crop productivity in the Southern Steppe zone]. Melioratsiia i vodne hospodarstvo, 97, 261–271. [in Ukrainian].
3. Osnovni kharakterystyky zemelnogo fondu Ukrayiny [The main characteristics of the land fund of Ukraine]. Kharkiv. 2017. Retrieved from: <https://proconsul.com.ua/konsultatsii/pokazateli-rynka-nedvizhimosti/>.
4. Romashenko, M.I. (Ed.). (2014). Kontseptsiiia vidnovlennia ta rozvytku zroshennia u pivdennomu rehioni Ukrayiny [The concept of restoration and development of irrigation in the southern region of Ukraine]. Kyiv: TsP Komprint. [in Ukrainian].
5. Tarariko, Yu.O., Saidak, R.V., & Soroka, Y.V. (2019). Pidsumky ta perspektyvy doslidzen z otsinky ta razionalnoho vykorystannia agroresursnoho potentsialu silskohospodarskykh terytoriy [Results and prospects of research on the evaluation and rational use of agro-resource potential of agricultural areas]. Melioratsiia i vodne hospodarstvo, № 2, 186–198. [in Ukrainian].
6. Tarariko, Yu.O., Saidak, R.V., Soroka, Y.V., & Vitvitskyi, S.V. (2015). Raionuvannia terytoriyi Ukrayiny za rivnem zabezpechenosti hidrotermichnymy resursamy ta obsiahamy vykorystannia silskohospodarskykh melioratsiy [Zoning of the territory of Ukraine by the level of provision of hydrothermal resources and volumes of utilization of agricultural reclamation]. Kyiv: TsP Komprint. [in Ukrainian].
7. Romashenko, M.I., Sajdak, R.V., Matiash, T.V., & Knysh, V.V. (2019). Vplyv klimatychnykh smyn na volohosabespechennia terytoriyi Ukrayiny ta vyrobnytstvo silskogospodarskoyi produktsiyi [Influence of climate change on the water supply of the territory of Ukraine and production of agricultural products]. Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia, prysviachena Vsesvitnomu dnju vodnykh resursiv (voda dlia vsikh). Kyiv, 179–180. [in Ukrainian].

8. Baljuk, S.A., Romashhenko, M.I., & Truskavetskyi, R.S. (2015). Melioratsiia gruntiv (systematyka, perspektyvy, innovatsiyi): kolektyvna monografiia [Soil reclamation (systematics, perspectives, innovations): a collective monograph]. Kherson: Grin D.S. [in Ukrainian].
9. Romashchenko, M.I., Dekhtiar, O.O., Yatsiuk, M.V., Zhovtonog, O.I., Matyash, T.V., & Saydak, R.V. (2017). Naukovi zasady vidnovlennia ta rozvytku zroshennia v Ukrainy v suchasnykh umovakh [Scientific principles of irrigation restoration and development in Ukraine in modern conditions]. Melioratsiia i vodne hospodarstvo, 106, 3–14. [in Ukrainian].
10. Voropai, G.V., Yatsik, M.V., & Mozol, N.V. (2019). Suchasnyi stan ta perspektyvy rozvytku osushvalnykh melioratsiy v umovakh zmin klimatu [The current state and prospects of development of drainage reclamation in the face of climate change]. Melioratsiia i vodne hospodarstvo, 2, 31–39. [in Ukrainian].
11. Dekhtiar, O.O., Kovalenko, O.V., & Brjuzgina, N.D. (2018). Otsinka tekhnichnoho stanu obektiv inzhernoyi infrastruktury melioratyvnykh system [Assessment of the technical state of the objects of engineering infrastructure of reclamation systems]. Melioratsiia i vodne hospodarstvo, 107, 102–109. [in Ukrainian].
12. Kruchenjuk, V.D., Dekhtiar, O.O., & Brjuzgina, N.D. (2012). Perspektyvni tekhnolohii usunennia aktyvnykh protichok vody v betonnykh sporudakh [Prospective technologies for elimination of active water leaks in concrete structures]. Budivelni materialy, vyroby i sanitarna tekhnika, 45, 25–29. [in Ukrainian].
13. Kruchenjuk, V.D., Dekhtiar, O.O., Brjuzgina, N.D., & Shevchuk, Y.V. (2015). Vidnovlennia funktsionalnoi zdatnosti zroshvalnykh sysyem [Restoration of functionality of irrigation systems]. Visnyk agrarnoi nauky, 3, 49–52. [in Ukrainian].
14. Dekhtiar, O.O., Shevchuk, Y.V., Brjuzgina, N.D., & Ignatova, O.S. (2017). Doslidzhennia tekhnolohichnykh vtrat body iz zroshvalnykh kanaliv ta shliakhy z yikh minimizatsii [Investigation of technological water losses from irrigation canals and ways to minimize them]. Materily naukovopraktychnoi konferenzii: Voda: problemy ta shliakhy vyrishennia. Rivne, 94–99. [in Ukrainian].
15. Romashenko, M.I., Vozhehova, R.A., & Shatkovskiy, A.P. (2017). Naukovi zasady rozvytku agrarnoho sektoru ekonomiky pivdennoho regionu Ukrainy [Scientific bases of development of agrarian sector of economy of the southern region of Ukraine]. Kherson: OLDI-PLJUS.
16. Romashchenko, M., & Dekhtiar, O. (2016). Irrigation Reform in Ukraine: Organizational and Legal Aspects. 2nd World Irrigation Forum (WIF2) “Water Management in a Changing World: The Role of Irrigation in Sustainable Food Production”. Chiang Mai, Thailand. W.1.3.01.
17. Romashchenko, M.I., & Dekhtiar, O.O. (2016). Deiaki aspekty reformuvannia vodohospodarskoi haluzy [Some aspects of water sector reform]. Melioratsiia i vodne hospodarstvo, 103, 3–8. [in Ukrainian].
18. Romashchenko, M.I., Matiash, T.V., Dekhtiar, O.O., Shevchuk, S.A., & Saydak, R.V. (2019). Otsinka perspektyv vidnovlennia zroshennia ta porivnialnyi analiz vodokorystuvannia v zoni velykykh zroshvalnykh system [Assessment of prospects for irrigation restoration and comparative analysis of water use in the area of large irrigation systems]. Mizhnarodna naukovopraktychna konferentsiia, prysviachena Vsesvitnomu dnju vodnykh resursiv (voda dlia vsikh). Kyiv, 49–50. [in Ukrainian].
19. 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].

**М.И. Ромашенко, О.А. Дехтяр, М. В. Яцюк, Р.В. Сайдак, Т.В. Матяш, Ю.В. Гусев,
А.П. Шатковский, Г.В. Воропай, И.В. Войтович, А.П. Музыка, С.В. Усатый**
Проблемы и основные направления развития орошения и дренажа в Украине
в условиях изменений климата

Аннотация В работе приведены результаты анализа современного состояния, установлены основные проблемы и направления развития орошения и дренажа в Украине в условиях изменений климата. Выполненный комплексный анализ данных метеонаблюдений показал, что темпы роста среднегодовой температуры воздуха в Украине за последние 10 лет превышают 0,6° при практически неизменном количестве осадков и если эти темпы сохранятся, то в 2050 г. площадь пашни с дефицитом климатического водного баланса 150 мм и больше возрастет по сравнению с 2016 г. на 3,7 млн га и достигнет 21,78 млн га, а в 2100 г. – 26 млн га пашни. Климатические изменения обусло-

вили в Україні розвиток процесу прогресуючого обезвоживання ґрунтів, внаслідок чого стійке землеробство на всій території країни буде можливим тільки за умови зрошення або водорегулювання. В той же час використання потенціалу зрошувальних і дренажних систем є надзвичайно незадовільним. В 2019 р. фактично поливалось 532 тис. га, а водорегулювання здійснювалось на площі менше 300 тис. га. Для пошуку шляхів і механізмів відновлення потенціалу зрошувальних і дренажних систем виконано аналіз причин існуючого стану і встановлено, що кризовий стан в галузі сформувався в результаті багаторічного недофінансування робіт по експлуатації і відновленню, незастосованості реформування земельних і економічних відносин, недосконалості існуючого законодавства і механізмів державної підтримки, особливо моделі управління галуззю. За результатами досліджень розроблено наукові основи відновлення і розвитку зрошення і дренажу в умовах змін клімату, передбачаючи проведення правових і інституціональних реформ на основі децентралізованого управління з залученням водопольователів, удосконалення існуючого законодавства, модернізацію зрошувальних і дренажних систем, створення сприятливих умов для залучення інвестицій, впровадження механізму фінансування витрат на управління, обслуговування і експлуатацію на основі нової системи формування тарифів, розробку і впровадження системи наукового і кадрового забезпечення меліоративної галузі.

Ключові слова: кліматичні зміни, зрошувальні, дренажні системи, інфраструктура, модернізація, відновлення, Стратегія.

**M.I. Romashchenko, O.O. Dekhtiar, Yu.V. Husyev, M.V. Yatsiuk, R.V. Saydak,
T.V. Matyash, A.P. Shatkovskiy, G.V. Voropay, I.V. Voitovich, O.P. Muzyka, S.V. Usatyi**
**Problems and main areas of irrigation and drainage development in Ukraine
in a changing climate**

Abstract. The paper presents the current state analysis, identifies the main problems and areas of irrigation and drainage development in Ukraine in a changing climate. A comprehensive analysis of meteorological observations showed that the average rate of annual air temperature growth in Ukraine exceeded 0.6°C over the past 10 years having the almost constant precipitation and, if this trend continues, the arable area with the climatic water balance deficit of over 150 mm will increase by 3,7 mln ha compared to 2016 and will reach 21,78 mln. ha till 2050, and 26 mln ha by 2100. Since climate change has caused rapid soil dehydration, sustainable agriculture will only be possible with applying throughout irrigation or water regulation. Meanwhile, the use of the potential of irrigation and drainage systems remains extremely unsatisfactory. In 2019, 532,000 ha of land were actually irrigated, and water regulation was performed on less than 300,000 ha. To determine the possible ways and mechanisms to restore the irrigation and drainage systems potential, the reasons of the existing state were analyzed and it was established that the uncompleted land and economic reforms, imperfections in the existing legislation and state support mechanisms, especially in the sector management, caused the long-year underfunding of facilities operation and restoration and resulted in the crisis situation in the sector. Based on the research results, scientific foundations for the restoration and development of irrigation and drainage in a changing climate were developed, providing for legal and institutional reform to introduce a decentralized management with the water users involvement, improvement of the existing legislation, modernization of irrigation and drainage systems to create attractive investment environments, to introduce a financing mechanism to cover management, operation and maintenance costs based on a new tariff formation system, scientific support and staffing system for the land reclamation sector.

Key words: climate change, irrigation, drainage systems, infrastructure, modernization, restoration, Strategy.

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202001-223>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/223>

УДК 635.714:631.559:631.674.6

ВПЛИВ ПЛОЩІ ЖИВЛЕННЯ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ РОСЛИН МАТЕРИНКИ ЗВИЧАЙНОЇ (*Origanum vulgare* L.) 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, 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. Материнка звичайна (*Origanum vulgare* L.) – багаторічна лікарська рослина, її лікарською сировиною є надземна частина зібрана у фазі цвітіння. При закладанні промислових плантацій материнки застосовують переважно розсадний метод розмноження, тому що після сходів рослини повільно розвиваються та слабо конкурують із бур'янами. Умовою приживлення розсади є висока вологість ґрунту, яку можливо досягти лише за його штучного зволоження – зрошення. Метою проведених експериментальних досліджень було встановлення впливу способу вирощування розсади та площі живлення рослин на ріст і розвиток материнки звичайної в умовах краплинного зрошення. Встановлено, що збільшення площі живлення рослин сприяє збільшенню маси надземної частини та площі листя, а також зменшує висоту рослин як протягом першого, так і другого років вегетації. Доведено, що найбільш сприятливі умови для росту і розвитку рослин в умовах краплинного зрошення склалися у варіанті з найбільшою площею живлення, за густоти садіння 41,7 тис. росл./га (схема 60х40 см). Маса надземної частини рослин за цього способу вирощування у перший рік вегетації становила 110,5–133,0 г/росл. з найбільшою площею листя – 0,287–0,346 м²/росл. та 218,1–328,7 г/росл., 0,568–0,855 м²/росл. відповідно – у другий рік вегетації. Максимальну висоту рослин – 37,0–37,7 см у перший рік вегетації та 68,5–72,6 см на другому році вегетації було встановлено у варіантах із найменшою площею живлення рослин: за схеми вирощування 60х10 см (166,7 тис.росл./га). Найменша висота рослин у перший рік вегетації становила 31,1–33,5 см, у другий рік – 37,5–48,4 см у варіанті за схеми вирощування 60х40 см (41,7 тис. росл./га). За дослідження впливу способу вирощування розсади на масу надземної частини та площу листя було встановлено найвищі їх параметри у варіантах із закладанням розсади з касет весняного посіву, де маса надземної частини становила 103,8 г/росл. з площею листя 0,236 м²/росл. Мінімальну масу надземної частини – 92,3 г/росл. із площею листя 0,210 м²/росл. було встановлено у варіантах із закладанням розсадою з касет осіннього строку посіву.

Ключові слова: материнка звичайна, краплинне зрошення, розсада, площа живлення, спосіб вирощування, площа листя, маса надземної частини.

Актуальність дослідження. Материнка звичайна (*Origanum vulgare* L.) – багаторічна лікарська рослина, яка належить до родини *Lamiaceae* [1–4]. Цей вид материнки є найбільш поширеним серед усіх видів цього роду, які культивують в Європі, Західній та Центральній Азії, Північній Африці та Америці [5–7]. Ця рослина зустрічається як на чорноземах, так і на сухих, кам'янистих ґрунтах гірських районів на висоті до 4000 м [2, 8].

Лікарською сировиною материнки звичайної є надземна частина, зібрана у фазу цвітіння. Основною біологічно активною речовиною материнки є ефірна олія, до складу якої входять карвакрол і тимол [1, 5]. Ефірна олія материнки має протимікробні, антиоксидантні, цитотоксичні та протигрибкові власти-

вості [9–11]. Трава материнки звичайної збуджує апетит, стимулює діяльність шлунково-кишкового тракту, усуває нудоту, головний біль, регулює оваріально-менструальний цикл, діє як жовчогінний, сечогінний, потогінний, відхаркувальний, знеболюючий, протисудомний, заспокійливий, ранозагоювальний, протизапальний, антисептичний, протиглисливий засіб [9, 10]. Україна, в основному, імпортує лікарську сировину материнки звичайної, тому розроблення адаптивних технологій вирощування цієї культури є на сьогодні досить актуальним.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Материнка звичайна розмножується насінням, прямим висівом у ґрунт та розсадним методом [1, 2, 3]. У селекційній роботі застосовують також метод ділення

куща [2]. При закладанні промислових плантацій переважно використовують розсадний метод розмноження, тому що після сходів рослини повільно розвиваються та слабо конкурують із бур'янами. За розсадного способу закладання плантації є необхідність застосовувати зрошення, особливо в зонах нестійкого та недостатнього зволоження. Як показав проведений аналіз літературних джерел, на сьогодні, недостатньо вивченим є питання схеми вирощування та площі живлення материнки звичайної в умовах краплинного зрошення. Поряд з цим встановлено, що за вирощування лікарських рослин все більше застосовують краплинний спосіб зрошення, ефективність якого доведено на вирощуванні валеріани лікарської, ехінацеї пурпурової, шоломниці байкальської, м'яти перцевої та меліси лікарської [12, 13].

Мета дослідження – встановлення впливу способу вирощування розсади та площі живлення рослин на ріст і розвиток материнки звичайної в умовах краплинного зрошення.

Матеріали і методи дослідження. Дослідною станцією лікарських рослин ІАП НААН (ДСЛР) було проведено експериментальні дослідження зі встановлення впливу способу вирощування розсади та площі живлення рослин на ріст, розвиток та продуктивність материнки звичайної в умовах краплинного зрошення. Польовий дослід проведено протягом 2016–2018 рр. Дослідна ділянка розміщена в Лівобережній частині Лісостепової зони України на висоті 160 Чм над рівнем моря, на другій терасі лівого берега річки Сули (басейн Дніпра). Місцезнаходження визначено географічними координатами: 50°50' пн.ш. і 30°11' сх. д.

Ґрунт дослідної ділянки – чорнозем потужний малогумусний легкосуглинковий з гумусовим горизонтом 87–100 см. Вміст гумусу в 0–40 см шарі ґрунту становить 2,43%. Вміст легкогідролізованого азоту в ґрунті низький (10,36 мг/100 г), забезпеченість ґрунту рухомим фосфором дуже висока – 38,44 мг/100 г ґрунту, а рухомим калієм – підвищена (11,04 мг/100 г ґрунту). Реакція ґрунтового розчину слабокисла ($pH_{\text{водна}} - 5,52$), за обмінною кислотністю ґрунт характеризують як середньокислий ($pH_{\text{сольова}} - 4,54$). Найменша вологомісткість ґрунту (НВ) 0–100 см шару – 18,2%, 0–50 см – 17,5%, щільність складення – 1,32 г/см³.

В основу досліджень покладено метод польового дослідження [16]. Дослідження проведено відповідно до загальноприйнятих методик проведення польових досліджень з

лікарськими культурами, розроблених ДСЛР та Всесоюзним інститутом лікарських рослин [14], а також із використанням підходів, які викладено в «Методичних рекомендаціях з проведення польових досліджень за краплинного зрошення» [15], посібниках «Методика полевого опыта» (Доспехов Б.О., 1985) [16], «Методика изучения фенологии растений и растительных сообществ» [17] та «Методика полевых опытов на орошаемых землях» [18].

Протягом вегетаційного періоду рослин вологість кореневого шару ґрунту підтримували на рівні 80% від найменшої вологомісткості. Контроль за вологістю ґрунту здійснювали за допомогою тензіометричних датчиків типу ВВТ-П М [19]. Площа ділянки першого порядку – 25–75 м², облікова – 20–30 м² за чотириразового повторення. Сорт материнки звичайної – Україночка, попередник – пшениця озима.

Розсаду вирощували без використання укриття, грядовим способом, а також у касетах осіннього та весняного строків посіву.

Висаджування розсади проведено у третій декаді травня з густиною 42 тис. росл./га, 56 тис. росл./га, 83 тис. росл./га і 167 тис. росл./га.

Результати дослідження та їх обговорення. Початок сходів материнки звичайної осіннього терміну сівби в касетах було відмічено на 6 добу після висіву. У грядках початок сходів рослин фіксували на 7 добу після сівби. У зимовий період рослини як у грядках, так і в касетах входили у фазі 2–3 пари листків.

Для покращення перезимівлі рослин розсадник вкривали солом'яною пшениці озимою шаром 10–15 см. Навесні, з настанням стійкого потепління, короби звільняли від соломи та проводили облік загинувших рослин. За необхідності проводили проріджування рослин у чарунках.

Відновлення вегетації рослин після перезимівлі відбувалось залежно від погодних умов року. Так, у 2016 та 2017 роках відновлення вегетації спостерігали у III декаді березня, а у 2018 р. – у першій декаді квітня.

Рослини в касети весняного строку посіву висівали в третій декаді березня. До появи сходів рослин касети знаходились у приміщенні за температури +21–24°C з додатковим освітленням та були вкриті прозорою поліетиленовою плівкою із щільністю 25 г/м² для запобігання пересихання ґрунту. Масові сходи материнки звичайної в касетах весняного строку посіву відмічали на 4 добу.

Розсаду у відкритий ґрунт висаджували у третій декаді травня. Закладання дослідної

ділянки материнки звичайної проводили розсадою, вирощеною у грядках, висотою 11–12 см, касетах осіннього терміну сівби – 9–10 см та весняного – 6,5–7,0 см. На момент висаджування розсади рослини в касетах весняного терміну сівби знаходилися у фазі 4–5 пар листків, у касетах осіннього посіву та вирощеної на грядках – 3–6 пар листків. Одночасно із закладанням дослідної ділянки виконали також монтаж системи краплинного зрошення.

Після закладання польового досліду проводили спостереження за ростом і розвитком рослин залежно від їх площі живлення.

Отримані результати свідчать проте, що спосіб вирощування розсади материнки звичайної не мав суттєвого впливу на висоту рослин. Так, у варіантах, закладених розсадою, вирощеною на грядках, висота рослин становила в середньому 35,8 см, а у варіантах із закладанням розсади із касет – 34,5–34,9 см (таблиця 1).

За дослідження впливу способу вирощування розсади на масу надземної частини та площі листя було встановлено максимальні параметри у варіантах із закладанням розсади з касет весняного посіву, де маса надземної частини становила за варіантами 103,8 г/роsl. із площею листя 0,236 м²/роsl. Мінімальні параметри маси надземної частини 92,3 г/роsl. із площею листя 0,210 м²/роsl. було встановлено у варіантах із закладанням розсади з касет осіннього строку посіву.

Диференціація площі живлення суттєво впливала на ріст та розвиток рослин материнки звичайної. Максимальна висота рослин – 37,0–37,7 см була у варіанті з найменшою площею живлення за схеми вирощування 60x10 см (166,7 тис.роsl./га). Збільшення площі живлення рослин сприяло зменшенню висоти рослин. Так, найменші рослини з висотою 31,1–33,5 см було зафіксовано у варіантах за схеми вирощування 60x40 см (41,7 тис. роsl./га).

При проведенні досліджень на материнці першого року вегетації було виявлено залежність маси надземної частини та площі листя від площі живлення рослин для умов краплинного зрошення. Так, збільшення площі живлення материнки сприяло збільшенню маси надземної частини та площі листя (рисунки 1, 2). Цю залежність описуємо рівняннями:

$y = 316,27e^{-0,005x}$, $R^2 = 0,60$, де y – маса надземної частини, г/роsl.,

$y = 0,4327e^{-0,009x}$, $R^2 = 0,94$, де y – площа листя, м²/роsl.,

x – кількість рослин, тис. шт./га,

R^2 – величина достовірності апроксимації.

За схеми вирощування 60x10 см (166,7 тис. роsl./га) маса надземної частини материнки становила 56,2–58,7 г/роsl. з площею листя 0,103–0,107 м²/роsl., а збільшення площі живлення за схеми вирощування 60x20 см (83,3 тис. роsl./га.) сприяло збільшенню маси надземної частини до

1. Вплив способу вирощування розсади та площі живлення рослин на ріст і розвиток материнки звичайної першого року вегетації за краплинного зрошення (2016–2018 рр.)

Спосіб вирощування розсади	Схема садіння розсади, см (тис. роsl./га)	Висота рослин у фазу цвітіння, см	Маса надземної частини, г/роsl.	Площа листя, м ² /роsl.
Касетний (осінній посів)	60x10 (166,7)	37,2	56,2	0,103
	60x20 (83,3)	36,9	97,5	0,183
	60x30 (55,6)	32,7	105,2	0,267
	60x40 (41,7)	31,1	110,5	0,287
Касетний (весняний посів)	60x10 (166,7)	37,0	57,4	0,105
	60x20 (83,3)	37,1	115,3	0,217
	60x30 (55,6)	34,0	125,4	0,319
	60x40 (41,7)	31,3	117,0	0,304
Грядковий	60x10 (166,7)	37,7	58,7	0,107
	60x20 (83,3)	36,9	87,7	0,165
	60x30 (55,6)	34,4	101,4	0,258
	60x40 (41,7)	33,5	133,0	0,346
НІР _{0,5} головних ефектів ф. А		3,21	9,0	0,018
НІР _{0,5} головних ефектів ф. В		3,05	8,7	0,015
НІР _{0,5} часткових відмінностей ф. А		3,54	9,6	0,022
НІР _{0,5} часткових відмінностей ф. В		3,42	9,4	0,020

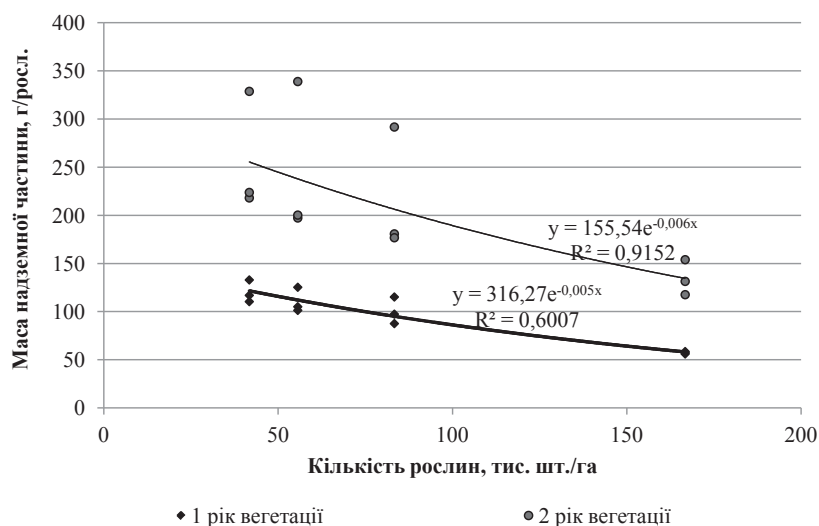


Рис. 1. Залежність маси надземної частини рослин материнки звичайної від площі живлення (кількості рослин на 1 га)

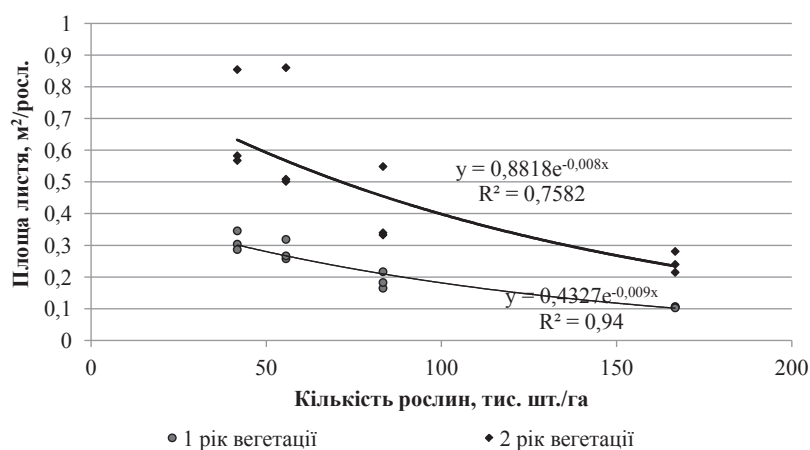


Рис. 2. Залежність площі листя рослин материнки звичайної від площі живлення (кількості рослин на 1 га)

87,7–115,3 г/росл. та площі листя – до 0,165–0,217 м²/росл. Максимальну масу надземної частини рослин материнки – 110,5–133,0 г/росл. з площею листя 0,287–0,346 м²/росл. було встановлено у варіанті за схеми вирощування 60х40 см (41,7 тис. росл./га).

Протягом другого року вегетації культури тенденції до зміни біометричних параметрів від площі живлення рослин були аналогічні до першого року вегетації. Тобто, зменшення площі живлення рослин сприяло збільшенню висоти рослин, водночас сприяло зниженню маси надземної частини та площі листя (рисунки 1, 2; таблиця 2). Цю залежність описуємо рівняннями:

$y = 155,54e^{-0,006x}$, $R^2 = 0,92$, де y – маса надземної частини, г/росл.,

$y = 0,8818e^{-0,008x}$, $R^2 = 0,76$, де y – площа листя, м²/росл.,

x – кількість рослин, тис. шт./га,

R^2 – величина достовірності апроксимації.

Величина достовірності апроксимації становить 0,92 та 0,76, що свідчить про високу достовірність залежності маси надземної частини та площі листя від площі живлення рослин.

За максимальної площі живлення (схеми вирощування 60х40 см – 41,7 тис. росл./га) висота рослин материнки була найменшою і становила 37,5–48,4 см. Найбільшу висоту рослин – 68,5–72,6 см було отримано

2. Вплив способу вирощування розсади та площі живлення рослин на ріст і розвиток материнки звичайної другого року вегетації за краплинного зрошення (2016–2018 рр.)

Спосіб вирощування розсади	Схема садіння розсади, см (тис. росл./га)	Висота рослин у фазу цвітіння, см	Маса надземної частини, г/росл.	Площа листя, м ² /росл.
Касетний (осінній посів)	60x10 (166,7)	72,6	154,0	0,281
	60x20 (83,3)	60,4	291,7	0,549
	60x30 (55,6)	53,1	338,9	0,861
	60x40 (41,7)	46,4	328,7	0,855
Касетний (весняний посів)	60x10 (166,7)	67,5	131,5	0,240
	60x20 (83,3)	54,8	180,8	0,340
	60x30 (55,6)	49,1	197,3	0,502
	60x40 (41,7)	37,5	218,1	0,568
Грядковий	60x10 (166,7)	68,5	117,7	0,215
	60x20 (83,3)	58,8	176,8	0,333
	60x30 (55,6)	56,2	200,3	0,509
	60x40 (41,7)	48,4	223,8	0,583
НІР _{0,5} головних ефектів ф. А		5,11	18,5	0,041
НІР _{0,5} головних ефектів ф. В		5,00	17,9	0,030
НІР _{0,5} часткових відмінностей ф. А		5,56	19,9	0,048
НІР _{0,5} часткових відмінностей ф. В		5,44	19,4	0,042

у варіанті за схеми вирощування 60x10 см (166,7 тис. росл./га).

Найменшу масу надземної частини материнки звичайної другого року вегетації 117,7–154,0 г/росл., з площею листя 0,215–0,281 м²/росл., було отримано у варіантах з найменшою площею живлення за схеми вирощування 60x10 см (166,7 тис. росл./га). Збільшення площі живлення за рахунок зменшення кількості рослин на 1 гектарі до 83,3 тис. росл./га сприяло збільшенню маси надземної частини до 176,8–291,7 г/росл. та збільшенню площі листя до 0,333–0,549 м²/росл. Найбільшу масу надземної частини рослин материнки – 218,1–328,7 г/росл. з найбільшою площею листя 0,568–0,855 м²/росл. було отримано за схеми вирощування 60x40 см з густотою 41,7 тис. росл./га.

За дослідження впливу способу вирощування розсади на ріст та розвиток рослин материнки звичайної на другому році вегетації встановлено, що найбільші біометричні параметри рослин було отримано у варіантах із закладанням розсади з касет осіннього строку посіву, де їх середня висота у розрізі варіантів становила 58,1 см, маса надземної частини 278,3 г/росл., а площа листя – 0,637 м²/росл. Найменша висота рослин – 52,3 см була у варіантах, закладених розсадою, з касет весняного посіву. Найменшу масу надземної частини – 179,7 г/росл. з площею листя 0,410 м²/росл. було отримано

у варіантах із закладанням розсадою на грядах.

Висновки. На основі експериментальних досліджень, проведених на культурі материнки звичайної, було отримано залежності маси надземної частини та площі листя від площі живлення рослин. Встановлено, що збільшення площі живлення рослин материнки в умовах краплинного зрошення сприяло збільшенню маси надземної частини та площі листя. Цю залежність для рослин другого року вегетації описано рівняннями – $y = 155,54e^{-0,006x}$, де y – маса надземної частини та $y = 0,8818e^{-0,008x}$, де y – площа листя. Величина достовірності апроксимації становить 0,92 та 0,76, що свідчить про високу достовірність залежності маси надземної частини та площі листя від площі живлення рослин.

Максимальну масу надземної частини рослин материнки звичайної першого року вегетації – 110,5–133,0 г/росл. з площею листя 0,287–0,346 м²/росл. – було отримано у варіанті зі схемою вирощування 60x40 см (41,7 тис. росл./га). На другому році вегетації ці параметри збільшилися до 218,1–328,7 г/росл. та 0,568–0,855 м²/росл. відповідно.

За дослідження впливу способу вирощування рослин розсади материнки звичайної на масу надземної частини та площу листя було встановлено максимальні їх параметри у варіантах із закладанням розсадою з касет.

Бібліографія

1. Эфиромасличные и лекарственные растения: учебное пособие / Ушкаренко В.А. та ін. Херсон: Айлант, 2004. 232 с.
2. Илиева С. Лекарственные культуры. София: Земиздат, 1971. 261 с.
3. Vokou D., Kokkini S., Bessiere JM. Geographic variation of Greek oregano (*Origanum vulgare* ssp. *hirtum*) essential oils // *Biochem Syst Ecol.* 1993. V. 21. P. 287–295.
4. Spada P., Perrino P. Conservation of Oregano species in national and international collections: an assessment // In *Oregano, proceedings of the IPGRI International workshop on Oregano*, 1996. P. 8–12.
5. Лікарські рослини: технології вирощування та використання / Біленко В.Г. та ін. Житомир: Рута, 2015. 600 с.
6. Goliaris A.H., Chatzopoulou P.S., Katsiotis S.T. Production of new Greek oregano clones and analysis of their essential oil // *J. Herbs, Spices and medicinal plants.* 2002. V. 10 (1). P. 29–35.
7. Ietswaart J.H. A taxonomic revision of the genus *Origanum* (labiatae). Leiden university Press. The Hague. 1980. 153 p.
8. Snogerup S. Evolutionary and plant geographical aspects of Chasmophytic communities. *Plant life of South-West Asia.* Edinburgh, the Botanical Society, 1971. P. 157–170.
9. Сучасна фітотерапія / Гарна С.В. та ін. Харків: Друкарня Мадрид, 2016. 580 с.
10. Котюк Л.А., Рахметов Д.Б. Біологічно активні речовини *Origanum vulgare* L. // *Физиол. раст. и генет.* 2016. Т. 48, № 1. С. 20–25.
11. Effects of irrigation intervals and organic manure on morphological traits, essential oil content and yield of oregano (*Origanum vulgare* L.) / GERAMI, FARZAD et al. *An. Acad. Bras. Ciênc., Rio de Janeiro*, 2016. V. 88, n. 4, p. 2375–2385. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201620160208>
12. Ромащенко М.І., Шатковський А.П., Приведенюк Н.В. Технології вирощування лікарських рослин за краплинного зрошення // *Лікарські рослини: традиції та перспективи досліджень: матеріали III Міжнародної наукової конференції. Березоточа*, 2016. С. 121–126.
13. Приведенюк Н.В., Трубка В.А. Вплив схеми висаджування на продуктивність м'яти перцевої в умовах краплинного зрошення // *Лікарське рослинництво: від досвіду минулого до новітніх технологій: матеріали сьомої Міжнародної науково-практичної конференції. Полтава*, 2019. С. 66–68.
14. Брикин А.И. Проведение полевых опытов с лекарственными культурами. Москва: ЦБНТИМП, 1981. 60 с.
15. Методичні рекомендації з проведення польових досліджень за краплинного зрошення. Ромащенко М.І. та ін. Київ: ДІА, 2014. 46 с.
16. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Москва: Агропромиздат, 1985. 351 с.
17. Бейдемман И.Н. Методика изучения фенологии растений. Новосибирск: Сибирское отделение издательства «Наука», 1974. 155 с.
18. Горянский М.М. Методика полевых опытов на орошаемых землях. Киев: Урожай, 1970. 84 с.
19. Ромащенко М.И., Корюненко В.Н., Шатковский А.П. Использование тензиометров для диагностики полива овощных культур на капельном орошении // *Овощеводство.* 2007. № 1 (25). С. 70–73.

References

1. Ushkarenko, V.A., Fedorchuk, M.I., Rabotyagov, V.D. & Fedorchuk, V.G. (2004). *Efiromaslichnye i lekarstvennye rasteniya: uchebnoe posobie* [Essential oils and medicinal plants: a training manual]. Kherson: Ajlant. [in Russian].
2. Ilieva, S. (1971). *Lekarstvennye kul'tury* [Medicinal crops]. Sofiya: Zemizdat. [in Russian].
3. Vokou, D., Kokkini, S. & Bessiere, JM. (1993). Geographic variation of Greek oregano (*Origanum vulgare* ssp. *hirtum*) essential oils. *Biochem Syst. Ecol.*, 21, 287–295.
4. Spada, P. & Perrino, P. (1996). Conservation of Oregano species in national and international collections: an assessment. In *Oregano, proceedings of the IPGRI International workshop on Oregano*, 8–12.
5. Bilenko, V.G., Yakubenko, B.E., Likar, Y.O. & Lushpa, V.I. (2015). *Likarski roslyny: tekhnolohii vyroshchuvannia ta vykorystannia* [Medicinal plants: technologies of cultivation and use]. Zhytomyr: Ruta. [in Ukrainian].

6. Goliaris, A.H., Chatzopoulou, P.S. & Katsiotis, S.T. (2002). Production of new Greek oregano clones and analysis of their essential oil. *J. Herbs, Spices and medicinal plants*, 10 (1), 29–35.
7. Ietswaart, J.H. (1980). A taxonomic revision of the genus *Origanum* (labiatae). Leiden university Press. The Hague.
8. Snogerup, S. (1971). Evolutionary and plant geographical aspects of Chasmophytic communities. *Plant life of South-West Asia*. Edinburgh, the Botanical Society, 157–170.
9. Harna, S.V., Vladymyrova, I.M., Burd, N.B., Heorhiiants, V.A., Kotov, A.G., Prokopenko, T.S. et al. (2016). *Suchasna fitoterapiia [Modern phytotherapy]*. Kharkiv: «Drukarnia Madryd». [in Ukrainian].
10. Kotiuk, L.A. & Rakhmetov, D.B. (2016). Biologichno aktyvni rehovyny *Origanum vulgare* L. [The biologically active substances of *Origanum vulgare* L.]. *Fyzyol. rast. & henet.*, 48, 1, 20–25. [in Ukrainian].
11. Gerami, F., Moghaddam, P.R., Ghorbani, R. & Hassani, A. (2016). Effects of irrigation intervals and organic manure on morphological traits, essential oil content and yield of oregano (*Origanum vulgare* L.) *An. Acad. Bras. Ciênc.*, Rio de Janeiro, 88, 4, 2375–2385, Retrieved from <https://doi.org/10.1590/0001-3765201620160208>
12. Romashchenko, M.I., Shatkovskiy, A.P., & Pryvedeniuk, N.V. (2016). Tekhnolohii vyroshchuvannya likarskykh roslyn za kraplynnoho zroshennia [Technologies for growing medicinal plants by drip irrigation]. *Likarski roslyn: tradytsii ta perspektyvy doslidzhen: materialy III Mizhnarodnoi naukovoï konferentsii*. Berezotocha, 121–126. [in Ukrainian].
13. Pryvedeniuk, N.V. & Trubka, V.A. (2019). Vplyv skhemy vysadzhuvannya na produktyvnist miaty pertsevoi v umovakh kraplynnoho zroshennia [Influence of the planting scheme on the productivity of peppermint in the conditions of drip irrigation]. *Likarske roslynnytstvo: vid dosvidu mynuloïho do novitnikh tekhnolohii: materialy 7 Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii*. Poltava, 66–68. [in Ukrainian].
14. Brikin, A.I. (1981). *Provedenie polevykh opytov s lekarstvennymi kul'turami [Conducting field experiments with medicinal crops]*. Moscow: CzBNTIMP. [in Russian].
15. Romashchenko, M.I., Shatkovskiy, A.P., Usata, L.G., Ryabkov, S.V., Koriunencko, V.M., & Cherevychnyi, Y.O. et al. (2014). *Metodychni rekomendatsii z provedennia pol'ovykh doslidzhen za kraplynnoho zroshennia [Methodical recommendations for field studies on drip irrigation]*. M.I. Romashchenko (Ed.). Kyiv. [in Ukrainian].
16. Dospekhov, B.A. (1985). *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledavaniy) [The methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results)]*. Moscow: Agropromizdat. [in Russian].
17. Bejdeman, I.N. (1974). *Metodika izucheniya fenologii rastenij. Metodicheskie ukazaniya [Methodology for the study of plant phenology]*. Novosibirsk, Sibirskoe otdelenie izdatelstva "Nauka". [in Russian].
18. Goryanskij, M.M. (1970). *Metodika polevykh opytov na oroshaemykh zemlyakh [Methods of field experiments on irrigated lands]*. Kiev: Urozhaj. [in Russian].
19. Romashchenko, M.I., Koriunencko, V.M. & Shatkovskiy, A.P. (2007). *Ispolzovaniie tenziometrov dlia diahnostiki poliva ovoshchnykh kultur na kapielnom oroshenii [The use of tensiometers for the diagnosis of irrigation of vegetable crops on drip irrigation]*. *Ovoshchievodstvo*, 1(25), 70–73. [in Russian].

Н.В. Приведенюк, А.П. Шатковский

Влияние площади питания на продуктивность растений душицы обыкновенной (*Origanum vulgare* L.) в условиях капельного орошения

Аннотация. Душица обыкновенная (*Origanum vulgare* L.) – многолетнее лекарственное растение, ее лекарственным сырьем является надземная часть, собранная в фазе цветения. При закладке промышленных плантаций душицы используют преимущественно рассадный метод размножения, так как после всходов растения медленно развиваются и слабо конкурируют с сорняками. Условием приживаемости рассады является высокая влажность почвы, которую можно достичь лишь при ее искусственном увлажнении – орошении. Целью проведенных экспериментальных исследований было установление влияния способа выращивания рассады и площади питания растений на рост и развитие душицы обыкновенной в условиях капельного орошения. Установлено, что увеличение площади питания растений способствует увеличению массы надземной части и площади листьев, а также уменьшает высоту растений как в течение первого, так и второго года веге-

тації. Доказано, що найбільш сприятливі умови для росту і розвитку рослин в умовах капельного зрошення склалися в варіанті з найбільшою площею живлення при густоті посадки 41,7 тис. росл./га (схема 60x40 см). Маса надземної частини рослин при цьому способі вирощування в перший рік вегетації становила 110,5–133,0 г/росл. з найбільшою площею листків – 0,287–0,346 м²/росл. і 218,1–328,7 г/росл., 0,568–0,855 м²/росл. відповідно – во второй рік вегетації. Максимальну висоту рослин – 37,0–37,7 см в перший рік вегетації рослин і 68,5–72,6 см на другому році вегетації було встановлено в варіантах з найменшою площею живлення рослин: при схемі вирощування 60x10 см (166,7 тис. росл. га). Найменша висота рослин в перший рік вегетації становила 31,1–33,5 см, во второй рік – 37,5–48,4 см в варіанті схеми вирощування 60x40 см (41,7 тис. росл./га). При дослідженні впливу способу вирощування рассади на масу надземної частини і площу листків було встановлено високі їх параметри в варіантах з закладкою рассади із касет весняного посіву, де маса надземної частини становила 103,8 г/росл. з площею листків 0,236 м²/росл. Мінімальну масу надземної частини – 92,3 г/росл. з площею листків 0,210 м²/росл. було встановлено в варіантах з закладкою рассади з касет осіннього строку посіву.

Ключеві слова: душица звичайна, капельне зрошення, рассада, площа живлення, спосіб вирощування, площа листків, маса надземної частини.

N.V. Pryvedeniuk, A.P. Shatkovskyi

Effect of plant's alimentionation area on productivity of oregano plants (*Origanum vulgare* L.) under conditions of a drip irrigation

Abstract. *Oregano (Origanum vulgare L.) – is a perennial medicinal plant, its medicinal raw material is the aerial part collected in the flowering phase. When laying industrial plantations of oregano, the seedling method of propagation is mainly used, since after germination the plants slowly develop and compete weakly with weeds. The condition for survival of seedlings is high soil moisture, which can be achieved only with its artificial wetting – irrigation. The aim of the conducted experimental studies was to establish the influence of the method of growing seedlings and plant's alimentionation area on the growth and development of oregano under drip irrigation. It has been established that an increase in the area of plant nutrition contributes to an increase in the mass of the aerial parts and the area of leaves, and also reduces the height of plants during both the first and second years of vegetation. It was proved that the most favorable conditions for plant's growth and development under the conditions of drip irrigation were in the variant with the largest nutrition area with planting density of 41,7 thousand plants•ha⁻¹ (60x40 cm pattern). The mass of the aerial parts of plants with this method of growing in the first year of vegetation was 110,5–133,0 g•plant⁻¹ with the largest leaf area – 0,287–0,346 m²•plant⁻¹ and 218,1–328,7 g•plant⁻¹, 0,568–0,855 m²•plant⁻¹, respectively – in the second year of vegetation. The maximum height of plants – 37,0–37,7 cm in the first year of plant vegetation and 68,5–72,6 cm in the second year of vegetation was established in the variants with the smallest plant nutrition area: with a growing scheme of 60x10 cm (166,7 thousand•ha⁻¹). The smallest plant's height in the first year of vegetation was 31,1–33,5 cm, in the second year – 37,5–48,4 cm in the variant of growing scheme 60x40 cm (41,7 thousand plants •ha⁻¹). When studying the influence of the method of growing seedlings on the mass of the aerial part and the area of leaves, their high parameters were found in variants with the laying of seedlings from spring sowing cassettes, where the mass of the aerial part was 103,8 g / plant with a leaf area of 0,236 m²•plant⁻¹. The minimum weight of the aerial part is 92,3 g•plant⁻¹ with a leaf area of 0,210 m²•plant⁻¹ was found in variants with seedlings on cassettes from the autumn sowing period.*

Key words: oregano, drip irrigation, seedlings, plant's alimentionation area, cultivation method, leaf area, mass of the aerial parts.

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202001-231>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/231>

УДК 631.6: 631.432

ФОРМУВАННЯ ВОДОПОТРЕБИ ОСУШУВАНИХ ЗЕМЕЛЬ ЩОДО ЗМІННИХ КЛІМАТИЧНИХ ТА АГРОМЕЛІОРАТИВНИХ УМОВ

А.М. Рокочинський¹, докт. техн. наук, П.П. Волк², канд. техн. наук, Р.М. Коптюк³, канд. техн. наук, Н.В. Приходько⁴, 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;

³ Національний університет водного господарства та природокористування, Рівне, Україна; <https://orcid.org/0000-0002-7086-3608>; e-mail: r.m.koptiuk@nuwm.edu.ua;

⁴ Національний університет водного господарства та природокористування, Рівне, Україна; <https://orcid.org/0000-0003-1424-2628>; e-mail: n.v.prihodko@nuwm.edu.ua

Анотація. У статті подані результати дослідження зміни величини водопотреби при вирощуванні сільськогосподарських культур на осушуваних землях Західного Полісся України у змінних кліматичних та агро меліоративних умовах. Як на глобальному, так і на регіональному рівнях зміни клімату стали беззаперечним фактом, наявність якого поставила перед людством проблему розв'язання цілої низки надзвичайно важливих і складних завдань, пов'язаних із розробкою та реалізацією стратегії практичного подальшого існування. Дані про випаровування та водопотребу сільськогосподарських культур у різні періоди їхнього розвитку залежно від наявних кліматичних умов є основою розробки проектних і формування експлуатаційних режимів водорегулювання, що здійснюється шляхом вибору й обґрунтування необхідних способів водорегулювання, типів, конструкцій і режимів роботи гідромеліоративних систем, розрахунку їхніх параметрів. Для досягнення поставленої мети авторами виконано оцінювання кліматичних умов Західного Полісся України, сплановане і здійснене імітаційне моделювання різних кліматичних сценаріїв на ЕОМ, в основу яких покладено комплекс прогнозно-імітаційних моделей щодо основних режимно-технологічних змінних параметрів гідромеліоративних систем, кліматичних умов місцевості, водного режиму, технологій водорегулювання та продуктивності осушуваних земель для схематизованих природних, агротехнічних та меліоративних умов. Об'єктом досліджень обрано дренажну систему «Бірки» Рівненської області, яка за природно-агро меліоративними умовами є типовою для даного регіону. За довготерміновим прогнозом визначено вегетаційні значення сумарного випаровування та формування водопотреби осушуваних земель щодо змінних кліматичних та агро меліоративних умов. Виконано оцінювання технологічної ефективності різних технологій зволоження осушуваних земель. Отримані результати можуть бути ефективно використані при обґрунтуванні режимно-технологічних рішень у проектах будівництва й реконструкції гідромеліоративних систем Західного Полісся України у змінних кліматичних умовах та розробці гідротехнічних адаптивних заходів до прогнозованих змін клімату в регіоні.

Ключові слова: водопотреба, осушувані землі, зміни клімату, мінеральні ґрунти, торфові ґрунти, модуль водоподачі, технології водорегулювання.

Актуальність дослідження. Як переконаливо свідчать численні результати досліджень, людство стикнулося з серйозною проблемою – глобальною зміною клімату. Не виключенням є і Україна, яка також належить до числа регіонів планети, де зміни клімату вже сьогодні є відчутними.

Зміни кліматичних умов безпосередньо впливають на функціонування гідромеліоративних систем загалом, та умови вирощування сільськогосподарських культур зокрема. Аграрне виробництво будучи об'єктом впливу атмосферних процесів, суттєво залежить від

метеорологічних умов, що складаються, і має своєчасно забезпечуватися інформацією щодо їхніх очікуваних змін [1].

Сучасний етап розвитку аграрного виробництва, зокрема, на землях із регульованим водним режимом, характеризується комплексом невирішених завдань, що пов'язані, насамперед, із практичною відсутністю достатніх методів обґрунтування загальної еколого-економічної доцільності реалізації меліоративних заходів з урахуванням змін клімату на різних рівнях прийняття рішень у часі. Тому вже зараз виникає необхід-

ність визначення наслідків прогнозованих глобальних змін клімату та прийняття відповідних адаптивних рішень щодо цих змін та пом'якшення їхніх наслідків.

Для осушуваних територій з близьким заляганням ґрунтових вод кліматичні умови безпосередньо приймають участь у формуванні водного режиму ґрунту і ґрунтових вод, визначаючи напрям перебігу ґрунтових процесів як у природному стані, так і в окремі технологічні періоди вирощування сільськогосподарських культур.

Прогнозоване підвищення температури повітря та посилення посушливості в умовах змін клімату, які спостерігаються вже сьогодні, неминуче призведуть до зменшення природної вологозабезпеченості території та збільшення загальної водопотреби при вирощуванні сільськогосподарських культур на осушуваних землях. Своєю чергою, нестача природної вологи потребуватиме додаткового зволоження вирощуваних культур шляхом реалізації відповідних технологій зволоження осушуваних земель. Тому дані про загальну водопотребу вирощуваних культур та її зміну є основою для розробки проектних і формування експлуатаційних режимів водорегулювання в умовах змін клімату, що здійснюється шляхом вибору й обґрунтування необхідних способів водорегулювання, типів, конструкцій і режимів роботи дренажних систем, розрахунку їхніх параметрів.

Отже, **метою дослідження** є оцінювання змін водопотреби при вирощуванні сільськогосподарських культур на осушуваних землях Західного Полісся України у змінних кліматичних умовах для обґрунтування відповідних адаптивних рішень.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Представлені матеріали є продовженням досліджень, що здійснювалися в рамках виконання спільного проекту Інституту водних проблем і меліорації НААН та Національного університету водного господарства та природокористування «Виконати оцінку впливу змін клімату на вологозабезпечення рослин і розробити ГІС-систему управління зрошенням і водорегулюванням».

Оскільки першим кроком в оцінюванні змін у водопотребі сільськогосподарських культур є дослідження зміни кліматичних умов місцевості, то для вирішення даного завдання нами було виконано статистичне опрацювання багаторічних ретроспективних та сучасних даних кліматичних спостережень у Західному Поліссі України за такими варіантами досліджень [2, 3]:

– варіант 1 – «Base»: характеристика основних метеофакторів, їх нормовані значення за період вегетації (IV–X місяці), отримані за багаторічними ретроспективними даними (1891–1964 рр.) [4];

– варіант 2 – «Transitional»: нормовані середньобагаторічні значення величин основних метеофакторів та їх розподіл за період вегетації, отримані в перехідних умовах (1965–1990 рр.);

– варіант 3 – «Recent»: динаміка та нормовані середньобагаторічні значення величин основних метеофакторів та їх розподіл за період вегетації, отримані в сучасних умовах за 1991–2019 рр.

Згідно з [3, 5], розрахунок здійснено для п'яти типових груп розрахункових років щодо умов тепло- й вологозабезпеченості періодів вегетації сукупності $\{p\}$, $p = 1, n_p$: *дуже вологі* ($p=10\%$); *вологі* ($p=30\%$); *середні* ($p=50\%$); *сухі* ($p=70\%$) та *дуже сухі* ($p=90\%$) за такими основними метеорологічними характеристиками як: *сума опадів* (P , мм); *середня температура повітря* (T , °C); *сума дефіциту вологості повітря* (D , мм); *середня відносна вологість повітря* (H , %) та їхніми похідними: *випаровуваність* (E^0 , мм), *визначена загальновідомою формулою М.М. Іванова*; *коефіцієнт вологозабезпеченості* (kW , мм) як відношення суми опадів до випаровуваності.

Узагальнені результати розрахунку вегетаційних значень основних метеорологічних характеристик та їхніх похідних по розрахункових роках та за варіантами досліджень для умов Західного Полісся України наведені в табл. 1.

Наведені дані переконливо свідчать про наявність змін кліматичних умов Західного Полісся України [2, 3], вказують на стійку тенденцію до підвищення посушливості клімату в регіоні. Зокрема, останні роки характеризуються рекордними температурними максимумами (наприклад, у 2018 р. середня температура повітря за вегетаційний період становила 16,6°C при середньобагаторічній нормі 13,5°C) та посиленням сезонної нерівномірності випадання опадів, що негативно впливає на запаси природної ґрунтової вологи, доступної для вирощуваних культур.

Загалом сучасні вегетаційні значення основних метеорологічних характеристик вже перебувають у межах їхніх прогнозованих змін [6], тому подальші дослідження щодо оцінювання зміни водопотреби при вирощуванні сільськогосподарських культур на осушуваних землях Західного Полісся України виконані нами для сучасних кліматичних умов за варіантом досліджень «Recent».

1. Вегетаційні значення основних метеорологічних характеристик та їхніх похідних по розрахункових роках та за варіантами досліджень для умов Західного Полісся України

Показники, моделі		Роки розрахункової забезпеченості, р, %				
		10%	30%	50%	70%	90%
Сума опадів (Р, мм)	«Base»	575,1	509,1	443,0	377,0	310,9
	«Transitional»	544,4	471,9	434,9	375,2	307,9
	«Recent»	559,0	510,8	443,3	418,0	347,8
Середня температура повітря (Т, °С)	«Base»	12,7	13,1	13,5	13,7	14,2
	«Transitional»	12,9	13,3	13,8	13,8	14,4
	«Recent»	13,3	14,0	14,2	14,5	14,3
Сума дефіциту вологості повітря (D, мм)	«Base»	698	785	849	943	1036
	«Transitional»	722	805	884	923	1044
	«Recent»	729	854	914	946	1098
Середня відносна вологість повітря (Н, %)	«Base»	80,6	77,7	75,3	72,1	69,4
	«Transitional»	81,8	78,7	73,9	73,0	70,7
	«Recent»	76,7	75,8	73,5	72,5	68,5
Випаровуваність (Е°, мм)	«Base»	425,8	478,9	517,9	575,2	632,0
	«Transitional»	440,4	491,1	539,2	563,0	636,8
	«Recent»	444,7	520,9	557,5	577,1	669,8
Коефіцієнт вологозабезпеченості (кW, мм)	«Base»	1,35	1,06	0,86	0,66	0,49
	«Transitional»	1,24	0,85	0,81	0,67	0,48
	«Recent»	1,26	0,98	0,80	0,72	0,52

Основою формування величини водопотреби сільськогосподарських культур є випаровування, значення якого визначається кліматичними умовами місцевості. Сьогодні розглядають три основні групи методів визначення випаровування: методи визначення потоків водяної пари від випаровуючої поверхні в атмосферу; методи визначення теплового балансу; водобалансові методи.

У зв'язку зі складною залежністю випаровування від численних чинників, що його визначають, нині існує багато різних за ступенем складності моделей зв'язку інтенсивності випаровування з впливаючими на нього показниками. Такі моделі розроблені І.А. Шаровим, Г.К. Льговим, С.І. Харченко, А.Р. Константиновим, М.І. Будико, М.В. Данильченко, Д.А. Штойко, Х.Л. Пенманом, Л. Тюрком та ін. – для зони зрошення, у практиці осушувальних меліорацій використовують формули А.М. Костякова, А.І. Івицького, А.І. Шарова, В.Ф. Шебеко, А.М. Янголя та ін.

Серед іноземних розробок найбільшою популярністю користуються методи Блейні і Кридла, Торнтвейна, Пенмана-Монтейта.

В Україні широкого застосування й офіційного статусу [7] набула методика водобалансових розрахунків при зволоженні осушуваних земель, розроблена А.М. Янголем [8]. Вона ґрунтується на використанні однакової

повторюваності опадів і дефіциту вологості повітря, за яким визначається величина сумарного випаровування.

Оскільки водопотреба залежить від кліматичних умов місцевості, водного режиму осушуваних ґрунтів, що, своєю чергою, визначається зміною кліматичних умов та технологій водорегулювання, а також ростом та розвитком вирощуваних сільськогосподарських культур, вирішення задачі щодо оцінювання зміни водопотреби сільськогосподарських культур в умовах змін клімату потребує застосування відповідного комплексу прогнозно-імітаційних моделей, який повинен включати в себе модель клімату місцевості, модель водного режиму та технологій водорегулювання осушуваних земель, модель розвитку та формування урожаю вирощуваних культур, які реалізуються за довготерміновим прогнозом [9].

Для ефективної реалізації таких завдань на кафедрі водної інженерії та водних технологій Національного університету водного господарства та природокористування розроблено комплекс ієрархічно зв'язаних прогнозно-імітаційних моделей, практичне застосування яких регламентоване відповідними галузевими нормативами Держводагентства України:

– щодо кліматичних умов місцевості чи метеорологічних режимів [5];

– щодо водного режиму та технологій водорегулювання осушуваних земель [10];

– щодо продуктивності осушуваних земель [11].

Тут модель водного режиму та технологій водорегулювання зв'язує між собою параметри режимів і технологій, а тому має універсальний характер і є базовою у створюваному комплексі прогнозно-імітаційних моделей з обґрунтування проектних рішень на еколого-економічних засадах.

Застосування такого комплексу прогнозно-імітаційних моделей дає змогу вибору та обґрунтування кращого варіанта технологій водорегулювання осушуваних земель з урахуванням необхідності додаткового зволоження за визначеною водо потребою вирощуваних культур у змінних кліматичних умовах.

Методи та матеріали дослідження. Методи дослідження ґрунтуються на застосуванні теорії систем з основами системного підходу, системного аналізу та моделювання, орієнтованого на широке використання ЕОМ та відповідного програмного й інформаційного забезпечення при розробці сучасних підходів до обґрунтування технічних і технологічних рішень із водорегулювання осушуваних земель в умовах зміни клімату [9].

Для реалізації зазначеної мети нами було сплановано і здійснено імітаційне моделювання різних кліматичних сценаріїв у прискореному масштабі часу.

Об'єктом дослідження є дренажна система «Бірки» в Рівненській області. На даній системі представлені як мінеральні, так і торфові ґрунти, а за конструктивною побудовою тут є можливість реалізації практично всіх основних технологій водорегулювання осушуваних земель. Площа системи брутто 544,9 га, гончарний дренаж закладений на площі 444 га, двостороннє регулювання можливе на площі 177,9 га, площа польдера з механічним водовідведенням становить

470 га. Водоприймачем системи служить річка Стир. У посушливі періоди вода із системи не відкачується, а залишається для підґрунтового зволоження.

Прогнозні розрахунки при імітаційному моделюванні виконані за такими множинними змінними умови:

– за ґрунтами $\{g\}$, $g = \overline{1, n_g}$ ($n_g=3$), які характеризуються різним рівнем потенційної родючості за бонітетом у відповідних балах та часткою f_g розповсюдження в межах об'єкта: 1-дерново-опідзолені глейові зв'язно-супіщані (Б=28 балів), $f_g=0,4$; 2-торфові середньопотужні малозольні (Б=38 балів), $f_g=0,6$;

– за типовими районованими для даної зони вирощуваними сільськогосподарськими культурами сукупності $\{k\}$, $k = \overline{1, n_k}$ ($n_k=3$), та відповідною часткою їх посівних площ f_k : 1-озима пшениця – (проектний врожай 47 ц/га) $f_k=0,3$; 2-картопля – 250 ц/га $f_k=0,2$; 3-багаторічні трави – 35 ц/га $f_k=0,5$;

– за типовими (розрахунковими) щодо умов тепло – й вологозабезпеченості періодами вегетації сукупності $\{p\}$, $p = \overline{1, n_p}$ ($n_p=5$);

– за різними способами водорегулювання сукупності $\{s\}$, $s = \overline{1, n_s}$ ($n_s=4$): ОС – осушення ($s=1$); ПШ – попереджувальне шлюзування ($s=2$); ЗШ – зволожувальне шлюзування ($s=3$); ДП – зрошення дощуванням ($s=4$).

Результати дослідження та їх обговорення. Результати прогнозних розрахунків за здійсненим імітаційним моделюванням опрацьовані нами за такою схемою і подані у відповідній послідовності:

1. Визначення й аналіз умов формування сумарного випаровування у змінних кліматичних та агро меліоративних умовах щодо змінних метеорологічних режимів розрахункових за умовами тепло й вологозабезпеченості періодів вегетації, видів вирощуваних сільськогосподарських культур, ґрунтів та технологій водорегулювання осушуваних земель подані в табл. 2, 3.

2. Формування середньорічних вегетаційних значень сумарного випаровування щодо видів вирощуваних культур та технологій водорегулювання на осушуваних землях

Культура	Частка	Сумарне випаровування за вегетацію, м ³ /га			
		ОС	ПШ	ЗШ	ДП
1	2	3	4	5	6
<i>Мінеральні ґрунти</i>					
Озимі зернові	0,2	1840	1892	1952	2007
Картопля	0,2	3365	3482	3792	3965
Багаторічні трави	0,3	4117	4253	4620	4868
Овочеві	0,3	3699	3799	4116	4328
<i>Середньозважене</i>	<i>1,0</i>	3386	3490	3770	3953

Продовження таблиці 2

1	2	3	4	5	6
<i>Торфові ґрунти</i>					
Озимі зернові	0,2	1839	1898	1953	2018
Картопля	0,2	3382	3516	3793	4106
Багаторічні трави	0,3	4169	4295	4594	4876
Овочеві	0,3	3708	3822	4112	4383
<i>Середньозважене</i>	<i>1,0</i>	3407	3518	3761	4002

Примітка: ОС – осушення; ПШ – попереджувальне шлюзування; ЗШ – зволожувальне шлюзування; ДП – зрошення дощуванням

3. Формування вегетаційних значень сумарного випаровування щодо кліматичних умов розрахункових років за різних технологій водорегулювання на осушуваних землях

Роки розрахункової забезпеченості, р, %	Сумарне випаровування за вегетацію, м ³ /га			
	ОС	ПШ	ЗШ	ДП
<i>Мінеральні ґрунти</i>				
10	2911	2911	2911	2911
30	3492	3500	3500	3500
50	3594	3627	3655	3822
70	3614	3819	4089	4362
90	2991	3281	4646	5137
<i>Середньозважене</i>	3386	3490	3770	3953
<i>Торфові ґрунти</i>				
10	2911	2911	2911	2911
30	3494	3505	3505	3505
50	3588	3631	3668	3804
70	3640	3835	4052	4505
90	3096	3426	4621	5252
<i>Середньозважене</i>	3407	3518	3761	4002

Отримані результати є основою для подальшого визначення величини водопотреби при вирощуванні сільськогосподарських культур у зоні осушувальних меліорацій України у змінних кліматичних умовах.

2. Визначення й аналіз водопотреби за основними показниками режиму та техніки зволоження (поливні й зволожувальні норми, кількість поливів, модулів водоподачі тощо) для зволожувального шлюзування та зрошення дощуванням як найбільш поши-

рених технологій зволоження на осушуваних землях.

Результати розрахунків із визначення водопотреби представлені у вигляді діаграм, які у співставному вигляді відображають значення максимальних модулів водоподачі для дуже сухого (р=90%) року у подекадному перерізі при вирощуванні запроєктованих сільськогосподарських культур на мінеральних (а) та торфових (б) ґрунтах при різних технологіях водорегулювання, подані на (рис. 1, 2).

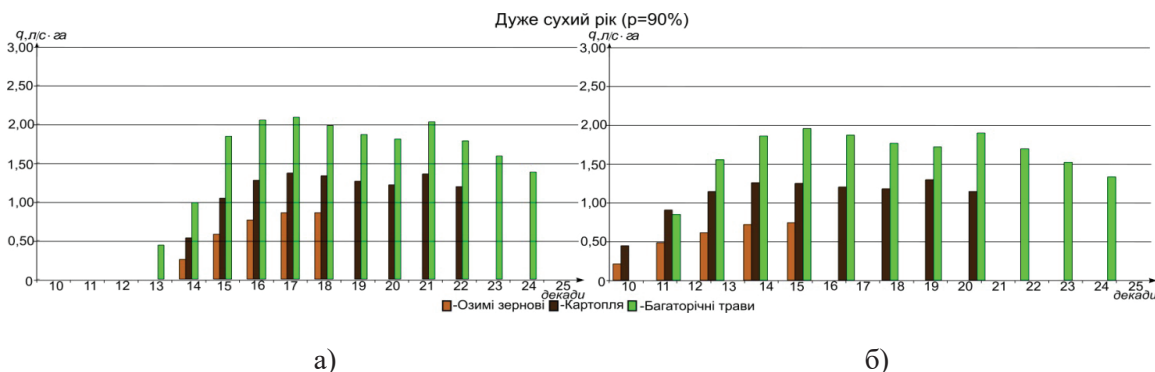


Рис. 1. Динаміка максимальних середньодекадних значень водопотреби за модулем водоподачі у посушливі періоди вегетації (р=90%) при зволожувальному шлюзуванні осушуваних земель

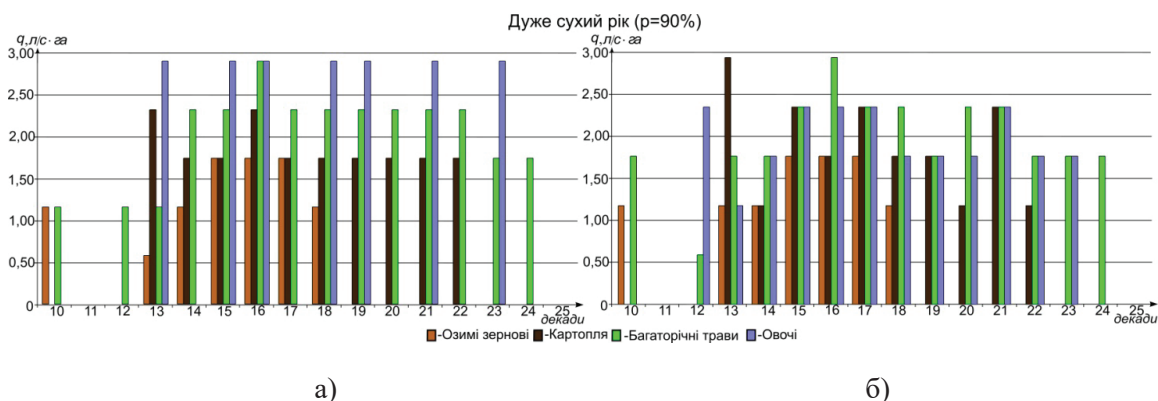


Рис. 2. Динаміка максимальних середньодекадних значень водопотреби за модулем водоподачі у посушливі періоди вегетації (p=90%) при зрошенні дощуванням осушуваних земель

3. Аналіз і порівняльна оцінка технологічної ефективності застосування зволожувального шлюзування та зрошення дощування на осушуваних землях представлені в табл. 4, 5.

4. Порівняльна характеристика основних елементів режиму зволоження та показників технологічної ефективності при зволожувальному шлюзуванні осушуваних земель

Культура	Частка культури в сівозміні	Роки розрахункової забезпеченості, p, %							
		p=70%				p=90%			
		М	n/m	KKD	M/Y	М	n/m	KKD	M/Y
<i>Мінеральні ґрунти g=1, f_g=0,4; B=28 балів</i>									
Озима пшениця (зерно)	0,2	50	2/25	1,81	1,01	397	4/99	1,42	8,21
Картопля	0,2	1061	10/106	1,57	3,45	1772	10/177	1,25	5,7
Багаторічні трави (сіно)	0,3	877	11/80	0,84	26	2500	11/227	0,67	74,6
Овочеві	0,3	837	11/76	0,78	2,25	1816	11/165	0,63	4,9
<i>Середньо-зважене</i>	1,0	736	8/87	1,16	9,36	1728	9/192	0,92	26,6
<i>Торфові ґрунти g=2, f_g=0,6; B=38 балів</i>									
Озима пшениця (зерно)	0,2	0	0/0	1,83	0	324	4/81	1,4	6,81
Картопля	0,2	945	10/95	1,59	3,03	1776	10/178	1,25	5,72
Багаторічні трави (сіно)	0,3	683	10/68	0,83	20,5	2282	11/207	0,86	68,5
Овочеві	0,3	702	10/70	0,78	1,89	1723	10/172	0,62	4,7
<i>Середньо-зважене</i>	1,0	604	7/81	1,16	7,32	1621	9/185	0,97	24,4

Примітка: М – зволожувальна норма; n/m – кількість поливів/поливна норма; KKD – фактичне значення KKD використання ФАР вирощуваною культурою %; M/Y – питомі затрати зрошувальної води на одиницю продукції м³/ц.

5. Порівняльна характеристика основних елементів режиму зволоження та показників технологічної ефективності при зрошенні дощуванням осушуваних земель

Культура	Частка культури в сівозміні	В сучасних умовах							
		Розрахункові роки за забезпеченістю, p, %							
		p=70%				p=90%			
		М	n/m	KKD	M/Y	М	n/m	KKD	M/Y
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Мінеральні ґрунти g=1, f_g=0,4; B=28 балів</i>									
Озима пшениця (зерно)	0,2	250	1/250	1,88	4,85	750	1/250	1,54	14,4
Картопля	0,2	1500	6/250	1,77	4,34	2250	9/250	1,46	6,27

Продовження таблиці 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Багаторічні трави (сіно)	0,3	1250	5/250	0,89	34,9	2750	11/250	0,74	73,5
Овочеві	0,3	1250	5/250	0,85	3,0	2500	10/250	0,8	5,28
<i>Середньо-зважене</i>	1,0	1000	4/250	1,25	13,2	2250	9/250	1,02	27,7
<i>Торфові ґрунти $g=2, f_g=0,6; B=38$ балів</i>									
Озима пшениця (зерно)	0,2	250	1/250	1,89	4,83	1000	4/250	1,63	18,11
Картопля	0,2	1500	6/250	1,89	4,05	2500	4/250	1,8	5,66
Багаторічні трави (сіно)	0,3	1500	6/250	1	37,4	2750	11/250	0,79	69,2
Овочеві	0,3	1500	6/250	0,98	3,19	2500	10/250	0,81	5,21
<i>Середньо-зважене</i>	1,0	1250	5/250	1,35	13,9	2750	10/250	1,16	27,0

Отримані результати щодо визначення сумарного випаровування, водопотреби та технологічної ефективності зволоження осушуваних земель у змінних природно-кліматичних та агроеліоративних умовах Західного Полісся України переконливо свідчать про необхідність переоцінки можливостей та технічного стану існуючих дренажних систем шляхом зміни їх функціональних можливостей щодо проведення зволожувальних заходів на осушуваних землях на постійній основі.

Остаточний вибір технологій водорегулювання при обґрунтуванні типу, конструкції та параметрів системи можуть бути визначені на основі прогнозно-оптимізаційних розрахунків з урахуванням сучасних економічних та екологічних вимог [9, 11].

Перспективи подальших досліджень полягають, насамперед, у необхідності дослідження даного питання за довготерміновим прогнозом можливих змін кліматичних умов

зони Західного Полісся України на найближчу та віддалену перспективу.

Висновки. Отже, наявний рівень кліматичних змін, вплив яких вже є відчутним в аграрному виробництві, насамперед на землях із регульованим водним режимом, потребує вирішення низки завдань, головним з яких є необхідність прийняття рішень з адаптації до змін клімату взагалі та зростання величини водопотреби при вирощуванні сільськогосподарських культур на осушуваних землях зокрема. Це вимагає перегляду наявних вимог щодо обґрунтування режимно-технологічних та конструктивних рішень при проектуванні та будівництві дренажних систем з урахуванням цих змін. Результати дослідження можуть бути ефективно використані при обґрунтуванні адаптивних заходів до прогнозованих змін клімату та розробці проектів реконструкції та модернізації дренажних систем у регіоні відповідно до програми «Стратегія зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 року» [12].

Бібліографія

1. Про деякі завдання аграрної науки у зв'язку зі змінами клімату: наукова доповідь-інформація / М.І. Ромащенко, О.О. Собко, Д.П. Савчук, М.І. Кульбіда. Київ: Інститут гідротехніки і меліорації УААН, 2003. 46 с.
2. Rokochynskiy, A., Volk, P., Frolenkova, N., Prykhodko, N., Gerasimov, Ie., Pinchuk, O. (2019). Evaluation of climate changes and their accounting for developing the reclamation measures in western Ukraine. Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences. 28 (1). 3–13. DOI: 10.22630/PNIKS.2019.28.1.1
3. Kovalenko, P., Rokochynskiy, A., Jeznach, J., Koptuyuk, R., Volk, P., Prykhodko, N., Tykhenko, R. (2019). Evaluation of climate change in Ukrainian part of Polissia region and ways of adaptation to it. Journal of Water and Land Development. 41 (IV–VI). 77–82 DOI: 10.2478/jwld-2019-0030
4. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Части 1–6. Выпуск 1. Украинская ССР. Книга 1. Ленинград: Гидрометеоиздат. 1990. 608 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: ВАТ «Укрводпроект», 2008. 63 с.

6. Проблеми і стратегія виконання Україною Рамкової Конвенції ООН про зміну клімату / В.Я. Шевчук, І.В. Трофимова, О.М. Трофимчук та ін. Київ: УІНСіР, 2001. 96 с.
7. Руководство по проектированию осушительных систем в Украинской ССР: НТД 33.63-074-87. К.: Укргипроводхоз, 1987. 526 с.
8. Янголь А.М. Двустороннее регулирование влажности при осушении. М.: Колос, 1970. 135 с.
9. Рокочинський А.М. Наукові та практичні аспекти оптимізації водорегулювання осушуваних земель на еколого-економічних засадах: Монографія / За редакцією академіка УААН Ромащенко М.І. Рівне: НУВГП, 2010. 351 с.
10. Тимчасові рекомендації з прогновної оцінки водного режиму та технологій водорегулювання осушуваних земель у проектах будівництва й реконструкції меліоративних систем / А.М. Рокочинський, В.А. Сташук, В.Д. Дупляк, Н.А. Фроленкова та ін. Рівне, 2011. 54 с.
11. 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. Сташука, д.т.н., професора А.М. Рокочинського. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2017. Т. 1. 932 с.
12. Стратегія зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 року. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/688-2019-%D1%80> (дата звернення: 20. 08. 2019).

References

1. Romashchenko, M., Sobko O., Savchuk, D., & Kulbida, M. (2003). Pro deiaki zavdannia ahrarnoi nauky u zviazku zi zmi-namy klimatu [About some problems of agrarian science in connection with climate change]. Kiev: Instytut hidrotekhniki i melioratsii UAAN. [in Ukrainian].
2. Rokochynskiy, A., Volk, P., Frolenkova, N., Prykhodko, N., Gerasimov, Ie. & Pinchuk, O. (2019). Evaluation of climate changes and their accounting for developing the reclamation measures in western Ukraine. *Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences*. 28 (1). 3–13. DOI: 10.22630/PNIKS.2019.28.1.1.
3. Kovalenko, P., Rokochynskiy, A., Jeznach, J., Koptiuk, R., Volk, P., Prykhodko, N. & Tykhenko, R. (2019). Evaluation of climate change in Ukrainian part of Polissia region and ways of adaptation to it. *Journal of Water and Land Development*. 41 (IV–VI). 77–82. doi: 10.2478/jwld-2019-0030.
4. Nauchno-prikladnoi spravochnyk po klymatu SSSR. Seriiia 3. Mnoholetnye dannye. Ukraynskaia SSR [Scientific and Applied Handbook on the Climate of the USSR. Series 3. Perennial data. The Ukrainian SSR]. (1990). (Vol 1–6. Iss.1.) Lenynhrad: Hydrometeoyzdat. [in Russian].
5. Rokochinskiy, A., Halik O., Frolenkova, N., Voloshchuk, V., Shalai, S., Zubyk, Ya., Bezhluk, V., Zubyk, L., Pokladnov, Ye., Savchuk, T., Koptiuk, R., Nesteruk, L., Volk, P. & Kotiai L. (2008). Posibnyk do DBN V.2.4-1-99 «Melioratyvni systemy ta sporudy» (Rozdil 3. Osushivalni systemy). Meteorolohichne zabezpechennia inzhenerno-melioratyvnykh rozrakhunkiv u proektakh budivnytstva y rekonstruktsii osushivalnykh system [Guide to DBN V.2.4-1-99 «Reclamation systems and structures» (Chapter 3. Drainage systems) Meteorological support of engineering and reclamation calculations in drainage systems construction and reconstruction projects]. Kiev: (Vidkryte aktsionerne tovarystvo) VAT «Ukrvodproekt». [in Ukrainian].
6. Shevchuk, V., Trofimova, I. & Trofimchuk, O. (2001). Problemy i stratehiia vykonannia Ukrainoiu ramkovoii konventsii OON pro zminu klimatu [Problems and strategy of Ukraine's implementation of the UN Framework Convention on Climate Change]. Kiev. [in Ukrainian].
7. Rukovodstvo po proektyrovaniyu osushytelnykh system v Ukraynskoii SSR: NTD 33.63-074-87. (1987). [Guidelines for the design of drainage systems in Ukraine] Kiev: Ukrhyprovodkhoz. [in Russian].
8. Dvustoronnee rehulyrovanye vlazhnosty pry osushenyy. [Two-way humidity control with drainage]. Moscow: Kolos. [in Russian].
9. Rokochinskiy, A. (2010). Naukovi ta praktichni aspekty optimizatsii vodoregulyuvannya osushuvanykh zemel' na ekologo-ekonomichnykh zasadakh: Monografiya [The scientific and practical aspects optimization of water regulation drained lands on environmental and economic grounds. Monograph]. Ed. M.I. Romashchenko. Rivne: NUVGP. ISBN 978-966-327-141-5. [in Ukrainian].
10. Rokochynskiy, A.M., Stashuk, V.A., Dupliak V.D., & Frolenkova N.A. et al. (2011). Tymchasovi rekomendatsii z prohnaznoi otsinky vodnoho rezhymu ta tekhnolohii vodorehulivuvannya osushuvanykh zemel u proektakh budivnytstva y rekonstruktsii melioratyvnykh system [Temporary recommendations for the predictive assessment of the water regime and water regulatory technologies

for drained lands in the projects of construction and reconstruction of reclamation systems]. Rivne: NUVGP. [in Ukrainian].

11. Hadzalo, Ya.M., Stashuk, V.A., & Rokochynskiy, A.M. et al. (2017). Melioratsiia ta oblashtuvannia Ukrainskoho Polissia [Reclamation and arrangement of the Ukrainian Polesie]. Ya.M. Hadzalo, V.A. Stashuk, A.M. Rokochynskiy (Ed.). Kherson: OLDI-PLIuS. [in Ukrainian]

12. Stratehii zroshennia ta drenazhu v Ukraini na period do 2030 roku. [Irrigation and drainage strategies in Ukraine until 2030]. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/688-2019-%D1%80>. [in Ukrainian].

А.М. Рокочинский, П.П. Волк, Р.М. Коптюк, Н.В. Приходько
Формирование водопотребности осушаемых земель относительно изменчивых климатических и агромелиоративных условий

***Аннотация.** В статье представлены результаты исследования изменений величины водопотребности при выращивании сельскохозяйственных культур на осушаемых землях Западного Полесья Украины в изменчивых климатических и агромелиоративных условиях. Как на глобальном, так и на региональном уровнях изменения климата стали неоспоримым фактом, наличие которого поставило перед человечеством проблему необходимости решения целого ряда важнейших и сложных задач, связанных с разработкой и реализацией стратегии практического дальнейшего существования. Данные об испарении и водопотребности сельскохозяйственных культур в различные периоды их развития зависят от имеющихся климатических условий являются основой разработки проектных и формирования эксплуатационных режимов водорегулирования, что осуществляется путем выбора и обоснования необходимых способов водорегулирования, типов, конструкций и режимов работы гидромелиоративных систем, расчета их параметров. Для достижения поставленной цели авторами выполнена оценка климатических условий Западного Полесья Украины, спланировано и осуществлено широкомасштабный машинный эксперимент на ЭВМ, в основу которого положен комплекс прогнозно-имитационных моделей относительно основных режимно-технологических изменчивых параметров гидромелиоративных систем, климатических условий местности, водного режима, технологий водорегулирования и продуктивности осушаемых земель для схематизированных природных, агротехнических и мелиоративных условий. Объектом исследований выбрана дренажная система «Бирки» Ровенской области, которая по природно-агрометеорологическим условиям является типичной для данного региона. За долгосрочным прогнозом определены вегетационные значения суммарного испарения, формирование водопотребности осушаемых земель в изменчивых климатических и агрометеорологических условиях. Выполнена оценка технологической эффективности различных технологий увлажнения осушаемых земель. Полученные результаты могут быть эффективно использованы при обосновании режимно-технологических решений в проектах строительства и реконструкции гидромелиоративных систем Западного Полесья Украины в изменчивых климатических условиях и разработке гидротехнических адаптивных мер к прогнозируемым изменениям климата в регионе.*

***Ключевые слова:** водопотребность, осушаемые земли, изменения климата, минеральные почвы, торфяные почвы, модуль водоподдачи, технологии водорегулирования.*

A.M. Rokochinskiy, P.P. Volk, R.M. Koptiuk, N.V. Prykhodko
Water need formation on the drained lands in the variable climatic, agricultural and ameliorative conditions

***Abstract.** The article presents the results of the study on water needs for growing crops on the drained lands of the Western Polissya of in the variable climatic, agricultural and ameliorative conditions. At both global and regional levels, climate change has become an indisputable fact, the presence of which has posed to humanity the challenge of solving a number of extremely important and complex tasks related to the development and implementation of a strategy for their practical continued existence. Data base on the evaporation and water needs for agricultural crops in the different periods of their growing, depending on the climatic conditions, are the basis for the development of design and formation of operational regimes in water regulation carried out by justifying the necessary methods of water regulation, types, structures and modes of operation of hydro-reclamation systems and calculation of their parameters. To achieve this goal, the authors evaluated the climate conditions in the Western Polissya of Ukraine and calculated the evaporation in the studied conditions, planned and carried out a large-scale computer experiment, based on a complex of predictive-simulation models*

concerning the basic regime and technological variables of the hydro-reclamation system parameters, climate conditions, water regime, water regulation technologies and productivity of the drained lands for the schematized natural, agricultural and ameliorative conditions. The object of the study is the drainage system “Birky” in Rivne region, which is typical for the region as to the natural land reclamation conditions. Based on the long-term forecast the vegetative values of the total evaporation and the formation of water needs for the drained lands in the variable climatic, agricultural land reclamation conditions were determined. It was evaluated the technological efficiency of different technologies of irrigation of drained land. The obtained results can be effectively used for the justification of regimes and technological decisions in the projects of construction and reconstruction of hydro-reclamation systems of the Western Polissya in Ukraine in the variable climate conditions and developing hydro-technical adaptive measures to the predicted climate change in the region.

Key words: water needs, drained lands, climate change, mineral soils, peat soils, water supply module, water regulation technologies.

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202001-230>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/230>

УДК 632.7:633.15:631.674.6:631.674.5

КОНТРОЛЬ ЧИСЕЛЬНОСТІ ҐРУНТОВИХ ШКІДНИКІВ КУКУРУДЗИ ЗА УМОВ КРАПЛИННОГО ЗРОШЕННЯ ТА ДОЩУВАННЯ

Ф.С. Мельничук¹, канд. с.-г. наук, С.А. Алексеева², канд. с.-г. наук, О.В. Гордієнко³, канд. с.-г. наук, Л.М. Мельничук⁴, К.Б. Шатковська⁵

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 Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна; <https://orcid.org/0000-0002-6649-2963>, e-mail: melnichuk_l_m@ukr.net;

⁵ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна; <https://orcid.org/0000-0002-7922-2698>, e-mail: katyashatkovska@ukr.net

Анотація. В Україні внесення пестицидів із поливною водою (пестигація) набуває все більшого поширення та актуальності. Дослідження ефективності застосування інсектицидів при внесенні їх разом з поливною водою у меліоративних системах (метод інсектигації) є надійним прийомом зниження чисельності небезпечних видів шкідників. Перевагою вказаного способу є можливість своєчасної доставки засобів захисту у критичні періоди культури та змога швидкого застосування пестицидів незалежно від погодних умов. Застосування інсектицидів із крапельним поливом для контролю гусениць совки здійснювали у II-III декадах червня. Найбільш ефективними були препарати: Воліам Флексі 300 SC, КС, Ампліго 150 ZC ФК та Енжіо, 247 SC, К.С. Серед однокомпонентних надійний захист рослин культури забезпечував Актара, 240 SC. За умов краплинного зрошування, контроль личинок совки виявився ефективним, сягаючи 85,7–100%. На варіанті з максимальною нормою інсектицидів найвищу ефективність забезпечили препарати Воліам Флексі 300 SC, КС, Ампліго 150 ZC ФК та Енжіо, 247 SC, К.С. (97,1–100%). Проти личинок коваліків надійний захист кукурудзи за крапельного внесення інсектицидів отримали на варіанті із Воліам Флексі 300 SC, КС, де рівень захисту за норми витрати 0,3 л/га склав 97,1%. Зниження чисельності гусениць совки та личинок коваліків на варіантах досліді сприяло збереженню густоти стояння рослин та одержанню вищої врожайності зерна кукурудзи. При застосуванні Воліам Флексі 300 SC, КС, Ампліго 150 ZC ФК та Енжіо, 247 SC, К.С., за максимальних їх норм витрати, густина рослин культури в середньому сягала 84–88 тис./га. Загалом, на варіантах досліді з максимальними нормами кількокомпонентних препаратів продуктивність кукурудзи перевищувала відповідний показник ділянок контролю на 2,0–2,4 т/га.

Ключові слова: кукурудза, пестигація, інсектигація, краплинне зрошення, личинки коваліків, озима совка.

Вступ. Пріоритетним завданням меліоративної науки та практики є наукове обґрунтування, розробка та реалізація системи заходів, що забезпечують стійке виробництво сільськогосподарської продукції з дотриманням обґрунтованого режиму зрошення і, як наслідок, нормалізацію водного балансу зрошуваної території. Це означає, що при дотриманні основних принципів меліорації антропогенний вплив на навколишнє середовище зводиться до мінімуму [1–5].

В Україні з року в рік площі кукурудзи коливаються у межах біля 5 млн га, що

значною мірою пов'язано з експортними цінами на зерно цієї культури і, відповідно, рентабельністю її вирощування. Найбільш обмежуючим фактором вирощування високих урожаїв кукурудзи є забезпеченість її рослин вологою. Водночас, площі під кукурудзою із застосуванням краплинного зрошення в Україні щороку становлять до 6 тис. га [6].

Останнім часом у зоні Лісостепу та Степу України спостерігаються нестійкі умови зволоження рослин, коли основна частка опадів припадає на середину літнього періоду. Тоді як одним із найбільш критичних

періодів росту та розвитку рослин цієї культури є проростання насіння та поява сходів. Тому для забезпечення достатньою вологою виникає необхідність застосування поливів. В Україні основним способом зрошення є дощування, проте все більшого поширення набуває краплинне зрошення. Особливо цінною в такій технології, порівняно з дощуванням, є економія води від 30 до 50%. Наступною перевагою краплинного зрошення є можливість своєчасної доставки важливих елементів (добрив, пестицидів) у критичні періоди (ранні етапи формування потужної кореневої системи, в період наливу зерна).

Перспективним методом застосування інсектицидів є внесення їх за допомогою системи краплинного зрошення з поливною водою (інсектигація), що дає економію препаратів, часу та енергії. Технологія була розроблена наприкінці 70-х рр. ХХ століття і набула поширення серед сільськогосподарських виробників у всьому світі [7].

В умовах зрошення у зв'язку з існуючими змінами екологічного фону агробіоценозів значно зростають потреби в ефективності та надійності застосовуваних засобів та методів захисту рослин. Висока чисельність багатьох фітофагів часто викликає більш високу, порівняно з богарними умовами, пошкодженість рослин зрошуваних культур. Навіть мінімальне порушення агротехніки часто створює сприятливі умови для розмноження та розселення окремих шкідників.

Найбільшу небезпеку для посівів кукурудзи становить комплекс ґрунтоживучих шкідників, зокрема личинки коваліків і гусениці підгризаючих совок. Їх чисельність останніми роками значно збільшується та майже повсюдно в два-три рази перевищує економічні пороги шкідливості. Це зумовлено пом'якшенням клімату, спрощенням системи основного обробітку ґрунту та порушенням чергування культур у сівозмінах, зростанням засміченості полів кореневищними бур'янами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розвиток системи застосування пестицидів разом із краплинним зрошенням відбувався поступово. Зокрема, вченими різних країн досліджувалась ефективність різних діючих речовин препаратів проти фітофагів за вказаного методу їх внесення. Позитивні дані одержано в середині 80-х років ХХ ст. на овочевих культурах проти попелиць (*Aphididae* spp.), пошкодженість якими зменшилась завдяки інсектициду на основі діючої речовини імідаклоптрід (10).

В середині 90-х років дослідники повідомили про ефективний контроль листогризучих видів шкідників та попелиць за використання діючих речовин із хімічної групи неонікотиноїдів. Ці препарати довели свою придатність для застосування через систему краплинного зрошення, оскільки вони добре розчинні у воді та практично не фітотоксичні для більшості видів культур [11].

Високий рівень контролю стеблового кукурудзяного метелика (*Ostrinia nubilalis* Hubner) за інсектигації хлорантраніліпролом отримано у 2000-х роках [12, 13].

Актуальність дослідження. Зрошення краплинним способом набуває все більшого поширення, зокрема з появою новітніх класів інсектицидів, таких як неонікотиноїди та антраніламідів. Ці препарати, як відомо, більш придатні для застосування через систему краплинного зрошення, оскільки є ефективними проти певних груп комах. Їх активні речовини мають добру розчинність у воді та краще засвоюються корінням рослин. Окрім того, вони розглядаються US EPA (United States Environmental Protection Agency – Управління з охорони довкілля США) як пестициди з низькою або відсутньою фітотоксичністю.

В Україні краплинний спосіб внесення пестицидів із поливною водою при вирощуванні сільськогосподарських культур не завжди використовується або використовується без наукового обґрунтування. Тому дослідження й оптимізація елементів краплинного режиму інсектигації та доз внесення препаратів, а також встановлення їх впливу на врожайність кукурудзи є актуальними за сучасних умов сільськогосподарського виробництва.

Метою наших досліджень було вивчення впливу краплинного зрошення на розвиток ґрунтоживучих фітофагів – совок та коваліків, встановлення оптимальних норм інсектицидів при різному поливі для забезпечення комплексного регулювання умов вирощування рослин у конкретному агроценозі, раціонального використання зрошувальної води та засобів захисту рослин.

Матеріали та методики дослідження. Польові випробування здійснювали у 2014–2018 рр. в умовах Київської області (с. Любарці, ФГ «Король»). Для досліджень використовували інсектициди згідно із схемою досліду (табл. 1), переважно не зареєстровані для застосування способом краплинного зрошення в Україні. Дані препарати належать до групи неонікотиноїдів, антраніламідів та синтетичних піретроїдів.

Обліки шкідників, відбір зразків та їх аналізи проводили згідно загально-прийнятих методик [8]. Ефективність інсектицидів оцінювали за зниженням чисельності ґрунтових шкідників і пошкодження (загибелі) рослин на дослідних і контрольних ділянках за формулою:

$$E\delta = 100 \times (A - B) / A, \quad (1)$$

де $E\delta$ – зниження чисельності шкідників після обробки, %;

A – щільність комах на контрольному варіанті, екз./м²;

B – щільність комах після обробки, екз./м².

Інсектициди застосовували способом краплинного зрошення, залежно від їх фізико-хімічних властивостей (розчинність у воді та рухливість у ґрунті): окремі препарати вводили у першій третині, інші – у другій третині передбаченої для зрошення кількості води. Маточний розчин препарату готували в підключеній до системи зрошення ємкості (200 л) і починали внесення. Після застосування препарату обов'язково промивали систему такою кількістю чистої води, яка дорівнювала об'єму системи загалом. Виконання цієї умови забезпечувало розподіл на дослідній ділянці повної норми препарату і запобігало накопиченню його невикористаних залишків у системі зрошення [9].

Результати дослідження та їх обговорення. Підвищена шкідливість та складність контролю чисельності ґрунтоживучих фітофагів, зокрема видів коваликів та підгризаючих совок у посівах кукурудзи, спонукає до пошуку ефективних та більш екологічно безпечних методів їх контролю. Поряд із вивченням ефективності дії сучасних інсектицидів, не менш важливим є питання ефективного їх застосування з технологічної точки зору. Досить перспективним є напрям застосування препаратів за допомогою систем зрошення сумісно з поливом культури.

В умовах дослідного поля за роки досліджень при проведенні розкопувань ґрунту в посівах кукурудзи було виявлено личинок коваликів різних видів (переважно *Agriotes* spp.) за середньої чисельності 6,5–8,0 екз./м². Варто відмітити, що даний рівень перевищував ЕПШ у кілька разів, що становило високий ступінь небезпеки для сходів культури. Враховуючи особливу небезпеку від пошкодження личинками коваликів проростаючого насіння та сходів, внесення інсектицидів проводили через 1–3 дні після сівби кукурудзи, що припадало на III декаду квітня – I декаду травня.

Як засвідчили результати досліджень, при застосуванні інсектицидів краплинним способом забезпечувалося зниження чисельності личинок фітофагів на всіх варіантах досліду, порівняно з контролем (табл. 2).

1. Схема досліду на посівах кукурудзи за різних норм витрати інсектицидів (2014–2018 рр.)

Назва препарату	Діюча речовина	Тип зрошення	
		дощування	краплинне
норма витрати препарату, л/га			
Контроль	(обробка водою)	–	–
Кораген 20, КС	хлорантраніліпрол, 200 г/л	0,4	0,4
		0,6	0,6
Ампліго 150 ЗС ФК	хлорантраніліпрол, 100 г/л + лямбда-цигалотрин, 50 г/л	0,6	0,6
		1,2	1,2
Воліам Флексі 300 СС, КС	тіаметоксам, 200 г/л + хлорантраніліпрол, 100 г/л	0,15	0,15
		0,3	0,3
Енжіо, 247 СС, к.с.	тіаметоксам 141 г/л + лямбда-цигалотрин, 106 г/л	0,15	0,15
		0,3	0,3
Карате Зеон 050 СС, мк.с.	лямбда-цигалотрин, 50 г/л	0,4	0,4
		0,6	0,6
Актара, 240 СС, к.с.	тіаметоксам, 240 г/л	0,3	0,3
		0,6	0,6
Каліпсо 480 СС, КС	тіаклоприд, 480 г/л	0,375	0,375
		0,5	0,5
Борей 20, КС	імідаклоприд, 150 г/л + лямбда-цигалотрин, 50 г/л	0,10	0,10
		0,14	0,14

2. Ефективність застосування інсектицидів на кукурудзі проти личинок коваликів за різних норм витрати препаратів (Київська обл., с. Любарці, ФГ «Король»)

Назва препарату	Норма витрати л/га	Ефективність, %
Контроль	–	*7,0 екз./м ²
Кораген 20, КС	0,4	88,6
	0,6	91,4
Ампліго 150 ЗС ФК	0,6	91,4
	1,2	94,3
Воліам Флексі 300 СС, КС	0,15	91,4
	0,3	97,1
Енжіо, 247 СС, к.с.	0,15	88,6
	0,3	91,4
Карате Зеон 050 СС, мк.с.	0,4	80,0
	0,6	82,9
Актара, 240 СС, к.с.	0,3	85,7
	0,6	91,4
Каліпсо 480 СС, КС	0,375	82,9
	0,5	88,6
Борей 20, КС	0,10	85,7
	0,14	91,4
НІР ₀₅		5,2

*щільність шкідника на контролі (екз./м²) на період проведення обліку на 14-й день після обробки – поливу

Водночас, повної загибелі дротяників досягти не вдалося, що пояснюється особливостями їх міграцій та видовим складом. Оскільки під час зростання зволоження верхніх прошарків ґрунту внаслідок їх поливу відбувалися вертикальні міграції личинок коваликів у місця з вищою вологістю (явище позитивного гігротропізму).

Препарати на основі тіаметоксама, імідаклоприда та тіаклоприда мають системну дію. При всмоктуванні кореневою системою діючі речовини транспортуються до існуючих листків та нового приросту, у подальшому забезпечуючи високу ефективність та тривалість захисту від наземних шкідників. При поливі через краплю вода з діючою речовиною препарату потрапляє у ґрунтовий буферний комплекс навколо проростаючого насіння кукурудзи та кореневої системи сходів, яка вбирає цей токсичний розчин. При цьому препарат, проникаючи в рослину через корені, робить її токсичною для дротяників.

Ефективність інсектицидів значною мірою залежить від довжини кореневої системи культури, а також наявності достатньої кількості вологи для росту рослин та засвоєння (всмоктування) інсектицидів. На початку формування сходи кукурудзи мають невелику кореневу зону. Поки рослина росте, корені продовжують всмоктувати інсектицид із ґрунтового розчину, що подовжує тривалість його токсичної дії. Дротяники, мігруючи в пошуках

корму для живлення у токсиковані прошарки ґрунту, зазнавали контактної дії інсектицидів.

При застосуванні способом краплинного зрошування відбувалося змочування та насичення діючими речовинами інсектицидів не всієї поверхні дослідної ділянки, а лише смуги біля рядка з рослинами культури. Саме цим обумовлена висока ефективність досліджуваних препаратів за краплинного внесення. Надійний захист кукурудзи отримали на варіанті з інсектицидом Воліам Флексі 300 СС, КС за краплинного внесення. Так, ефективність вказаного препарату за норми витрати 1,0 л/га складала 97,1%.

При підборі інсектицидів необхідно керуватися, насамперед, біологічними особливостями комах, характером розподілу препарату в рослинах та здатності його контролювати чисельність шкідника впродовж бажаного періоду часу.

Біологічна ефективність захисних заходів може значно знижуватися в посівах кукурудзи при наявності гусениць середніх та старших віків. Тому важливо встановити період, коли відроджені гусениці перебувають у I–II віках. Впродовж періоду досліджень проводили моніторинг фаз росту і розвитку цих фітофагів. Відродження гусениць першого покоління припадало переважно на кінець травня – першу декаду червня. Їх чисельність при цьому перевищувала рівень ЕПШ і сягала 6,4–7,0 екз./м².

Застосування інсектицидів для контролю гусениць совки здійснювали у II–III декадах червня. При проведенні розкопувань ґрунту через 2 тижні після краплинного внесення препаратів встановлено, що загибель гусениць озимої совки сягала 85,7–100% (табл. 3). Найбільш ефективними були препарати, які мали кілька діючих речовин: Воліам Флексі 300 SC, КС, Ампліго 150 ZC ФК та Енжіо, 247 SC, к.с. Серед однокомпонентних надійний захист рослин культури забезпечував Актара, 240 SC, к.с.

Відмічено, що рівень загибелі шкідника суттєво залежав від препарату та норм його витрати. Так на варіанті з максимальною нормою інсектицидів найвищу ефективність забезпечили препарати Воліам Флексі 300 SC, КС, Ампліго 150 ZC ФК та Енжіо, 247 SC, к.с. (97,1–100%). Дещо нижчими за показником ефективності були варіанти Кораген 20, КС та Актара, 240 SC, к.с. (94,3%). Висока ефективність інсектицидів за умов їх краплинного внесення пояснюється тим, що токсикація сходів культури діючими речовинами відбувається швидше, внаслідок їх потрапляння до прикореневої зони рослин і, відповідно, рівень захисту стає максимальним.

Рух діючих речовин препаратів через ґрунт під час інсектигації частково залежить від текстури ґрунту та кількості органічної речовини в ньому. Так зрошувальна вода, потрапляючи в піщані ґрунти, буде просочуватися у

глибші горизонти. Тоді як у глинистих ґрунтах вода затримуватиметься біля поверхні значно довше. Крім того, ґрунти з високою кількістю органічної речовини можуть фактично зменшити доступність інсектициду для поглинання коренями, залежно від його хімічних властивостей.

Фізико-хімічні властивості інсектициду, зокрема розчинність у воді та коефіцієнт розподілу (коефіцієнт розподілу n-октанол/вода), впливають на рух інсектициду в ґрунті та дають змогу визначати як найкраще застосувати препарат за допомогою інсектигації. Наприклад, через малу розчинність у воді та низькі коефіцієнти розподілу діючі речовини інсектицидів імідаклопрід, клотіанідин та хлорантраніліпрол є малорухливими у ґрунті. Отже, такі препарати слід вводити у систему краплі на початку поливу, з подальшим тривалим періодом зрошення для транспортування діючої речовини в кореневу зону. Навпаки, інсектициди з більшою розчинністю у воді та високою рухливістю у ґрунті, зокрема тіаметоксам, слід застосовувати у середню третину циклу зрошення, щоб уникнути вимивання діючої речовини з кореневої зони [7].

Зараз на багатьох етикетках для інсектицидів, які дозволені для застосування методом краплинного зрошення, є рекомендації стосовно оптимального часу для ін'єкцій під час поливу саме для цього конкретного інсектициду.

3. Ефективність застосування інсектицидів на кукурудзі проти гусениць совки озимої за різних норм препаратів (Київська обл., с. Любарці, ФГ «Король»)

Назва препарату	Норма витрати, л/га	Ефективність, %
Контроль	–	*7,0 екз./м ²
Кораген 20, КС	0,4	91,4
	0,6	94,3
Ампліго 150 ZC ФК	0,6	94,3
	1,2	97,1
Воліам Флексі 300 SC, КС	0,5	94,3
	1,0	100,0
Енжіо, 247 SC, к.с.	0,15	91,4
	0,3	97,1
Карате Зеон 050 CS, мк.с.	0,4	85,7
	0,6	88,6
Актара, 240 SC, к.с.	0,3	88,6
	0,6	94,3
Каліпсо 480 SC, КС	0,375	91,4
	0,5	91,4
Борей 20, КС	0,10	88,6
	0,14	91,4
НІР ₀₅		3,8

*щільність шкідника на контролі екз./м² на період проведення обліку на 14-й день після обробки

Зниження чисельності гусені совки та личинок коваликів на варіантах досліджуваного збереження густоти стояння рослин та одержанню вищої врожайності зерна кукурудзи (табл. 4). При застосуванні кілько-компонентних інсектицидів, зокрема Воліам Флексі 300 SC, КС, Ампліго 150 ZC ФК та Енжіо, 247 SC, к.с. за максимальних їх норм витрати, густота рослин кукурудзи в середньому сягала 84–88 тис./га, на 18,3–23,9% перевищуючи показник контролю. Це дало змогу одержати відповідно на 2,0–2,4 т/га вищу врожайність зерна.

Застосування пестицидів разом із краплинним зрошенням має багато переваг, порівняно з дощуванням. Зокрема, при краплинному внесенні усувається таке явище як знесення пестицидів вітром, а також непродуктивні втрати робочого розчину поза межами листової поверхні рослин, мінімізується вплив навколишнього середовища. Так інсектициди можна застосовувати шляхом краплинного зрошення, коли погодні умови ускладнюють або унеможливають використання обладнання для дощування.

Отже, при вивченні та удосконаленні заходів контролю ґрунтоживучих шкідників у посівах кукурудзи важливо враховувати різні аспекти системи захисту. Зокрема правильний підбір інсектицидів, визначення

ефективних норм витрат, спосіб застосування через систему поливу (краплинне) внесення і т.д. Напрямок даних досліджень, безумовно, є цікавим та перспективним і потребує подальшого аналізу та вивчення.

Висновки. В умовах Лісостепу України для захисту посівів кукурудзи, що вирощуються на краплинному зрошенні, від шкідників, зокрема від личинок коваликів та гусениць озимої совки, є доцільним внесення інсектицидів методом краплинного внесення. При цьому слід дотримуватись рекомендацій етикеток препаратів, де вказано оптимальний час внесення інсектицидів впродовж циклу зрошення.

Використання інсектицидів одночасно з краплинним зрошенням за рахунок локального їх внесення забезпечувало високу ефективність препаратів проти личинок коваликів, яка сягала 80–97,1%. Рослини кукурудзи під час наступного росту та розвитку продовжували всмоктувати інсектицид з ґрунтового розчину, що подовжувало тривалість токсичної дії препаратів.

Внесення кілько-компонентних інсектицидів, зокрема Воліам Флексі 300 SC, КС, Ампліго 150 ZC ФК та Енжіо, 247 SC, к.с. за максимальних норм їх витрати, дало змогу одержати густоту стояння рослин на 18,3–23,9%, а врожайність зерна на 2,0–2,4 т/га вищу, порівняно з контролем.

4. Вплив застосування інсектицидів та їх норм витрати на продуктивні показники кукурудзи (Київська обл., с. Любарці, ФГ «Король»)

Назва препарату	Норма витрати, л/га	Густота рослин перед збиранням, тис./га	Урожайність, т/га
Контроль	–	71	15,1
Кораген 20, КС	0,4	82	16,2
	0,6	85	16,8
Ампліго 150 ZC ФК	0,6	83	16,9
	1,2	87	17,1
Воліам Флексі 300 SC, КС	0,5	85	16,7
	1,0	88	17,5
Енжіо, 247 SC, к.с.	0,15	81	16,9
	0,3	84	17,3
Карате Зеон 050 CS, мк.с.	0,4	78	16,4
	0,6	81	16,8
Актара, 240 SC, к.с.	0,3	81	16,1
	0,6	81	16,5
Каліпсо 480 SC, КС	0,375	77	16,0
	0,5	80	16,6
Борей 20, КС	0,10	79	16,5
	0,14	83	17,0
НІР ₀₅		2,5	1,2

Застосування інсектицидів через систему краплинного зрошення є перспективним напрямком у захисті рослин і може успішно використовуватися для захисту кукурудзи

від різних видів фітофагів. Перевагою таких систем є змога швидкого застосування пестицидів у зручний час, незалежно від погодних умов.

Бібліографія

1. Ахмедов А.Д. Агроэкологические основы энергосберегающей технологии полива сельскохозяйственных культур / А.Д. Ахмедов // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: труды 4-й международной научн.-практ. конф. Москва. 2004. С. 157–162.
2. Ольгаренко И.В. Рационализация режима орошения в условиях изменчивости гидрометеопараметров (на примере кормовой свеклы) // Мелиорация и водное хозяйство. 2009. № 1. С. 36–38.
3. Щедрин В.Н., Кулыгин В.А. Особенности водопотребления овощных культур по периодам вегетации при орошении // Мелиорация и водное хозяйство. 2011. № 2. С. 28–31.
4. Адаптація агротехнологій до змін клімату: ґрунтово-агрохімічні аспекти ; за наук. ред. С.А. Балюка, В.В. Медведєва, Б.С. Носка. Харків : 2018. 363 с.
5. Волошин О.С., Лиман П.Б., Дудар А.И. Продуктивная влага под озимой пшеницей в интенсивных севооборотах Северной Степи Украины // Степное земледелие: Респ. межвед. темат. науч. сб. 148 Киев. 1986. Вып. 20. С. 9–13.
6. Шатковський Андрій. Вирощування кукурудзи на краплинному зрошенні // Агронаом. 2018, URL: <https://www.agronom.com.ua/vyroshhuvannya-kukurudzy-na-kraplynnomu-zroshenni/>
7. Gerald Ghidui, Thomas Kuhar, John Palumbo, David Schuster Drip Chemigation of Insecticides as a Pest Management Tool in Vegetable Production // Journal of Integrated Pest Management, Volume 3, Issue 3, 1 September 2012, Pages E1–E5, <https://doi.org/10.1603/IPM10022>
8. Методики випробування і застосування пестицидів / за ред. проф. С.О. Трибеля. Київ: Світ, 2001. 448 с.
9. Шатковский А.П., Мельничук Ф.С., Семенко Л.А. Основные аспекты внесения фунгицидов с поливной водой на системах капельного орошения плодовых насаждений // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2013. Вып. 50. С. 171–175.
10. Ghidui, G.M., N.L. Smith. 1980. Trickle irrigation system injected insecticides to control the European corn borer in bell pepper. Results of pest control studies, Rutgers University Cooperative Extension Service Publication Report 1: 5–6.
11. Kerns, D.L., and J.C. Palumbo. 1995. Using Admire on desert vegetable crops. IPM Series No. 5, University of Arizona Cooperative Extension Publication No. 195017.
12. Felsot, A.S., W. Cone, J.Yu, and J.R. Ruppert. 1998. Distribution of imidacloprid in soil following subsurface drip chemigation. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 60: 363–370.
13. Kuhar, T.P., P. Schultz, H. Doughty, A. Wimer, A. Wallingford, H. Andrews, C. Philips, M. Cassell, and J. Jenrette. 2011. Evaluation of foliar insecticides for the control of green peach aphids in broccoli in Virginia. Arthropod Management Tests. 36: E4. doi: 10.4182/amt.2011.E4.

References

1. Akhmedov, A.D. (2004). Agroekologicheskie osnovy energosberegayushhej tekhnologii poliva sel'skokhozyajstvennykh kultur [Agroecological basis of energy-saving technology for irrigation of crops]. 4-aya mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferencia: Energoobespechenie i energosberezhenie v selskom khozyajstve. Moskva, 157–162. [in Russian].
2. Olgarenko, I.V. (2009). Racionalizatsiya rezhima orosheniya v usloviyakh izmenchivosti gidrometeoroparametrov (na primere kormovoj svekly) [Rationalization of the irrigation regime under conditions of variability of hydrometeoroparameters (for example, fodder beets)]. Melioratsiya i vodnoe khozyajstvo, 1, 36–38. [in Russian].
3. Shhedrin, V.N., & Kuly`gin, V.A. (2011). Osobennosti vodopotrebleniya ovoshhny`kh kul`tur po periodam vegetaczii pri oroshenii [Features of water consumption of vegetable crops during the growing season during irrigation]. Melioratsiya i vodnoe khozyajstvo, 2, 28–31. [in Russian].
4. Balabukh, V.O., Matytska, L.V., Lavrynenko, O.V., Baliuk, S.A., & Solovei, V.B. (2018). Adaptatsiia ahrotekhnolohii do zmin klimatu: gruntovo-ahrokhimichni aspekty [Adaptation of

agricultural technology to winter climate: environmental and agricultural aspects]. Baliuk, S.A., Medvedev, V.V., & Noska, B.S. (Ed.). Kharkiv: Styl'na typohrafiia. [in Ukrainian].

5. Voloshin, O.S., Liman, P.B., & Dudar, A.I. (1986). Produktivnaya vlaga pod ozimoi psheniczej v intensivny`kh sevooborotakh Severnoj Step'i Ukrainy [Productive moisture under winter wheat in intensive crop rotation of the Northern Steppe of Ukraine]. Stepnoe zemledelie: Resp. mezhved. temat. nauch. sb., vol.20, 9–13. [in Russian].

6. Shatkovskiy, A. (2018). Vyroshchuvannia kukurudzy na kraplynnomu zroshenni [Growing of corn on drip irrigation]. Ahronom. Retrieved from: <https://www.agronom.com.ua/vyroshhuvannya-kukurudzy-na-kraplynnomu-zroshenni/> [in Ukrainian].

7. Ghidui, G., Kuhar, T., Palumbo, J., & Schuster, D. (2012). Drip Chemigation of Insecticides as a Pest Management Tool in Vegetable Production. Journal of Integrated Pest Management, Volume 3, Issue 3, E1–E5. Retrieved from: <https://doi.org/10.1603/IPM10022>

8. Trybelia, S.O. (Ed.). (2001). Metodyky vyprobuvannia i zastosuvannia pestytsydiv. Kyiv: Svit. [in Ukrainian].

9. Shatkovskij, A.P., Mel' nichuk, F.S., & Semenko, L.O. (2013). Osnovnye aspekty vneseniya fungicidov s polivnoj vodoj na sistemakh kapel' nogo orosheniya plodovykh nasazhdenij [The main aspects of the application of fungicides with irrigation water on drip irrigation systems of fruit stands]. Puti povy`sheniya e`ffektivnosti oroshaemogo zemledeliya, Vol. 50, 171–175. [In Russian].

10. Ghidui, G.M., & Smith, N.L. (1980). Trickle irrigation system injected insecticides to control the European corn borer in bell pepper. Results of pest control studies, Rutgers University Cooperative Extension Service Publication Report 1, 5–6.

11. Kerns, D.L., & J.C. Palumbo. (1995). Using Admire on desert vegetable crops. IPM Series No. 5, University of Arizona Cooperative Extension Publication No. 195017.

12. Felsot, A.S., W. Cone, J.Yu., & Ruppert, J.R. (1998). Distribution of imidacloprid in soil following subsurface drip chemigation. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 60, 363–370.

13. Kuhar, T.P., Schultz, P., Doughty, H., Wimer, A., Wallingford, A., Andrews, H., Philips, C., Cassell, M., & Jenrette, J. (2011). Evaluation of foliar insecticides for the control of green peach aphids in broccoli in Virginia. Arthropod Management Tests, 36: E4. doi: 10.4182/amt.2011.E4.

**Ф.С. Мельничук, С.А. Алексеева, А.В. Гордиенко,
Л.М. Мельничук, Е.Б. Шатковская**

Контроль численности почвенных вредителей кукурузы в условиях капельного орошения и дождевания

Аннотация. В Украине внесение пестицидов с поливной водой (пестигация) получает все большее распространение и актуальность. Исследование эффективности применения инсектицидов при внесении их вместе с поливной водой в мелиоративных системах (метод инсектигации) является надежным приемом снижения численности опасных видов. Преимуществом указанного способа является возможность своевременной доставки средств защиты растений в критические периоды культуры и возможность быстрого применения пестицидов независимо от погодных условий. Применение инсектицидов капельным поливом для контроля гусениц совки осуществляли во II–III декадах июня. Наиболее эффективными были препараты: Волиам Флекси 300 SC, КС, Амплиго 150 ZC ФК и Энжио, 247 SC, КС. Среди однокомпонентных надежную защиту растений культуры обеспечивал Актара, 240 SC, КС. В условиях капельного орошения контроль личинок совки оказался эффективным, достигая 85,7–100%. На варианте с максимальной нормой инсектицидов наивысшую эффективность обеспечили препараты Волиам Флекси 300 SC, КС, Амплиго 150 ZC ФК и Энжио, 247 SC, КС (97,1–100%). Против личинок щелкунов максимальный уровень защиты при капельном внесении инсектицидов получили на варианте с Волиам Флекси 300 SC, КС, где эффективность при норме расхода 0,3 л/га составляла 97,1%. Снижение численности гусениц совки и личинок щелкунов на вариантах опыта способствовало сохранению густоты стояния растений и получению высокой урожайности зерна кукурузы. При применении Волиам Флекси 300 SC, КС, Амплиго 150 ZC ФК и Энжио, 247 SC, КС, при максимальных их нормах расхода, густота растений культуры в среднем достигала 84–88 тыс./га. В общем, на вариантах опыта с капельным орошением производительность кукурузы превышала соответствующий показатель участков контроля на 2,0–2,4 т/га.

Ключевые слова: кукуруза, пестигация, инсектигация, капельное орошение, личинки щелкунов, озимая совка.

F.S. Melnychuk, S.A. Alekseeva, O.V. Hordiienko,
L.M. Melnychuk, K.B. Shatkovska

Soil pest control for maize when applying drip and sprinkler irrigation

Abstract. *In Ukraine, the application of pesticides along with irrigation water (pestigation) is becoming more widespread and popular. The use of insecticides when applying them along with irrigation water on reclamation systems (insecticide method) is a reliable way to reduce the number of dangerous pests. The advantage of this method is the possibility of timely delivery of plant protection products to crops during their critical periods, and rapid application of pesticides regardless of weather conditions. The use of insecticides along with drip irrigation to control owl moth caterpillars was carried out in the II–III decades of June. The most effective products were: Woliam Flexi 300 SC, Ampligo 150 ZC FC and Enzhio, 247, SC. Among the one-component products reliable protection of crop plants was provided by Actara, 240 SC. Under drip irrigation, owl moth larvae control proved to be rather effective, reaching 85,7–100%. On the variant with the maximum rate of insecticides, the highest efficiency was provided by the preps of Woliam Flexi 300 SC, Ampligo 150 ZC and Enzhio, 247 SC (97,1–100%). Against the larvae of Agriotes the reliable protection of corn when applying insecticides along with drip irrigation, was obtained on the variant with Woliam Flexi 300 SC, KS, where having an application rate of 0,3 l/ha, the protection level was 97,1%. Reduction in the number of owl moth caterpillars and Agriotes arvae on the variants of the experiment provided crop density and enabled to obtain a higher yield of corn grain. When applying Woliam Flexi 300 SC, Ampligo 150 ZC and Enzhio, 247 SC, at the maximum application rates, the crop density averaged 84–88 thou /ha. In general, on the variants of the experiment when the maximum rates of multi-agent preps were applied, the maize productivity was 2,0–2,4 t/ha. higher than the figures on the reference variants.*

Key words: *maize, pestigation, insectigation, drip irrigation, Agriotes arvae, owl moth.*

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202001-238>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/238>

УДК 631.67:330

ПЕРЕРОЗПОДІЛ ГРАНУЛОМЕТРИЧНИХ ФРАКЦІЙ В ЧОРНОЗЕМІ ЗВИЧАЙНОМУ ПІД ВПЛИВОМ ТРИВАЛОГО ЗРОШЕННЯ ТА ХІМІЧНОЇ МЕЛІОРАЦІЇ ФОСФОГІПСОМ

Т.К. Макарова¹, канд. с.-г. наук; Н.М. Максимова², канд. техн. наук; Г.В. Гапич³, канд. техн. наук; І.В. Чушкіна⁴

¹ Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро, Україна; <https://orcid.org/0000-0002-7150-6143>; e-mail: Shvydenkotk@i.ua;

² Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро, Україна; <https://orcid.org/0000-0003-1684-7479>; e-mail: natashannnnnn@gmail.com;

³ Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро, Україна; <https://orcid.org/0000-0001-5617-3566>; e-mail: gapichennadii@gmail.com;

⁴ Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро, Україна; <https://orcid.org/0000-0003-1251-6664>; e-mail: zalomiy80@gmail.com

Анотація. Стаття розкриває питання перерозподілу гранулометричних фракцій в чорноземі звичайному малогумусному вилугуваному на суглинковому лесі в умовах Північного Степу України під впливом зрошення водою II класу якості та хімічної меліорації фосфогіпсом. Тривале використання води для зрошення з водосховища на р. Самара Дніпровського району Дніпропетровської області погіршило властивості ґрунту через розвиток у ньому процесів осолонцювання, що обумовило використання фосфогіпсу. Розраховані норми внесення фосфогіпсу 1,4 т/га, 3 т/га і 6 т/га вносили на фоні зрошення і без нього. Досліджено вплив хімічної меліорації та зрошення на еколого-меліоративний стан ґрунту, що позначилося на змінах його гранулометричного складу, щільності складення та структурно-агрегатного складу. Встановлено, що поливи ґрунту середньою нормою зрошення 1500 м³/га знижують вміст фізичної глини на 0,12–0,06% порівняно з варіантами без зрошення. При внесенні фосфогіпсу при зрошенні відбуваються незначні зміни в перерозподілі гранулометричних фракцій: збільшення фракцій фізичного піску та зменшення фракцій фізичної глини. Встановлено, що гранулометричний склад ґрунту є більш стійким до дії фосфогіпсу, ніж до зрошення. На незрошуваних варіантах із хімічною меліорацією фосфогіпсом порівняно з контролем на 0,54–0,91% збільшується вміст фізичного піску та на 0,87–1,13% зменшується вміст фізичної глини. З підвищенням норми внесення фосфогіпсу вміст фізичного піску збільшується. Ефект покращення структурності та розуцільнення ґрунту спостерігається на варіантах із внесенням фосфогіпсу нормою 6 т/га під основний обробіток та нормою 3 т/га під весняну культивуацію.

Ключові слова: хімічна меліорація, фосфогіпс, чорнозем звичайний, гранулометричний склад, структура ґрунту, щільність складення ґрунту.

Постановка проблеми. Гранулометричний склад, а саме вміст і співвідношення його гранулометричних фракцій, є головним критерієм, який визначає екологічні та продуктивні функції ґрунту. Він показує відповідне співвідношення в ґрунті механічних елементів різних розмірів (гранулометричних фракцій) у відсотках і впливає практично на всі його властивості [1; 2]. Ґрунти за гранулометричним складом поділяють на фізичний пісок (частки > 0,01 мм) та фізичну глину (частки < 0,01 мм). Такий розподіл базується на генезисі ґрунту, до того ж однаковий відсотковий вміст фізичної глини буде відігравати різну роль у підзолистих ґрунтах, чорноземах та солонцях, оскільки має різні діапазони значень [3].

Родючість ґрунту залежить від його гранулометричного складу, який своєю чергою

впливає на теплові, повітряні, водно-фізичні, фізичні та фізико-хімічні властивості ґрунтів. В умовах, де розвиваються процеси осолонцювання, гранулометричний склад ґрунтів змінюється залежно від складу ґрунтового поглинального комплексу, а саме від вмісту поглиненого натрію, кальцію і магнію, що позначається на процесах ущільнення, агрегації, фільтрації, вологоутримання, вологоперенесення, гумусоутворення та ін. Відомо, що легкі ґрунти за гранулометричним складом легко обробляються, швидко прогріваються, мають гарний повітряний та водний режим, але погано утримують вологу, мають малу ємність поглинання, низький рівень гумусу та елементів живлення. Важкі ґрунти, навпаки, дуже добре утримують вологу, мають високу ємність поглинання, більш насичені гумусом

та елементами живлення. Водночас важко-суглинкові та глинисті ґрунти мають помірну водопроникність, здатність запливати, утворювати кірку, злипатись. За цими критеріями кращими вважають суглинкові ґрунти [3].

Отже, актуальним є вивчення тривалої дії зрошення та внесення фосфогіпсу у якості хімічного меліоранту на зміни у перерозподілі фракцій гранулометричного складу у ґрунтах, де розвиваються процеси осолонцювання.

Аналіз досліджень та публікацій. Питанням зміни меліоративних властивостей ґрунту під впливом зрошення і хімічної меліорації присвячені роботи вітчизняних та зарубіжних науковців: Ромащенко М.І., Балюк С.А., Андреев Г.І., Козлечков Г.А., Золотун В.П., Моргун М.М., Жуков В.А., Онопрієнко Д.М., Papastefanou С., Stoulos S., Gharaibeh M.A., Eltaif N.I. та ін.

Найактивнішою агрономічною складовою ґрунту є фракція мулу (< 0,001 мм) [1]. Саме вона найбільш насичена колоїдним комплексом, яким визначається поглинальна здатність ґрунту та водостійкість його структури. Сприятлива водотривка структура формується в умовах відповідного поєднання глинистих частинок, гумусу і кальцію. Водночас, ситуація змінюється при проведенні зрошення водою II класу якості, за якого відбуваються зміни у ґрунтовому поглинальному комплексі (підвищується вміст поглиненого натрію), змінюється фракційний склад ґрунту, збільшується щільність складення та знижується водостійкість структури ґрунту.

У результаті проведених раніше досліджень в умовах Північного Степу України на чорноземах [4; 5] встановлено, що при зрошенні гранулометричний склад ґрунтів вниз по профілю збільшує відсоток мулу та дрібного пилу. Це пояснюється деагрегацією крупних частинок поливною водою та подрібнення їх у пил і мул [3; 6; 7]. Зрошення також переносить мілку мулисту фракцію з верхніх шарів ґрунту у нижні. Дослідження на чорноземі південному після 17 років зрошення показали результати зі зменшенням фізичної глини в орному шарі з 40,32 до 38,99% [8]. Відмічалось також поважчання шару 20–40 см. Під час іригаційного осолонцювання не так стрімко, але спостерігаються ті ж самі процеси, що призводять до знеструктурування ґрунтів та утворення у нижніх горизонтах ущільненого шару.

Інші дослідження в умовах Ростовської та Волгоградської областей на чорноземах звичайних доводять полегшення грануло-

метричного складу у верхніх горизонтах та поважчання у нижчих при зрошенні [9]. Спостерігалась тенденція до збільшення пилуватої фракції у верхніх горизонтах при поливі.

Ґрунти класифікують ще за такою генетичною ознакою як структура. З'єднані між собою механічні елементи агрегатів утворюють структуру ґрунту. Якісний склад, форма, розміри в одного типу ґрунту будуть різні залежно від місця відбору, горизонту та пори року. Ґрунти бувають структурні та безструктурні. Структурна форма розділена на різні частинки з відповідною формою та величиною – грудки. Безструктурний стан містить окремі механічні елементи, які не з'єднані між собою або мають вигляд суцільної зцементованої маси. Основна характеристика структурних частинок не форма, а їх властивості (розмір, водостійкість, пористість та ін.).

У результаті численних досліджень на чорноземних та каштанових ґрунтах доведено, що зрошення та механічний обробіток порушують структуру ґрунту [3, 9, 10]. Надмірний обробіток призводить до зменшення структурності через механічний розпад частинок. При зрошенні, як зазначалось раніше, руйнуються водостійкі агрегати, що викликано безпосередньо фізичною дією води на частинки та зміною хімічних властивостей ґрунту під дією води. Це спричиняє до утворення поверхневої кірки та збільшення щільності складення ґрунту. Для усунення негативних явищ зрошення пропонується проведення хімічної меліорації для поліпшення фізичних властивостей солонцюватих ґрунтів [11, 12].

Проведеними раніше дослідженнями Інституту овочівництва і баштанництва НААН встановлено, що ґрунт за механічним складом змінюється в бік поважчання при віддалені від р. Дніпро з легкосуглинкового до важкосуглинкового і легкоглинистого з переважанням в його фракціях часток пилу (від 0,05 до 0,001 мм). Найбільш поширені в цьому районі чорноземи пилувато-важкосуглинкові, в гранулометричному складі яких (при орному шарі 0–20 см) міститься фізичної глини (часток менших за 0,01 мм) від 45 до 55%, а часток мулу (менших за 0,001 мм) від 27 до 35%.

Неоднозначність результатів досліджень викликає зацікавленість. Можливо це пояснюється конкретними умовами проведення зрошення, особливістю ґрунтів, рельєфу місцевості та ін.

Мета досліджень полягає у встановленні на дослідній ділянці відповідних закономірностей зміни гранулометричного складу ґрунту під дією довготривалого зрошення водою II класу придатності та перерозподіл фракцій ґрунту при проведенні хімічної меліорації фосфогіпсом для усунення процесів осолонцювання.

Методи та об'єкт дослідження. Для вирішення наукових завдань використовували теоретичні методи, що базувалися на системному підході до розглянутої проблеми, з використанням методів аналізу та синтезу для вивчення способів боротьби із засоленням; експериментальні дослідження, що передбачають проведення польових та лабораторних дослідів. Польові досліді проводили для вивчення впливу хімічної меліорації на фізичні властивості ґрунту; лабораторні – для визначення фізичних та хімічних властивостей ґрунту; статистичний метод – для оцінки вірогідності отриманих результатів досліджень.

Під час виконання роботи було закладено польовий дослід, який включав 8 варіантів та два фактори: 1 – без внесення фосфогіпсу без зрошення (контроль); 2 – без внесення фосфогіпсу зі зрошенням водою II класу якості «Обмежено придатна» за ДСТУ 2730:2015 з середньою зрошувальною нормою 1500 м³/га (контроль); 3 – внесення фосфогіпсу під культивування навесні нормою 1,4 т/га на глибину 12 см без зрошення; 4 – внесення фосфогіпсу під культивування навесні нормою 3 т/га на глибину 12 см без зрошення; 5 – внесення фосфогіпсу восени під основний обробіток ґрунту на глибину 20 см нормою 6 т/га без зрошення; 6 – внесення фосфогіпсу під культивування навесні нормою 1,4 т/га на глибину 12 см зі зрошенням з середньою зрошувальною нормою 1500 м³/га; 7 – внесення фосфогіпсу під культивування навесні нормою 3 т/га на глибину 12 см зі зрошенням з середньою зрошувальною нормою 1500 м³/га; 8 – внесення фосфогіпсу восени під основний обробіток ґрунту на глибину 20 см нормою 6 т/га зі зрошенням з середньою зрошувальною нормою 1500 м³/га. Площа облікової ділянки становить 50 м². Повторюваність дослідів чотириразова з розщепленим розміщенням ділянок. Фосфогіпс вносили розрахунковими дозами в запас на три роки. Меліоративну дозу внесення фосфогіпсу визначали за витісненням обмінного натрію з ґрунтового вбирного комплексу, за попередження осолонцювання ґрунту мінералізованими водами (за вмістом натрію у поливній воді),

за коагуляційно-пептизаційним методом та допоглинанням ґрунтом кальцію. Під час проведення досліджень чергування сільсько-господарських культур було таким: ячмінь ярий, пшениця озима, пшениця озима.

Дослідження проводили на базі державного підприємства «Дослідне господарство Дніпровської дослідної станції Інституту овочівництва і баштанництва НААН», що знаходиться в с. Олександрівка Дніпровського району Дніпропетровської області. Ведення сільського господарства на дослідній ділянці проводили та проводять в умовах зрошення водою з водосховища на р. Самара. На початку проведення зрошення у дослідному господарстві ґрунт мав дрібногрудкувату структуру. Проведення обробітку у вологому стані та надмірне зволоження призвело до його ущільнення, незадовільного проникнення води і повітря у нижні горизонти.

Результати досліджень та їх обговорення. Ґрунтовий покрив ділянки представлено чорноземом звичайним малогумусним вилугуваним легкосуглинковим на лесі, профіль якого на момент досліджень складався з таких горизонтів:

Нк0-30 см – гумусовий, темно-сірий, орний шар – порохуватий, в сухому стані брилистий і тріщинуватий, легкосуглинковий; підорний шар – грудкувато-зернистий сухий, перехід у наступний горизонт поступовий за складенням і кольором

Нркs30-45 см – верхній перехідний, гумусований, темно-сірий, з глибиною змінюється на бурий, легкосуглинковий, горіхувато-грудкуватий, злегка ущільнений, сухий, засолений, перехід у наступний горизонт поступовий за кольором

НР(i)ks45-50 см – нижній перехідний, гумусовий, ільовійований, темно-бурувато-сірий, вологий, легкосуглинковий, горіхуватий, карбонатний, наявне скипання від 10%-соляної кислоти, карбонати у вигляді «білозірки», засолений

Ph(i)k50-110 см – верхня частина ґрунотворної породи, темно-бурий, свіжий, легкосуглинковий, структура змінюється з горіхуватої на грудкувату, ущільнений, перехід у наступний горизонт поступовий за кольором

Рk110-150 см – ґрунотворна порода – лес, палевий, ущільнений, легкосуглинковий, горіхувато-грудкуватий, карбонатний, карбонати у вигляді прожилок.

Дані гранулометричного складу ґрунту за середніми показниками по роках досліджень наведено у таблиці 1.

1. Гранулометричний склад ґрунту дослідної ділянки (середнє за 3 роки досліджень)

Варіант досліджу*	Шар ґрунту, см	Розмір часток (мм), значення (%)						Вміст, %	
		1,000–0,250	0,250–0,050	0,050–0,010	0,0100–0,005	0,005–0,001	<0,001	фізична глина	фізичний пісок
1	0–30	4,07	34,89	33,55	2,08	8,96	16,44	27,48	72,51
	30–60	5,16	29,46	35,82	3,69	7,56	18,28	29,53	70,44
2	0–30	3,81	35,73	33,87	1,96	8,9	16,24	27,1	73,41
	30–60	5,21	31,38	34,98	2,2	7,48	18,07	27,75	71,57
3	0–30	4,42	35,48	34,24	1,56	8,14	14,39	24,09	74,14
	30–60	5,2	30,61	36	3,34	7	16,57	26,91	71,81
4	0–30	4,49	35,76	34,57	1,62	8,25	14,68	24,55	74,82
	30–60	5,27	30,87	36,4	3,4	7,1	16,75	27,25	72,54
5	0–30	4,51	35,9	34,85	1,67	8,37	14,83	24,87	75,26
	30–60	5,3	31	36,48	3,42	7,18	16,78	27,38	72,78
6	0–30	4,0	36,1	34,25	1,58	8,31	14,1	23,99	74,35
	30–60	5,38	31,54	35,0	2,05	7,1	16,0	25,15	71,92
7	0–30	4,21	36,28	34,53	1,6	8,43	14,14	24,17	75,02
	30–60	5,42	31,61	35,1	2,1	7,14	16,23	25,47	72,13
8	0–30	4,37	36,37	34,64	1,68	8,4	14,36	24,44	75,38
	30–60	5,51	31,75	35,5	2,1	7,16	16,3	25,56	72,76

Примітка: *1 – без внесення фосфогіпсу, без зрошення (контроль); 2 – без внесення фосфогіпсу зі зрошенням водою II класу якості «Обмежено придатна» за ДСТУ 2730:2015 з середньою нормою зрошення 1500 м³/га (контроль); 3 – внесення фосфогіпсу під культивування навесні нормою 1,4 т/га на глибину 12 см, без зрошення; 4 – внесення фосфогіпсу під культивування навесні нормою 3 т/га на глибину 12 см, без зрошення; 5 – внесення фосфогіпсу восени під основний обробіток ґрунту на глибину 20 см нормою 6 т/га без зрошення; 6 – внесення фосфогіпсу під культивування навесні нормою 1,4 т/га на глибину 12 см зі зрошенням водою II класу якості з середньою зрошувальною нормою 1500 м³/га; 7 – внесення фосфогіпсу під культивування навесні нормою 3 т/га на глибину 12 см зі зрошенням водою II класу якості з середньою нормою зрошення 1500 м³/га; 8 – внесення фосфогіпсу восени під основний обробіток ґрунту на глибину 20 см нормою 6 т/га зі зрошенням водою II класу якості з середньою нормою зрошення 1500 м³/га.

З наведених даних видно, що зрошення і хімічна меліорація фосфогіпсом призводять до змін у співвідношеннях між фракціями гранулометричного складу ґрунту, основними з яких є збільшення частинок фізичного піску по відношенню до контролю. Суттєво відрізняються значення розміру гранулометричних частинок зі зрошуваним та незрошуваним варіантами. Завдяки зрошенню вміст фізичної глини в орному шарі ґрунту (0–30 см) зменшився на 0,38%, за цього на 0,94% збільшився вміст поглиненого натрію і на 0,15 г/см³ підвищилася щільність складення ґрунту порівняно з контролем. Зміни в складі ґрунтового поглинального комплексу позначилися на поглинальній здатності ґрунту та структурно-агрегатному складі. Під дією зрошення вміст агрономічно-цінних агрегатів ґрунту (10,0–0,25 мм) в орному шарі зменшився до 68,5%, тоді як у підорному шарі (30–60 см) залишався стабільним. Вміст фізичного піску збільшувався за відношенням до контрольного незрошеного варіанту в середньому на 1,02% в орному та підорному шарах ґрунтового профілю.

Хімічна меліорація фосфогіпсом без зрошення позитивно вплинула на кількість фракцій фізичного піску. Відбулося укрупнення цих фракцій на 0,54–0,91% порівняно з контрольним незрошуваним варіантом. Значення відсотка вмісту фракцій збільшувалось із підвищенням норми внесення меліоранту. Так, при нормі 1,4 т/га це значення було 4,42%, а при нормах 3 та 6 т/га – 4,49 та 4,51% відповідно. Більш суттєве підвищення значень фізичного піску саме в орному шарі ґрунту на 0,35–0,44%, тоді як у підорному шарі ця різниця складає 0,4–0,11%. Вміст фізичної глини навпаки зменшився на 0,87–1,13%. Така ж тенденція спостерігається у зміні кількості обмінного натрію: на контролі без зрошення він становив 4,24%. За збільшення норми внесення значення обмінного натрію змінювались із 2,58% за норми 1,4 т/г до 2,08% за норми внесення фосфогіпсу 6 т/га. Щільність складення ґрунту орного шару при цьому змінювалась у незначних діапазонах – 1,25–1,21 г/см³ по варіантах внесення меліоранту, а при порівнянні з контрольним (1,35 г/см³) ця

зміна була більш суттєва. Підорний шар при незначній зміні вмісту фізичної глини в середньому на 2,35% характеризувався ущільненням до 1,41 г/см³. За проведення хімічної меліорації структурно-агрегатний стан ґрунту характеризувався підвищенням вмісту агрономічної цінної структури до 71,2%.

У варіантах зі зрошенням спостерігали також збільшення фракцій фізичного піску та зменшення фракцій фізичної глини зі збільшенням норми внесення меліоранту. В орному шарі ґрунту відбулося збільшення фракцій фізичного піску на 0,31–0,35% порівняно з контрольним зрошуваним варіантом, що на 0,23–0,56% менше варіантів без зрошення. Вміст фізичної глини навпаки зменшився на 0,89–1,04%. Значення відсотка вмісту фракцій (1,000–0,2500 мм) збільшувалось зі збільшенням норми внесення меліоранту. Величина вмісту фракцій розміром 1,00–0,25 мм підвищувалася із збільшенням норми внесення меліоранту. Так за норми 1,4 т/га це значення було 4,00%, за норм 3 та 6 т/га – 4,21 та 4,37 відповідно, що на 0,42–0,14% менше порівняно з незрошуваними варіантами. Це вказує на вищу стабільність ґрунту до дії фосфогіпсу, ніж до зрошення. У структурно-агрегатному складі відбувається втрата агрономічно цінних агрегатів до 69,4%, але це більше на 1% порівняно з контролем. За цього відбувається значне зменшення обмінного натрію до 1,27–1,72% з 5,13% на контролі при зрошенні, що пояснюємо значним зменшенням вмісту фізичної глини в середньому на 2,3%. Щільність складення ґрунту у цьому разі становила 1,26–1,28 г/см³ (на контролі – 1,4 г/см³).

У підорному шарі вміст фізичного піску збільшився на 0,12–0,4%, а вміст фізичної глини зменшився на 0,73–0,87% порівняно з

контрольним зрошуваним варіантом. Як і у варіантах без зрошення, так і під час поливу відбувається ущільнення підорного шару ґрунту до 1,55 г/см³.

Висновки. Проведені дослідження показали, що у ґрунті відбувається перерозподіл фракцій гранулометричного складу, а саме зменшення вмісту фізичної глини на 0,12–0,06% при зрошенні порівняно з неполивним варіантом. За проведення хімічної меліорації фосфогіпсом у варіантах зі зрошенням спостерігали збільшення фракцій фізичного піску та зменшення фракцій фізичної глини. Встановили, що при поливі фракційний склад ґрунту більш стійкий до внесення фосфогіпсу, аніж до зрошення.

Під впливом хімічної меліорації фосфогіпсом без зрошення відбувається збільшення фракцій фізичного піску на 0,54–0,91% порівняно з контрольним незрошуваним варіантом за рахунок кращої агрегованості в мікроагрегатах; вміст фізичної глини навпаки зменшився на 0,87–1,13%. Значення відсотка вмісту фракцій фізичного піску збільшувалось зі збільшенням норми внесення меліоранту. В усіх варіантах досліду відбувається ущільнення підорного шару ґрунту; зменшення кількості обмінного натрію; у варіантах зі зрошенням відбувається втрата агрономічно цінних грудкувато-зернистих частинок ґрунту.

За результатами досліджень встановлено, що фосфогіпс покращив гранулометричний склад ґрунту дослідної ділянки, хоча відбулося деяке ущільнення підорного шару ґрунту. На показники фракційності гранулометричного складу та щільності складення найкраще вплинуло внесення фосфогіпсу восени під основний обробіток ґрунту нормою 6 т/га та внесення під культивування навесні нормою 3 т/га.

Бібліографія

1. Золотун В.П. и др. Изменение мелиоративных свойств почв юга Украины в условиях орошения и их мелиорация. Агрoхимия и плодородие почв: тез. докл. III съезда почвоведов и агрохимиков (10–14 сентября 1990 г.). Харьков, 1990. С. 41–45.
2. Papastefanou C., Stoulos S., Ioannidou A., Manolopoulou M. The application of phosphogypsum in agriculture and the radiological impact. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2006. № 89. Pp. 188–198.
3. Шикiула Н.К., Назаренко Г.В. Минимальная обработка черноземов и воспроизводство их плодородия. Москва: Агрoпромиздат, 1990. 320 с.
4. Онопрієнко Д.М., Шепель А.В., Макарова Т.К. Вплив фосфогіпсу на хімічний склад водної витяжки ґрунту // *Агрoлогія*. 2019. №2(3). С. 151–155. doi:10.32819/019022
5. Онопрієнко Д.М., Макарова Т.К. Вплив хімічної меліорації на сольовий режим ґрунтів (на прикладі Дніпропетровської області) // *Вісник ДДАЕУ*. 2015. № 3(37). С. 53–57.
6. Почвенно-экологический мониторинг и охрана почв: учебное пособие / Под ред. Д.С. Орлова, В.Д. Васильевской. Москва: Изд-во МГУ, 1994. 272 с.

7. Ромащенко М.І., Балюк С.А. Зрошення земель в Україні. Стан та шляхи поліпшення. Київ: Видавництво «Світ», 2000. 114 с.
8. Остапов В.Н., Сафронова Е.П. Влияние орошения на плодородие почв в степной зоне Украины // Гидротехника и мелиорация. 1986. № 5. С. 54–58.
9. Андреев Г.И., Козлечков Г.А., Андреев А.Г. Экологическое состояние орошаемых почв на Нижнем Дону: монография, 2007. 262 с.
10. Gharaibeh M.A., Eltaif N.I., Shra'ah S.H. Reclamation of a calcareous saline-sodic soil using phosphoric acid and by-product gypsum. Soil Use and Management. 2010. Vol. 26. Issue 2. Pp. 141–148.
11. Лозовіцький П.С. Водні та хімічні меліорації ґрунтів. Київ, 2010. 187 с.
12. Хімічна меліорація ґрунтів (концепція інноваційного розвитку) / за ред. С.А. Балюка, Р.С. Трускавецького, Ю.Л. Цапка. Харків: ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського», 2012. 129 с.

References

1. Zolotun, V.P., Zhukov, V.A., & Morgun, M.M. et al. (1990). Izmenenie meliorativnyh svojstv pochv yuga Ukrainy v usloviyah orosheniya i ih melioraciya [Changing the reclamation properties of soils in the south of Ukraine under irrigation and their reclamation]. Agrohimiya i plodorodie pochv: tez. dokl. III sezda pochvovedov i agrohimikov. Harkov, 41–45. [in Russian].
2. Papastefanou, C., Stoulos, S., Ioannidou, A., & Manolopoulou M. (2006). The application of phosphogypsum in agriculture and the radiological impact. Journal of Environmental Radioactivity, Vol. 89, 188–198.
3. Shikula, N.K., & Nazarenko, G.V. (1990). Minimalnaya obrabotka chernozemov i vosproizvodstvo ih plodorodiya [Minimal processing of chernozems and reproduction of their fertility]. M.: Agropromizdat. [in Russian].
4. Onoprienko, D.M., Shepel', A.V., & Makarova, T.K. (2019). Influence of phosphogypsum on the chemical composition of aqueous extract from soil. Agrology, 2(3), 151–155. doi:10.32819/019022. [in Ukrainian].
5. Onoprienko, D.M., & Makarova, T.K. (2015). Vplyv khimichnoi melioratsii na solovyi rezhym gruntiv (na prykladi Dnipropetrovskoi oblasti) [Influence of chemical reclamation of soil salt regime (of the example of Dnepropetrovsk region)]. Bulletin of the DSAEU, Vol. 3(37), 53–57. [in Ukrainian].
6. Orlova, D.S., & Vasilevskoj, V.D. et al. (1994). Pochvenno-ekologicheskij monitoring i ohrana pochv: uchebnoe posobie [Soil-ecological monitoring and soil protection: a training manual]. Moscow: Izd-vo MGU. [in Russian].
7. Romashenko, M.I., & Balyuk, S.A. (2000). Zroshennya zemel v Ukrayini. Stan ta shlyahi polipshennya [Irrigation of lands in Ukraine. Condition and ways to improve]. Kyiv. [in Ukrainian].
8. Ostapov, V.N., & Safronova, E.P. (1986). Vliyanie orosheniya na plodorodie pochv v stepnoj zone Ukrainy [The impact of irrigation on soil fertility in the steppe zone of Ukraine]. Gidrotehnika i melioraciya, Vol. 5, 54–58. [in Russian].
9. Andreev, G.I., Kozlechkov, G.A. & Andreev, A.G. (2007). Ekologicheskoe sostoyanie oroshaemyh pochv na Nizhnem Donu: monografiya [The ecological state of irrigated soils in the Lower Don: monograph]. Dnepropetrovsk. [in Russian].
10. Gharaibeh, M.A., Eltaif, N.I., & Shra'ah, S.H. (2010). Reclamation of a calcareous saline-sodic soil using phosphoric acid and by-product gypsum. Soil Use and Management, Vol. 26, Iss. 2, 141–148.
11. Lozovitskyi, P.S. (2010). Vodni ta khimichni melioratsii gruntiv [Water and chemical soil reclamation]. Publishing and Printing. [in Ukrainian].
12. Baliuk, S.A. (Ed.). (2012). Suchasna koncepcija himichnoi melioratsii (Informatsiine zabezpechennia zroshuvanoho zemlerobstva kyslyh i soloncevyh gruntiv. Kontseptsiia, struktura, orhanizatsiia. [Contemporary concept of chemical melioration of acid and saline soils. Information support. Harkiv. [in Ukrainian].

Т.К. Макарова, Н.Н. Максимова, Г.В. Гапич, И.В. Чушкина

Перераспределение гранулометрических фракций в черноземе обыкновенном под влиянием длительного орошения и химической мелиорации фосфогипсом

Аннотация. Статья раскрывает вопросы перераспределения гранулометрических фракций в черноземе обычном малогумусном выщелоченном на суглинистом лессе в условиях Северной Степи Украины под влиянием орошения водой II класса качества и химической мелиорации фосфогипсом.

Длительное использование воды для орошения из водохранилища на р. Самара Днепропетровского района Днепропетровской области ухудшило свойства почвы из-за развития в нем процессов осолонцевания, что обусловило использование фосфогипса. Исследовано влияние химической мелиорации и орошения на эколого-мелиоративное состояние почвы, что сказалось на изменениях ее гранулометрического состава, плотности сложения и структурно-агрегатного состава. Установлено, что поливы почвы средней нормой орошения 1500 м³/га снижают содержание физической глины на 0,12–0,06% по сравнению с вариантами без орошения. При внесении фосфогипса при орошении происходят незначительные изменения в перераспределении гранулометрических фракций: увеличение фракций физического песка и уменьшение фракций физической глины. Установлено, что гранулометрический состав почвы является более устойчивым к действию фосфогипса, чем к орошению. На неорошаемых вариантах с химической мелиорацией фосфогипсом по сравнению с контролем на 0,54–0,91% увеличивается содержание физического песка и на 0,87–1,13% уменьшается содержание физической глины. С повышением нормы внесения фосфогипса содержание физического песка увеличивается. Эффект улучшения структуры и разуплотнения почвы наблюдается на вариантах с внесением фосфогипса нормой 6 т/га под основную обработку и нормой 3 т/га под весеннюю культивацию.

Ключевые слова: химическая мелиорация, фосфогипс, чернозем обыкновенный, гранулометрический состав, структура почвы, плотность сложения почвы.

T.K. Makarova, N.N. Maksymova, G.V. Napich, I.V. Chushkina
Redistribution of particle-size fractions in ordinary chernozem affected by long-term irrigation and chemical melioration with phosphogypsum

Abstract. The article reveals the issue of redistribution of particle-size fractions in ordinary low-humus leached chernozem on loamy loess in the condition of Northern Steppe of Ukraine affected by the irrigation with II class water and chemical melioration with phosphogypsum. Rather long use of water for irrigation from the reservoir on the Samara River in the Dniprovskiy district of the Dnipropetrovsk region deteriorated the soil properties due to salinization development in it, which led to the use of phosphogypsum. The calculated application rates of phosphogypsum 1,4 t/ha, 3 t/ha and 6 t/ha were applied along with irrigation and without it. The effect of chemical melioration and irrigation on the ecological and ameliorative condition of soil that resulted in the change of its particle-size composition, bulk density and structure was studied. It is established that irrigation of the soil with an average irrigation rate of 1500 m³/ha reduces the content of physical clay by 0,12–0,06% compared to the options without irrigation. When applying phosphogypsum along with irrigation there are minor changes in the redistribution of particle-size fractions: an increase in the fractions of physical sand and a decrease in the fractions of physical clay. It was determined that the particle-size composition of soil is more resistant to the effect of phosphogypsum rather than to the effect of irrigation. In non-irrigated variants when applying chemical melioration with phosphogypsum, the content of physical sand increases by 0,54–0,91% compared to the reference variant and the content of physical clay decreases by 0,87–1,13%. With increasing the rate of phosphogypsum, the content of physical sand also increases. The effect of improving the structure and loosening of the soil is observed in the variants where phosphogypsum at the rate of 6 t/ha was applied under the main tillage and at the rate of 3 t/ha under spring cultivation.

Key words: chemical melioration, phosphogypsum, ordinary chernozem, particle-size composition, soil structure, soil density.

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202001-232>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/232>

УДК 631.674:628.17

ВОДОПОТРЕБА СУПУТНІХ КУЛЬТУР НА РИСОВИХ ЗРОШУВАЛЬНИХ СИСТЕМАХ

**А.М. Рокочинський¹, докт. техн. наук, В.О. Турченко², докт. техн. наук,
П.П. Волк³, канд. техн. наук, Р.М. Коптюк⁴, канд. техн. наук, Н.В. Приходько⁵, канд. техн.
наук, Д.М. Ричко⁶, аспірант**

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/0000-0002-1938-0344>; e-mail: v.o.turchenuk@nuwm.edu.ua

³ Національний університет водного господарства та природокористування, Рівне, Україна;
<https://orcid.org/0000-0001-5736-8314>; e-mail: p.p.volk@nuwm.edu.ua

⁴ Національний університет водного господарства та природокористування, Рівне, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-7086-3608>; e-mail: r.m.koptiuk@nuwm.edu.ua

⁵ Національний університет водного господарства та природокористування, Рівне, Україна;
<https://orcid.org/0000-0003-1424-2628>; e-mail: n.v.prihodko@nuwm.edu.ua

⁶ Національний університет водного господарства та природокористування, Рівне, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-8819-9098>; e-mail: d.m.synchaievych@nuwm.edu.ua

Анотація. *Останні дослідження погодно-кліматичних умов зони рисосіяння України свідчать про стійку тенденцію до посилення посушливості клімату в регіоні. Подальше підвищення температури повітря та зниження природної вологозабезпеченості цих територій неминуче призведе до збільшення сумарного випаровування та, відповідно, величини водопотреби при зрошенні культур рисової сівозміни. За таких умов у регіоні прогнозується суттєве загострення існуючої проблеми дефіциту водних ресурсів, від наявності яких напряму залежить ефективність вирощування сільськогосподарських культур на зрошуваних землях рисових систем. У зв'язку з цим, існує об'єктивна необхідність адаптації аграрного виробництва на зрошуваних землях рисових систем до наявних та прогнозованих змін клімату, що, насамперед, потребує оцінювання зміни водопотреби при зрошенні як провідної культури затоплюваного рису, так і супутніх культур рисової сівозміни. Відповідно до цього, у статті представлені результати оцінювання величини водопотреби супутніх культур рисової сівозміни у змінних природно-аграрно-меліоративних умовах функціонування рисових систем. Дослідження виконані на прикладі Придніпурських рисових зрошувальних систем в Одеській області, конструктивні та природно-меліоративні умови яких є типовими для більшості рисових систем України. У межах виконання дослідження реалізовано широкомасштабний машинний експеримент на ЕОМ, що ґрунтується на комплексі відповідних прогнозно-імітаційних моделей, які на основі довготермінового прогнозу дозволяють оцінювати погодно-кліматичні умови, водний режим, технології водорегулювання та продуктивність меліорованих земель. Під час експерименту було досліджено умови формування сумарного випаровування, за якими визначено величини водопотреби різних видів супутніх культур рисової сівозміни для прийнятих схем технологій та режимів водорегулювання на зрошуваних землях рисових систем у розрахункові щодо умов тепло- й вологозабезпеченості періоди вегетації. Виконано оцінювання технологічної ефективності зрошення супутніх культур рисової сівозміни щодо змінних природно-аграрно-меліоративних умов функціонування рисових систем та здійснено порівняння отриманих результатів із реальними виробничими даними. Розглянутий підхід дозволяє оцінити та спрогнозувати водопотребу супутніх культур рисової сівозміни у множинних змінних природно-аграрно-меліоративних умовах функціонування рисових систем, а отримані результати можуть бути ефективно використані при обґрунтуванні режимно-технологічних рішень у проектах реконструкції і модернізації діючих рисових систем та розробці адаптивних заходів до прогнозованих змін клімату в регіоні.*

Ключові слова: *водні ресурси, рисові зрошувальні системи, супутні культури рисової сівозміни, сумарне випаровування, водопотреба, технології водорегулювання.*

Актуальність дослідження. Сучасні зміни клімату, наявність яких є незаперечним фактом як на глобальному, так і місцевому рівнях, суттєво впливає на усі сфери діяльності людини. Найбільш відчутний вплив

має місце у галузях аграрного виробництва, насамперед у зоні зрошувальних меліорацій, ефективність яких безпосередньо залежить від наявності водних ресурсів необхідної якості та достатньої кількості.

Якщо нині, за даними Інституту водних проблем і меліорації НААН [1], близько 62% ріллі України належить до площ із дефіцитом природного водозабезпечення – 150 мм і більше, то можна припустити, що в 2050 р. таких земель уже буде 67%, а до 2100 р. їхня частка сягне 80%. Тобто понад 25 млн га орних земель будуть практично непридатними для вирощування сільськогосподарських культур без штучного зволоження. Крім того, по регіонах існує суттєвий дисбаланс між потребою у водних ресурсах та забезпеченістю ними, який є значним та катастрофічним для південних областей країни – зони зрошеного землеробства.

Зважаючи на те, що в умовах змін клімату у зоні зрошення України й надалі прогнозується загострення дефіциту водних ресурсів через зменшення кількості доступної та придатної для зрошення води, існує нагальна необхідність перегляду водної політики та стратегії управління водними ресурсами щодо адаптації до наявних та прогнозованих змін.

Найбільш гостро потреба сталого управління водними ресурсами існує і у галузі рисосіяння, яка належить до однієї з найбільш водо- та енергозатратних, що пов'язане із застосуванням традиційного поверхневого поливу затопленням при вирощуванні провідної культури рису, а також необхідністю створення та підтримання промивного водного режиму засоленних ґрунтів як обов'язкової умови ефективного функціонування рисових зрошувальних систем (РЗС) у складних гідрогеологічних умовах зони рисосіяння України. Тому реалізація ефективного управління водними ресурсами на РЗС потребує, насамперед, удосконалення технологій водорегулювання при вирощуванні культур рисової сівозміни, що досі розглядалося переважно із погляду вирощування провідної культури затоплюваного рису [2, 3]. До того ж питання щодо удосконалення техніки поливу та режимів зрошення супутніх культур рисової сівозміни є остаточно невирішеним [2].

Отже, зміни клімату призводять до збільшення сумарного випаровування та загальної водопотреби при вирощуванні як провідної культури затоплюваного рису, так і супутніх культур рисової сівозміни, дані про які є основою для розробки проектних і формування експлуатаційних режимів водорегулювання, що здійснюється шляхом управління водними ресурсами в умовах зростання їхнього дефіциту на основі обґрунтування та застосування ресурсоощадливих способів

і режимів водорегулювання на зрошуваних землях рисових систем.

Оскільки ресурсоощадливі технології та способи вирощування рису до тепер є пріоритетними і мають вже відповідні напрацювання, а раціональна частка супутніх культур у рисовій сівозміні має складати 40–50% [2, 3], **метою нашого дослідження** є оцінювання змін водопотреби при вирощуванні супутніх культур рисової сівозміни на зрошуваних землях РЗС для обґрунтування відповідних адаптивних рішень.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Представлені матеріали є додатковим результатом, отриманим нами у розвиток попередніх досліджень щодо формування водопотреби на осушуваних землях, здійснених у рамках спільного проекту Інституту водних проблем і меліорації НААН та Національного університету водного господарства та природокористування «Виконати оцінку впливу змін клімату на вологозабезпечення рослин і розробити ГІС-систему управління зрошенням і водорегулюванням».

Проведені дослідження погодно-кліматичних умов зони рисосіяння України підтверджують наявність їхніх змін та свідчать про стійку динаміку посилення посушливості клімату регіону [2, 4]. Оцінюючи ситуацію загалом, важливо відзначити, що сучасні вегетаційні значення основних метеорологічних характеристик близькі або вже знаходяться у зоні їхніх прогнозованих змін [5]. До того ж останні роки характеризуються рекордними температурними максимумами (до прикладу, середня температура повітря за вегетаційний період у 2018 р. становила 19,3°C при середньобагаторічній нормі 17,1°C) та збільшенням сезонної нерівномірності випадання атмосферних опадів, що негативно впливає на доступні для вирощування культур запаси природної ґрунтової вологи.

Основою формування величини водопотреби вирощуваних культур є сумарне випаровування, значення якого залежать, насамперед, від погодно-кліматичних умов місцевості. У зв'язку зі складною його залежністю також і від інших численних чинників на сьогодні існує багато різних за ступенем складності моделей зв'язку інтенсивності випаровування з впливаючими на нього показниками. Такі моделі розроблені І.А. Шаровим, Г.К. Льговим, С.І. Харченком, А.Р. Константиновим, М.І. Будико, М.В. Данильченко, Д.А. Штойко, Х.Л. Пенманом, Л. Тюрком та ін. Серед іноземних розробок найбільшою популярністю користуються методи Блейні і Кридла,

Тортвейна, Пенмана-Монтейта. Водночас в Україні для зрошуваних земель широкого застосування набув біокліматичний метод А.М. та С.М. Алпатьєвих.

Отже, вирішення завдання щодо оцінювання змін водопотреби вирощуваних культур у множинних змінних умовах реального об'єкта потребує застосування відповідного комплексу прогнозно-імітаційних моделей, які реалізуються за довготерміновим прогнозом.

Для ефективної реалізації таких завдань на кафедрі водної інженерії та водних технологій Національного університету водного господарства та природокористування розроблено комплекс прогнозно-імітаційних моделей щодо оцінювання кліматичних умов місцевості та метеорологічних режимів, водного режиму та технологій водорегулювання осушуваних земель, а також їхньої продуктивності. Практичне застосування прогнозно-імітаційних моделей регламентоване відповідними галузевими нормативами Держводагентства України [6–8]. Дані моделі адаптовані нами для застосування і в умовах зрошення.

Методи та матеріали дослідження.

Методи дослідження ґрунтуються на застосуванні теорії систем з основами системного підходу, системного аналізу та моделювання, орієнтованого на широке використання ЕОМ, та відповідного методичного, програмного й інформаційного забезпечення при розробці сучасних підходів до обґрунтування технічних, а також технологічних рішень щодо водорегулювання зрошуваних земель у змінних природно-агро-меліоративних умовах [9].

Для реалізації зазначеної мети нами був спланований і здійснений широкомасштабний машинний експеримент на ЕОМ з обґрунтування водопотреби супутніх культур рисової сівозміни в досліджуваних умовах.

Об'єктом дослідження є Придунайські РЗС в Одеській області загальною площею 13,6 тис. га, конструктивні та природно-меліоративні умови яких типові для більшості рисових систем України. Джерелом зрошення та водоприймачем дренажно-скидних вод систем є р. Дунай.

Як показали накопичений досвід та практика, найбільш широко застосовувані для поливу супутніх культур рисової сівозміни традиційний поверхневий полив затопленням (аналогічно поливу рису) та зрошення дощуванням у контексті сучасних технологічних, економічних та екологічних вимог є недостатньо ефективними.

Тому серед варіантів технологій водорегулювання нами розглянуто удосконалений

варіант поверхневого поливу затопленням, який конструктивно забезпечений для реалізації на рисових системах [10]. Він передбачає полив супутніх культур рисової сівозміни шляхом їхнього затоплення шаром води 2–4 см циклічно і тільки у темний період доби. Величина поливної норми змінюється відповідно до динаміки сумарного випаровування і опадів упродовж періоду вегетації та становить 200–400 м³/га. При добовій водопотребі культур 5–7 мм зрошувальна норма становить 2–6 тис. м³/га. Величина поливної норми за один цикл забезпечується та контролюється водовипусками, обладнаними гідроавтоматами, що здійснюють подачу розрахункової витрати із зрошувального каналу рисової системи у нічний час. Перевагами такого циклічного поливу у темний період доби є зменшення непродуктивних втрат зрошувальної води на сумарне випаровування, більш раціональне використання водних та енергетичних ресурсів на системі.

Нова запатентована технологія направлена на підтримання сприятливого еколого-меліоративного стану зрошуваних земель РЗС відповідно до сучасних екологічних та економічних вимог загалом, що забезпечить покращення умов росту і продуктивність супутніх культур рисової сівозміни.

Крім того, на чеках, де вирощується рис, та прилеглих до них територіях спостерігається так званий підпертий режим рівня ґрунтових вод (РГВ) із глибиною залягання 0,8–1,2 м. Тобто в такому режимі працює близько 60% системи, а решта системи та території з підвищеними рельєфними відмітками поверхні землі – у непідпертому режимі РГВ з глибиною залягання 1,4–2,0 м. Оскільки підпертий та непідпертий режими РГВ суттєво впливають на формування вологообміну, водного режиму та продуктивності зрошуваних земель, необхідно здійснювати їхній прогноз з урахуванням відповідного фоновому режиму РГВ.

Виходячи з розглянутого, прогнозні розрахунки у машинному експерименті виконані за такими множинними змінними умовами:

- щодо ґрунтів (g): суглинкові за гранулометричним складом ґрунти, $k_{\phi} = 0,6$ м/добу;
- щодо супутніх культур проектною рисовою сівозміною сукупності $\{k\}$, $k = 1, n_k$ із загальним їхнім вмістом 50% та відповідною часткою посівних площ під кожною з них на системі, f_k : 1 – багаторічні трави, потенційна врожайність 800 ц/га, $f_k = 0,25$; 2 – озимі зернові – 75 ц/га, $f_k = 0,1$; 3 – овочеві (помідори) – 800 ц/га, $f_k = 0,05$; 4 – кукурудза на зерно – 90 ц/га, $f_k = 0,05$; 5 – бобові (соя) – 38 ц/га, $f_k = 0,05$;

– за типовими (розрахунковими) роками щодо умов тепло- й вологозабезпеченості періодів вегетації сукупності $\{p\}$, $p = 1, n_p$ ($n_p = 5$): дуже вологі ($p=10\%$); вологі ($p=30\%$); середні ($p=50\%$); сухі ($p=70\%$) та дуже сухі ($p=90\%$);

– за різними технологіями водорегулювання сукупності $\{s\}$, $s = 1, n_s$ розглядаються варіанти без зрошення, зрошення дощуванням та удосконалений поверхневий полив затопленням, які реалізуються при двох фонових режимах РГВ – підпертому та непідпертому:

- 1 – непідпертий режим РГВ без зрошення;
- 2 – підпертий режим РГВ без зрошення;
- 3 – зрошення дощуванням при непідпертому режимі РГВ;
- 4 – зрошення дощуванням при підпертому режимі РГВ;
- 5 – удосконалений поверхневий полив затопленням при непідпертому режимі РГВ;

6 – удосконалений поверхневий полив затопленням при підпертому режимі РГВ.

Результати дослідження та їхнє обговорення. Результати прогнозних розрахунків за здійсненим машинним експериментом опрацьовані нами за такою схемою і подані у відповідній послідовності:

1. Вивчення й аналіз умов формування сумарного випаровування на рисових системах щодо видів вирощуваних супутніх культур, схем технологій та режимів водорегулювання, умов тепло- й вологозабезпеченості періодів вегетації (рис. 1).

Наведені результати відображають чітку диференціацію сумарного випаровування на рисових системах у досліджуваних умовах щодо видів вирощуваних супутніх культур, схем технологій та режимів водорегулювання, умов тепло- й вологозабезпеченості періодів вегетації. Величина сумарного випаровування

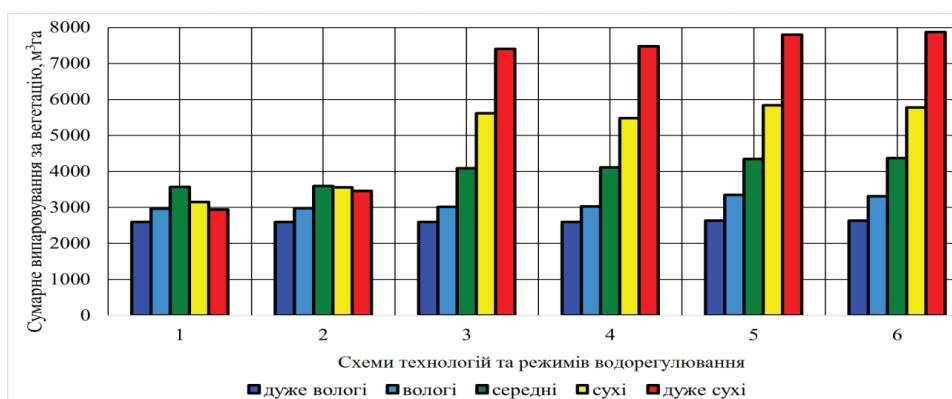
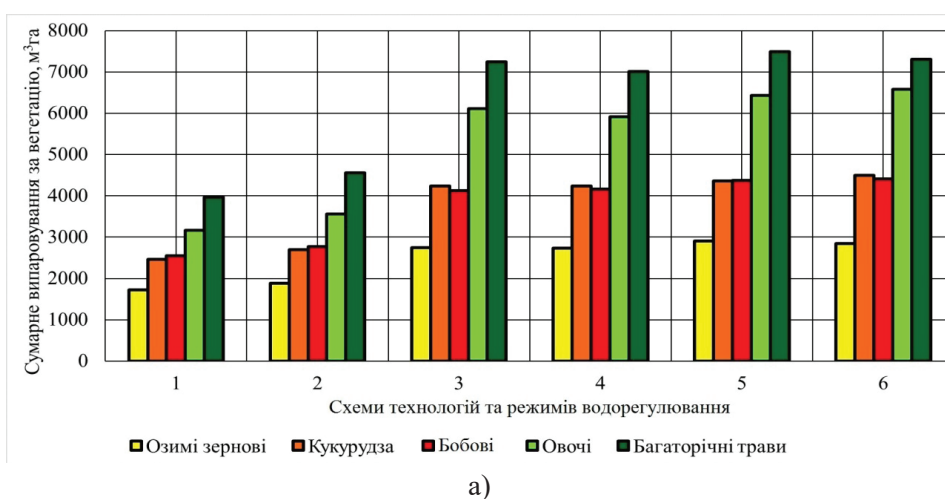


Рис. 1. Формування сумарного випаровування за різних схем технологій та режимів водорегулювання на зрошуваних землях РЗС: а) щодо різних видів супутніх культур в умовах розрахункового сухого ($p=70\%$) року; б) щодо умов розрахункових років для усереднених значень за сукупністю вирощуваних супутніх культур

тут варіює у досить широкому діапазоні від 1800 м³/га для озимих зернових в умовах розрахункового сухого (p=70%) року без зрошення (рис. 1-а) до 7500–7800 м³/га для усереднених значень за сукупністю вирощуваних супутніх культур в умовах дуже сухого року (p=90%) при зрошенні дощуванням та удосконаленому поверхневому поливі затопленням (рис. 1-б).

Отримані результати є основою для подальшого визначення величин водопотреби супутніх культур на зрошуваних землях рисових систем.

2. Визначення водопотреби супутніх культур на рисових системах щодо природно-агроеміоративних умов функціонування РЗС.

Відповідні результати прогнозних режимних розрахунків представлені, насам-

перед, для багаторічних трав як культури, яка відіграє надзвичайно важливу роль у структурі рисової сівозміни. Вони є найкращою культурою-відновлювачем після вирощування затоплюваної культури рису і гарним попередником для інших культур, характеризуються найбільшою величиною водоспоживання і займають найбільшу посівну площу порівняно з іншими супутніми культурами.

Прогнозні значення режиму зрошення, затрат зрошувальної води (водопотреби) та врожаю багаторічних трав у досліджуваних змінних погодно-кліматичних умовах, технологіях зрошення та фонових режимах РГВ на системі подані для порівняння у табличному (табл. 1) та графічному (рис. 2) вигляді.

1. Режим зрошення, водопотреба та урожайність багаторічних трав щодо різних технологій зрошення при підпертому режимі РГВ на системі та різних погодно-кліматичних умов

Роки розрахункової забезпеченості, p, %	Опади, мм	Сума температур, °С	Сума дефіцитів вологості, мм	Затрати зрошувальної води (водопотреба) у декадному перерізі, м ³ /га												Сумарні затрати зрошувальної води (водопотреба), м ³ /га	Урожайність, т/га	
				10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21			
Зрошення дощуванням																		
10%	360	3542	1214														0	49,0
30%	265	3602	1307														0	47,4
50%	260	3622	1433						600			600					1200	52,0
70%	185	3735	1582					600		600	600		600	600			3000	52,8
90%	167	3867	1814				600	600	1200	600	600	1200	600				5400	61,1
Удосконалений поверхневий полив затопленням																		
10%	360	3542	1214														0	49,0
30%	265	3602	1307				200		200		200		200				800	54,9
50%	260	3622	1433			200		200	200	200	200	200		400			1600	61,2
70%	185	3735	1582		200		400	200	400	400	400	400	400	400	400		3200	64,3
90%	167	3867	1814	200		400	400	600	800	1000	800	1000	800				6000	69,8

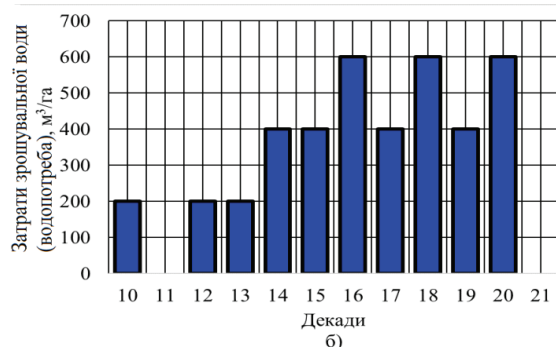
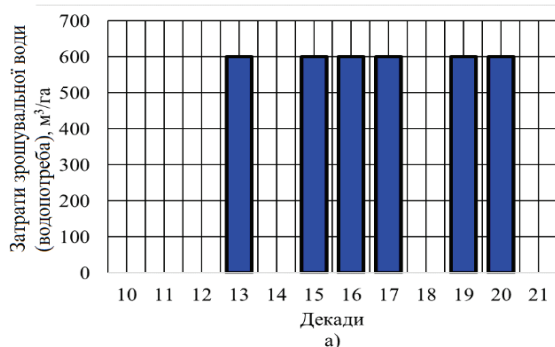


Рис. 2. Режим зрошення, водопотреба та урожайність багаторічних трав щодо різних технологій зрошення при невідпертому режимі РГВ в умовах розрахункового сухого (p=70%) року: а) зрошення дощуванням; б) удосконалений поверхневий полив затопленням

3. Оцінювання технологічної ефективності зрошення супутніх культур рисової сівозміни щодо природно-агроекологічних умов функціонування РЗС.

Така оцінка виконана і відображена за сукупністю прогнозних значень основних показників, що відображають технологічну ефективність різних технологій зрошення супутніх культур рисової сівозміни у досліджуваних умовах для розрахункового сухого ($p=70\%$) року: вегетаційних значень затрат зрошувальної води (водопотреби) та електроенергії, врожайності вирощуваних культур, а також похідних від них питомих показників (табл. 2).

Отримані та наведені результати показують (табл. 1, рис. 2, табл. 2), що вегетаційні значення затрат води (водопотреби) при

зрошенні супутніх культур рисової сівозміни цілком відповідають умовам та характеру формування сумарного випаровування на зрошуваних землях РЗС щодо видів вирощуваних культур, схем технологій та режимів водорегулювання при зрошенні, умов теплої вологозабезпеченості періодів вегетації. Вони варіюють від 1200 м³/га для озимих зернових до 6000 м³/га для багаторічних трав і можуть покривати до 70–80% величини сумарного випаровування в посушливі періоди вегетації. До того ж затрати води на зрошення в умовах підпертого режиму РГВ на 20–30% менші ніж при непідпертому режимі. І хоча наведені дані щодо технологічної ефективності різних схем технологій та режимів зрошення свідчать про перспективність застосування удосконаленої техно-

2. Порівняльна характеристика основних показників технологічної ефективності зрошення супутніх культур рисової сівозміни щодо різних схем технологій та режимів водорегулювання на системі в умовах розрахункового сухого ($p=70\%$) року

Схеми технологій та режимів водорегулювання	Супутні культури	Показники технологічної ефективності				
		Зрошувальна норма, м ³ /га	Енергозбезпеченість, тис. кВт·год/га	Урожайність, т/га	Питома затрата зрошувальної води, м ³ /т	Питома енергозатратність, кВт·год/т
Зрошення дощуванням при не підпертому режимі РГВ	багаторічні трави	3600	0,18	53,35	67,48	3,37
	озимі зернові	1200	0,06	4,95	242,42	12,12
	овочі	3600	0,18	56,64	63,56	3,18
	кукурудза	2000	0,10	5,81	344,23	17,21
	бобові	3000	0,10	3,17	946,37	31,55
Середньозважене значення:		2800	0,14	–	217,64	9,30
Зрошення дощуванням при підпертому режимі РГВ	багаторічні трави	3000	0,15	52,87	56,74	2,84
	озимі зернові	1200	0,06	5,42	221,40	11,07
	овочі	3000	0,15	50,33	59,61	2,98
	кукурудза	2000	0,10	6,89	290,28	14,51
	бобові	2800	0,08	3,40	823,53	23,54
Середньозважене значення:		2400	0,12	–	189,99	7,73
Удосконалений поверхневий полив затопленням при не підпертому режимі РГВ	багаторічні трави	4000	0,20	67,84	58,96	2,95
	озимі зернові	1600	0,08	6,50	246,15	12,31
	овочі	3800	0,19	62,81	60,50	3,02
	кукурудза	2200	0,11	6,86	320,70	16,03
	бобові	3200	0,11	3,22	990,71	34,06
Середньозважене значення:		3140	0,16	–	215,90	9,25
Удосконалений поверхневий полив затопленням при підпертому режимі РГВ	багаторічні трави	3200	0,16	64,27	49,79	2,49
	озимі зернові	1400	0,07	5,93	236,09	11,80
	овочі	3600	0,18	69,13	52,08	2,60
	кукурудза	2200	0,11	7,43	296,10	14,80
	бобові	3000	0,10	3,56	842,70	28,09
Середньозважене значення:		2660	0,13	–	191,20	8,16

логії поверхневого поливу супутніх культур остаточне рішення щодо їх застосування має прийматись з урахуванням умов реалізації та конструкції кожної конкретної рисової системи, а також обов'язково економічної й екологічної ефективності її функціонування відповідно до сучасних вимог.

Для співставлення та порівняння результатів прогнозного оцінювання водопотреби й технологічної ефективності зрошення супутніх культур рисової сівозміни в умовах виробництва в табл. 3 наведені їхні усереднені значення при зрошенні традиційним поливом затопленням як провідної культури рису, так і супутніх культур, отримані за результатами функціонування Придунайських РЗС за останні п'ять років упродовж 2015–2019 рр.

Наведені результати показують, що при досягненні врожайності провідної культури затоплюваного рису 5,8 т/га на площі 4,90 тис. га проти 4,8 т/га на площі 1,94 тис. га для супутніх культур, серед яких за площею вирощування переважають (до 70%) зернові культури, показники водопотреби рису, як й інші показники технологічної ефективності його вирощування, значно перевищують аналогічні значення для супутніх культур. Це має місце і загалом по системі за умовами функціонування Придунайських РЗС на сучасному етапі. Одночасно слід також відзначити високий рівень співставності прогнозних значень розглянутої сукупності показників водопотреби та технологічної ефективності зрошення, отриманих для

супутніх зернових культур з їхніми виробничими характеристиками.

Перспективи подальших досліджень полягають у необхідності дослідження даного питання за довготерміновим прогнозом можливих змін погодно-кліматичних умов зони рисосіяння України.

Висновки. Наявний рівень змін погодно-кліматичних умов, вплив яких вже є відчутним в аграрному виробництві, насамперед у зоні рисосіяння, вимагає адаптації до збільшення величин водопотреби при вирощуванні культур рисової сівозміни на зрошуваних землях РЗС в умовах зростання дефіциту водних ресурсів. За таких умов, сучасний розвиток зрошувальних меліорацій повинен ґрунтуватися на впровадженні нових та прогресивних технологій водорегулювання з урахуванням природно-меліоративних умов конкретного об'єкта, які мають забезпечувати економію водних та енергетичних ресурсів, а також покращення або підтримання сприятливого еколого-меліоративного стану зрошуваних земель РЗС. Розглянутий підхід дає змогу оцінити та спрогнозувати величини водопотреби різних видів супутніх культур рисової сівозміни у множинних змінних природно-агромеліоративних умовах функціонування РЗС. Результати виконаного дослідження можуть бути ефективно використані при обґрунтуванні режимно-технологічних рішень у проектах реконструкції і модернізації діючих РЗС та розробці адаптивних заходів до прогнозованих змін клімату в регіоні.

3. Усереднені значення показників технологічної ефективності функціонування Придунайських РЗС упродовж 2015–2019 рр. (за даними Кілійського міжрайонного управління водного господарства)

№ з/п	Показники	Рис	Супутні культури	По системі
1	Посівна площа, тис. га	4,90	2,88	7,78
2	в т.ч. зернові та зернобобові (озимі, ярі, кукурудза), тис. га	–	1,94	–
3	Валовий врожай, тис. т	28,4	9,3	–
4	Середня урожайність, т/га	5,8	4,8	–
5	Водозабір, млн м ³	98,13	2,87	100,10
6	Затрати електроенергії, млн кВт•год	4,54	0,14	4,68
7	Середня зрошувальна норма, м ³ /га	20027	1479	12866
8	Питомі затрати зрошувальної води на одиницю продукції, м ³ /т	3455,28	308,60	–
9	Питомі затрати електроенергії: – на одиницю продукції, кВт•год/т – на одиницю площі, кВт•год/га	159,86 926,53	15,05 72,16	– 601,54

Бібліографія

1. Зневоднення. В Україні можуть обмежити використання води. Кому це загрожує? URL: https://m.dt.ua/ECOLOGY/znevodnennya-342312_.html (дата звернення: 28.03.2020).
2. Рис Придунав'я: колективна монографія / за ред. В.А. Сташука, А.М. Рокочинського, П.І. Мендуса, В.О. Турченюка. Херсон: Гринь Д.С., 2016. 620 с.
3. Підвищення ефективності функціонування Придунайських рисових зрошувальних систем: науково-методичні рекомендації / Сташук В.А., Рокочинський А.М., Турченко В.О. та ін. Одеса-Рівне: НУВГП, 2018. С. 107.
4. 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. Київ-Херсон-Рівне: НУВГП, 2020. 203 с. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/16836/> (дата звернення: 03. 04. 2020).
5. Rokochynskiy, A., Turcheniuk, V., Prykhodko, N., Volk, P., Gerasimov, Ie. & Cengiz Koç. (2020). Evaluation of Climate Change in the Rice-Growing Zone of Ukraine and Ways of Adaptation to the Predicted Changes. Agric Res. URL: <https://doi.org/10.1007/s40003-020-00473-4>
6. 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.
7. Тимчасові рекомендації з прогнозої оцінки водного режиму та технологій водорегулювання осушуваних земель у проектах будівництва й реконструкції меліоративних систем / А.М. Рокочинський, В.А. Сташук, В.Д. Дупляк, Н.А. Фроленкова та ін. Рівне, 2011. 54 с.
8. Посібник до ДБН В.2.4.-1-99 «Меліоративні системи та споруди» (Розділ 3. Осушувальні системи). Обґрунтування ефективної проектної врожайності на осушуваних землях при будівництві й реконструкції меліоративних систем / Рокочинський А.М. та ін. Рівне: НУВГП, 2006. 50 с.
9. Рокочинський А.М. Наукові та практичні аспекти оптимізації водорегулювання осушуваних земель на еколого-економічних засадах: монографія / За редакцією академіка УАН Ромащенко М.І. Рівне: НУВГП, 2010. 351 с.
10. Спосіб поливу супутніх культур рисової сівозміни: пат. 123380 Україна, № u 201709006; заявл. 11.09.2017; опублік. 26.02.2018, Бюл. № 4.

References

1. Znevodnennia, V. Ukraini mozhut obmezhyty vykorystannia vody. Komu tse zahrozhuie? [Dehydration. Water use may be restricted in Ukraine. Who is it at risk?]. Retrieved from https://m.dt.ua/ECOLOGY/znevodnennya-342312_.html. [in Ukrainian].
2. Stashuk, V., Rokochynskiy A., Mendus, P., & Turcheniuk, V. et al. (2016). Rys Prydunav'ia [Rice Danube]. Kherson, 620. [in Ukrainian].
3. Stashuk, V., Rokochynskiy A., & Turcheniuk, V. et al. (2018). Pidvyshchennia efektyvnosti funktsionuvannia Prydunaiskykh rysovykh zroshuvalnykh system [Improving the efficiency of functioning of the Danube rice irrigation systems]. Odessa-Rivne: NUWEE. [in Ukrainian].
4. Stashuk, V., Vozhehova, R., Dudchenko, V., Rokochynskiy A., & Morozov, V., et al. Pidvyshchennia efektyvnosti funktsionuvannia rysovykh zroshuvalnykh system Ukrainy [Improving the efficiency of functioning of rice irrigation systems in Ukraine]. Kyiv-Kherson-Rivne: NUWEE. Retrieved from: <http://ep3.nuwm.edu.ua/16836/>. [in Ukrainian].
5. Rokochynskiy, A., Turcheniuk, V., Prykhodko, N., Volk, P., Gerasimov, Ie., & Cengiz Koç. (2020). Evaluation of Climate Change in the Rice-Growing Zone of Ukraine and Ways of Adaptation to the Predicted Changes. Agric Res. URL: <https://doi.org/10.1007/s40003-020-00473-4>
6. Rokochynskiy, A., Halik, O., Frolenkova, N., Voloshchuk, V., Shalai, S., Zubyk, Ya., Bezhuk, V., Zubyk, L., Pokladnov, Ye., Savchuk, T., Koptiuk, R., Nesteruk, L., Volk, P., & Kotiai, L. (2008). Posibnyk do DBN V.2.4-1-99 «Meliorativni systemy ta sporudy» (Rozdil 3. Osushivalni systemy). Meteorologichne zabezpechennia inzhenerno-meliorativnykh rozrakhunkiv u proektakh budivnytstva y rekonstruktsii osushivalnykh system [Guide to DBN V.2.4-1-99 «Reclamation systems and structures» (Chapter 3. Drainage systems) Meteorological support of engineering and reclamation calculations in drainage systems construction and reconstruction projects]. Kiev: (Vidkryte aktsionerne tovarystvo) VAT «Ukrvodproekt». [in Ukrainian].
7. Rokochynskiy, A.M., Stashuk, V.A., Dupliak, V.D., & Frolenkova, N.A. (et al.) (2011). Tymchasovi rekomendatsii z prohnoznoi otsinky vodnoho rezhymu ta tekhnologii vodorehulivannia

osushuvanykh zemel u proektakh budivnytstva y rekonstruktsii melioratyvnykh system [Temporary recommendations for the predictive assessment of the water regime and water regulatory technologies for drained lands in the projects of construction and reconstruction of reclamation systems]. Rivne: NUVGP. [in Ukrainian].

8. Rokochynskiy, A.M. et al. (2006). Posibnyk do DBN V.2.4-1-99 «Melioratyvni systemy ta sporudy» (Rozdil 3. Osushivalni systemy). Obgruntuvannya efektyvnoi proektnoi vrozhaivosti na osushuvanykh zemliakh pry budivnytstvi y rekonstruktsii melioratyvnykh system [Guide to DBN V.2.4-1-99 «Reclamation systems and structures» (Chapter 3. Drainage systems) Substantiation of the effective project yield on the drained lands during construction and reconstruction of reclamation systems]. Rivne: NUVGP. [in Ukrainian].

9. Rokochinskiy, A. 2010. Naukovi ta praktichni aspekty optimizacii vodoregulyuvannya osushuvanykh zemel' na ekologo-ekonomichnikh zasadakh: Monografiya [The scientific and practical aspects optimization of water regulation drained lands on environmental and economic grounds. Monograph]. Ed. M.I. Romashchenko. Rivne: NUVGP. ISBN 978-966-327-141-5. [in Ukrainian].

10. Rokochynskiy, A.M., Mendus, P.I., Synhaievych, D.M., Turcheniuk, V.O., Prykhodko, N.V., & Matus, S.V. (2018). Sposib polyvu suputnykh kultur rysovoi sivozminy [The method of watering of the accompanying crops of rice crop rotation]. Patent of Ukraine. № u 201709006. [in Ukrainian].

**А.Н. Рокочинский, В.А. Турченко, П.П. Волк,
Р.Н. Коптюк, Н.В. Приходько, Д.М. Рычко**

Водопотребность сопутствующих культур на рисовых оросительных системах

Аннотация. Последние исследования погоднo-климатических условий зоны рисосеяния Украины свидетельствуют об устойчивой тенденции к усилению засушливости климата в регионе. Дальнейшее повышение температуры воздуха и снижение естественной влагообеспеченности этих территорий неизбежно приведет к увеличению суммарного испарения и соответственно величины водопотребности при орошении культур рисового севооборота. В таких условиях в регионе прогнозируется существенное обострение существующей проблемы дефицита водных ресурсов, от наличия которых напрямую зависит эффективность выращивания сельскохозяйственных культур на орошаемых землях рисовых систем. В связи с этим, существует объективная необходимость адаптации аграрного производства на орошаемых землях рисовых систем к имеющимся и прогнозируемым изменениям климата, что, прежде всего, требует оценки изменения водопотребности при орошении как ведущей культуры затопляемого риса, так и сопутствующих культур рисового севооборота. В соответствии с этим, в статье представлены результаты оценки величины водопотребности сопутствующих культур рисового севооборота в изменчивых природно-агрoмелиоративных условиях функционирования рисовых систем. Исследования выполнены на примере Придунайских рисовых оросительных систем в Одесской области, конструктивные и природно-мелиоративные условия которых являются типичными для большинства рисовых систем Украины. В рамках выполнения исследования реализован широкомасштабный машинный эксперимент на ЭВМ, основанный на комплексе соответствующих прогнозно-имитационных моделей, которые путем долгосрочного прогноза позволяют оценивать погоднo-климатические условия, водный режим, технологии водорегулирования и продуктивность мелиорированных земель. В ходе выполнения эксперимента были исследованы условия формирования суммарного испарения, по которым определены величины водопотребности различных видов сопутствующих культур рисового севооборота для принятых схем технологий и режимов водорегулирования на орошаемых землях рисовых систем в расчетные относительно условий тепло- и влагообеспеченности периоды вегетации. Выполнена оценка технологической эффективности орошения сопутствующих культур рисового севооборота относительно изменчивых природно-агрo-мелиоративных условий функционирования рисовых систем и проведено сравнение полученных результатов с реальными производственными данными. Рассмотренный подход позволяет оценить и спрогнозировать водопотребность сопутствующих культур рисового севооборота во множественных изменчивых природно-агрoмелиоративных условиях функционирования рисовых систем, а полученные результаты могут быть эффективно использованы при обосновании режимно-технологических решений в проектах реконструкции и модернизации действующих рисовых систем и разработке адаптивных мероприятий к прогнозируемым изменениям климата в регионе.

Ключевые слова: водные ресурсы, рисовые оросительные системы, сопутствующие культуры рисового севооборота, суммарное испарение, водопотребность, технологии водорегулирования.

A.M. Rokochinskiy, V.O. Turcheniuk, P.P. Volk,
R.M. Koptiuk, N.V. Prykhodko, D.M. Rychko

Water needs of interplanted crops on rice irrigation systems

Abstract. Recent studies of the weather and climatic conditions of the rice-growing zone of Ukraine indicate a steady tendency to increase the aridity of the climate in the region. Further increase of the air temperature and decrease of natural water availability of these territories will lead to the increase of total evaporation and water needs for irrigation of the crops in rice crop rotation. Under such conditions a significant exacerbation of the existing problem of water deficit is expected in the region. The availability of water resources directly affects the efficiency of agricultural production on the irrigated lands of rice systems. In this regard, there is an objective need to adapt agricultural production on the irrigated lands of rice systems to the existed and predicted climate change, which, first of all, requires the assessment of water needs for irrigation both the leading crop of flooded rice and the interplanted crops of rice crop rotation. Accordingly, the article presents the results of the estimation of water needs for irrigation of the interplanted crops of rice crop rotation in the variable natural-agro-reclamation conditions of rice system functioning. Research was performed on the example of the Danube rice irrigation systems in the Odessa region, design, natural and reclamation conditions of which are typical for the most of rice systems in Ukraine. As a part of the research, it was implemented a large-scale computer experiment, based on a complex of predictive-simulation models, which basing on a long-term forecast, allow to estimate weather and climatic conditions, water regime, water regulation technologies and productivity of reclaimed lands. During the experiment the conditions of total evaporation formation were investigated, water needs of different types of interplanted crops of rice crop rotation were determined for the scheme of technology and regime of water regulation on the irrigated lands of rice systems in the condition of the typical groups of vegetation periods of target years in view of general heat and moisture provision. It was evaluated the technological efficiency of irrigation of the interplanted crops of rice crop rotation in the variable natural-agro-reclamation conditions of rice system functioning and obtained results with the actual production data were compared. This approach makes it possible to evaluate and predict water needs for irrigation of interplanted crops of rice crop rotation in the variable natural-agro-reclamation conditions of rice system functioning. The obtained results can be effectively used for justification of regime and technological decisions in the projects of reconstruction and modernization of existing rice systems and developing adaptive measures to the predicted climate change in the region.

Key words: water resources, rice irrigation systems, interplanted crops of rice crop rotation, total evaporation, water needs, water regulation technologies.

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202001-216>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/216>

УДК 630.181:581.132:58.087:57.042

ЗНИЖЕННЯ ВУГЛЕЦЕПОГЛИНАЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ ДЕРЕВОСТАНІВ ЖИТОМИРСЬКОГО ПОЛІССЯ ЧЕРЕЗ ЗАГИБЕЛЬ СОСНОВИХ НАСАДЖЕНЬ

В.В. Мороз¹, канд. с.-г.н. наук, Ю.А. Никитюк², канд. с.-г.н. наук

¹ Поліський національний університет, Житомир, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-1457-4641>; e-mail: vera_moroz@ukr.net

² Поліський національний університет, Житомир, Україна;
<https://orcid.org/0000-0001-9142-7699>, e-mail: andreyniks2@gmail.com

Анотація. Згідно з підписаною Паризькою кліматичною угодою перед Україною стоїть завдання не допустити зростання глобальної середньої температури повітря більше 2°C, аби уникнути збільшення посух, зникнення окремих видів рослин і тварин, всихань і захворювань деревних порід та ін. Для збереження та збільшення кількості природних поглиначів вуглецю науковці приділяють особливу увагу системі покращення управління лісовими, ґрунтовими та іншими природними ресурсами. Серед тридцяти головних лісотворних порід в Україні сосна звичайна (*Pinus silvestris* L.) є переважаючою деревною породою, зокрема у Житомирському Поліссі, її кількість становить 388,4 тис. га, що складає 59% від усіх деревних насаджень. Для встановлення вуглецепоглиняльної здатності соснових насаджень Житомирського Полісся в державних підприємствах: Баранівське лісомисливське господарство (ЛМГ); Білокоровицьке лісове господарство (ЛГ); Городницьке ЛГ; Ємільчинське ЛГ; Житомирське ЛГ; Коростенське ЛМГ; Малинське ЛГ; Народицьке спеціалізоване лісове господарство (СЛГ); Новоград-Волинське дослідне лісомисливське господарство (ДЛМГ); Овруцький СЛГ; Олевське ЛГ; Словечанський лісгосп АПК нами були закладені тимчасові пробні площі (ТПП). Згідно з методиками П.І. Лакиди, А.А. Сторочинського, О.І. Подубояринова, А.С. Аткина, А.І. Кобзаря, нами встановлено фітомасу соснових насаджень в абсолютно сухому стані та отримано конверсійні коефіцієнти, які дали змогу оцінити різницю між викидами CO₂ та поглинанням вуглецю. Проведений аналіз встановив, що соснові насадження протягом року у своїй фітомасі акумулюють 23,5 млн т вуглецю, на 1 м² вкритих лісовою рослинністю ділянок щільність вуглецю становить 25,7 кг. Встановлено, що найбільшу вуглецепоглиняльну здатність у Житомирському Поліссі мають середньовікові соснові насадження – 12,1 млн т. З'ясовано, що внаслідок втрати соснових насаджень Житомирського Полісся за останні роки вуглецепоглиняльна здатність лісів знизилась від 10 до 47%.

Ключові слова: соснові насадження, фітомаса, групи віку, конверсійні коефіцієнти, поглинання вуглецю.

Актуальність. За останні десятиріччя кліматичні зміни призвели до низки негативних чинників, які впливають на лісові насадження, а саме пожежі, всихання, розповсюдження фітохвороб та ентомошкідників. Такі чинники мають негативний вплив на деревні лісові ресурси, які могли б слугувати додатковим джерелом прибутку на світовому ринку в розрізі Паризької угоди [5, 25].

Враховуючи зазначені фактори на Міжнародних кліматичних переговорах ООН (COP21) у 2015 р. була підписана Паризька угода.

Із 197 країн світу, які прийняли участь у підписанні угоди, 176 її ратифікували. Україна була однією з перших країн світу, яка на державному рівні затвердила угоду [2, 18].

Головна мета Паризької кліматичної угоди – не допустити зростання глобальної середньої температури повітря більше ніж 2°C (по можливості – не більше 1,5°C) відносно показників до початку промислової революції, коли людство почало спалювати величезну кількість викопного палива йдеться про історичний період до 1750-х років, коли в Англії розпочалась промислова революція, що пізніше поширилася країнами Європи [19, 20].

Утримання глобального потепління на рівні 1,5–2 °C потребує швидкого зменшення антропогенних викидів парникових газів у навколишнє середовище та повного їх усунення до другої половини XXI століття [27].

Для вирішення локальних і глобальних екологічних проблем Паризька угода передбачає активне використання торгівлі квотами

на викиди забруднюючих речовин. «Квота» – це дозвіл, сертифікат на викиди, однієї тони еквівалента CO₂ за певний період часу, який може бути передано у відповідності з правилами схеми. Торгівля квотами емісії парникових газів (ПГ) (англ. Emissions trading) – ринковий інструмент зниження викидів парникових газів в атмосферу [2, 20]. Враховуючи вищезазначене, Міністерство енергетики та захисту довкілля України розглядає шляхи впровадження системи торгівлі квотами на викиди парникових газів [19].

На конференції ООН зі зміни клімату в Парижі (2015) розглядали роль лісів у боротьбі зі зміною клімату. Важливість лісів ґрунтується на рамковій програмі ООН, схваленій у 2013 р. – REDD + (скорочення викидів у результаті знеліснення і деградації лісів) [25].

Отже, збереженню існуючих та збільшенню кількості природних поглиначів вуглецю за допомогою покращеного управління лісами та іншими рослинними насадженнями і ґрунтами науковці приділяють особливу увагу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Через моделювання продуктивності лісових насаджень і оцінювання їхньої вуглецепоглиальної здатності визначають хід процесів у лісових екосистемах з метою екологічного моніторингу сталого ведення лісового господарства.

Вітчизняними вченими, зокрема П.І. Лакидою (2006, 2009, 2011), С.І. Миклушем (2011), М.А. Голубом (2003), В.І. Білоусом (2009), В.П. Пастернаком (2011), Р.Д. Василюшиним (2014) та ін. розроблено шляхи та методи оцінки біологічної продуктивності лісових насаджень.

Наші наукові дослідження доповнили: Гриник, Задорожний, 2018; Ловинська, 2018; Ситник, 2019 [10, 16, 17, 26]. Цікаві розробки іноземних науковців в галузі оцінки біопродуктивності лісових насаджень (Швиденко та ін. 1987; Аткин, Аткина, 1999; Щепашенко та ін., 2008; Демаков та ін., 2015; Алексеев та ін.) [1, 3, 8, 23, 24] та Методами математичного моделювання з використанням методик (Герасимович, Матвеева, 1978; Кобзарь. 2006) [9, 14] удосконалено ці розробки.

Радянські та іноземні науковці, зокрема А.Г. Лашенко (2004), Г.С. Домашовець (2008), О.В. Морозюк (2009), Д.Г. Щепашенко (2009), Р.В. Сендзюк (2010), Б.П. Чураков (2012) та ін., у своїх наукових працях здійснювали пошук залежностей конфесійних коефіцієнтів, але запропоновані рівняння мали недо-

статньо високий коефіцієнт детермінації та не знайшли свого застосування на практиці. Тому, нами застосовано дещо інший методичний підхід, а отримані рівняння мають достатньо високий коефіцієнт детермінації і їх можна використовувати у подальших наукових дослідженнях.

Метою досліджень було розробити математичні залежності конверсійних коефіцієнтів для встановлення зниження вуглецепоглиальної здатності соснових деревостанів Житомирського Полісся через зменшення їх площ унаслідок пошкоджень фітохворобами, ентомошкідниками, пожежами та ін. Встановити щільність фітомаси та вуглецю на одиницю площі насадження [23].

Матеріали і методи досліджень. Збір дослідного матеріалу проводили в державних підприємствах 2016–2019 рр.: Баранівське ЛМГ (у лісництвах – Баранівське, Землянське, Явненське, Адамівське, Биківське, Довбинське, Кам'янобрідське, Довишське); Білорівницьке ЛГ (у лісництвах – Білорівницьке, Жубровицьке, Замисловицьке, Озорянське, Радовельське, Поясківське, Зубковицьке, Тепеницьке, Броницьке, Замисловицьке); Городницьке ЛГ (у лісництвах – Городницьке, Липинське, Броницьке, Надслучанське, Кленівське, Липинське, Червоновольське); Ємільчинське ЛГ (у лісництвах – Барашівське, Гартівське, Глумчанське, Ємільчинське, Жужельське, Королівське, Кочичинське); Житомирське ЛГ (у лісництвах – Новозаводське, Тригірське, Богунське, Березівське, Корабельне, Левківське, Пилипівське, Станишівське); Коростенське ЛМГ (у лісництвах – Бехівське, Омелянівське, Турчинецьке, Ушомирське, Шершнівське, Дубовецьке, Коростишівське, Кропивнянське, Смолівське, Івницьке); Малинське ЛГ (у лісництвах – Чоповицьке, Малинське, Любовицьке, Іршанське, Слобідське, Чоповицьке, Українківське); Народицьке СЛГ (у лісництвах – Кліщівське, Народицьке (ландшафтний заказник місцевого значення «Древлянський»), Базарське, Заліське, Закусилівське, Давидківське, Радчанське); Новоград-Волинський ДЛМГ (у лісництвах – Малоцвілянське, Нов-Волинське, Курчицьке, Пилиповецьке, Пищівське (ландшафтний заказник місцевого значення «Пікельський»), Ярунське); Овруцький СЛГ (у лісництвах – Борутинське, Журбенське, Виступовицьке, Ситовецьке, Коптівщинське, Овруцьке, Прилуцьке, Ігнатпільське, Піщаницьке, Гладковицьке, Бережестьське); Олевське ЛГ (у лісни-

цтвах – Руднянське, Покровське, Кам'янське, Олевське, Юрівське, Журжевицьке, Сновицьке, Хочинське, Комсомольське); Словечанський лісгосп АПК (у лісництвах – Бігунське, Словечанське, Слобідське, Перебродське, Овруцьке, Рокитнянське, Гладковицьке).

Наші дослідження були зосереджені на відборі дослідного матеріалу в різновікових соснових насадженнях I–IV категорій лісів Житомирського Полісся.

Тимчасові пробні площі закладали у соснових насадженнях згідно з СОУ 02.02–37–476:2006 «Пробні площі лісовпорядні. Метод закладання». Загальна кількість пробних площ – 104.

Фітомасу деревини та кори в абсолютно сухому стані визначали через їх об'єм, згідно з довідковими таблицями (Швиденко, Кашпор, Строчинський та ін., 1987, 2013) [11, 24], та множили на середню базисну щільність (Полубояринов, 1976; Боровіков, Угольов 1989; Лакида 2002) [4, 15]:

$$m = V \times \rho_{\text{баз}}, \quad (1)$$

де m – фітомаса компонента, кг;
 V – об'єм компонента, м³;
 $\rho_{\text{баз}}$ – базисна щільність, кг/м³.

Для встановлення фітомаси кори сосни звичайної використано рівняння, яке запропоували [1, 3]:

$$m_{\text{кори}} = 8,379 + 0,087 \times m_{\text{стовбура}}, \quad (2)$$

де $m_{\text{кори}}$ – фітомаса кори, кг;
 $m_{\text{стовбура}}$ – фітомаса стовбура, кг.

Загальну фітомасу дерева визначали сумою окремих фітофракцій дерева (кора, деревина, крона) [13].

Запаси вуглецю в деревостанах встановлювали на підставі даних запасу стовбурів сосни звичайної за допомогою конверсійно-об'ємних коефіцієнтів, що становить собою відношення фітомаси окремих фракцій до запасу деревини і залежних від віку деревостану [1, 3, 15, 16, 17].

Статистичне і математичне моделювання [9, 14] здійснювали за допомогою пакету аналізу даних *Microsoft Excel*.

Результати дослідження та їх обговорення. За формулами 1 і 2 встановлено фітомасу деревини, кори та кори сосни звичайної та побудовано кореляційну матрицю між показниками надземної фітомаси в абсолютно сухому стані та таксаційними показниками дерева (діаметр і висота) [10]. Результати аналізу представлено у таблиці 1.

Отримана кореляційна матриця вказує на тісний зв'язок (0,776–0,999) між всіма зазначеними у таблиці показниками, окрім повноти та бонітету.

Проведений статистичний аналіз вказав на однорідну сукупність за середньою висотою та неоднорідну за іншими показниками. Розподіл дуже асиметричний правосторонній за віком, повнотою, бонітетом, об'ємом стовбура та фітомасою, розподіл помірний за середнім діаметром і лівосторонній за середньою висотою. Коефіцієнт ексцесу вказав на гостровершинний розподіл за повнотою та плосковершинний за рештою показників (табл. 2).

1. Кореляційна матриця основних біометричних показників соснових деревостанів та надземної фітомаси в абсолютно сухому стані

Показники	Вік, років	Повнота	Бонітет	Середня висота, м	Середній діаметр, см	Об'єм стовбура в корі, м ³	Фітомаса деревини, кг	Фітомаса кори, кг	Фітомаса кори, кг	Фітомаса кори, кг
Вік, років	1,00	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Повнота	-0,007	1,00	–	–	–	–	–	–	–	–
Бонітет	0,076	-0,071	1,00	–	–	–	–	–	–	–
Середня висота, м	0,776	0,033	-0,361	1,00	–	–	–	–	–	–
Середній діаметр, см	0,863	-0,011	-0,133	0,894	1,00	–	–	–	–	–
Об'єм стовбура в корі, м ³	0,850	0,010	-0,061	0,815	0,955	1,00	–	–	–	–
Фітомаса деревини, кг	0,850	0,010	-0,060	0,814	0,955	1,00	1,00	–	–	–
Фітомаса кори, кг	0,851	0,009	-0,070	0,823	0,955	0,999	0,999	1,00	–	–
Фітомаса кори, кг	0,850	0,010	-0,061	0,815	0,955	1,00	1,00	0,999	1,00	–

2. Основні статистичні характеристики біометричних показників та компонентів надземної фітомаси дерев сосни звичайної в абсолютно сухому стані

Показники	Вік, років	Повнота	Бонітет	Середня висота, м	Середній діаметр, см	Об'єм стовбура у корі, м ³	Фітомаса деревини, кг	Фітомаса кори, кг	Фітомаса крони, кг
X_{cp} (середнє арифметичне значення)	68,9	0,8	1,4	21,9	27,4	0,7	278,5	23,3	34,6
C_v (стандартна помилка)	2,9	0,1	0,1	0,5	0,9	0,1	22,3	1,8	2,1
σ (стандартне відхилення)	29,4	0,5	0,7	5,4	9,5	0,6	227,2	18,0	21,3
D (дисперсія вибірки)	862,4	0,3	0,4	28,9	90,0	0,4	51603,1	325,7	455,0
E (експес)	0,2	94,8	1,9	0,4	0,04	1,9	1,9	1,9	1,9
A (коефіцієнт асиметрії)	0,7	9,5	1,6	-0,5	0,4	1,4	1,4	1,4	1,4
V (коефіцієнт варіації), %	42,6	69,1	46,9	24,5	34,6	81,1	81,6	77,3	61,6
min (мінімум)	8,0	0,4	1,0	3,0	2,0	0,01	4,9	0,4	8,9
max (максимум)	150,0	6,0	4,0	32,0	52,0	2,9	1095,1	88,6	111,4

Для пошуку математичних моделей взаємозв'язку конверсійних коефіцієнтів соснових насаджень застосовували функцію:

$$R_v = f(A, B, P, M), \quad (3)$$

де R_v – відповідні конверсійні коефіцієнти для кожної фітофракції дерева;
 А, Б, П, М – вік, бонітет, повнота, запас насадження у корі [8, 26].

Як залежна змінна нами використовувалось відношення маси фракції фітомаси до стовбурового запасу деревостану в корі:

$$R_v = \frac{M_{fr}}{M}, \quad (4)$$

де R_v – конверсійний коефіцієнт;
 M_{fr} – маса фракції фітомаси в абсолютно сухому стані, т/га;
 M – запас деревостану в корі, м³/га.

З метою отримання емпіричних рівнянь R_v були використані показники тимчасових пробних площ, на яких встановлювалась фітомаса за рівняннями 1, 2.

Щоб отримати емпіричні рівняння R_v були використані показники тимчасових пробних площ, на яких встановлювали фітомасу за рівняннями 1, 2.

За побудови графіків отримані рівняння залежності конверсійних коефіцієнтів (деревина, кора, крона) та вік деревостану (рис. 1–3).

Отримана математична залежність конверсійного коефіцієнта деревини та віку дерев

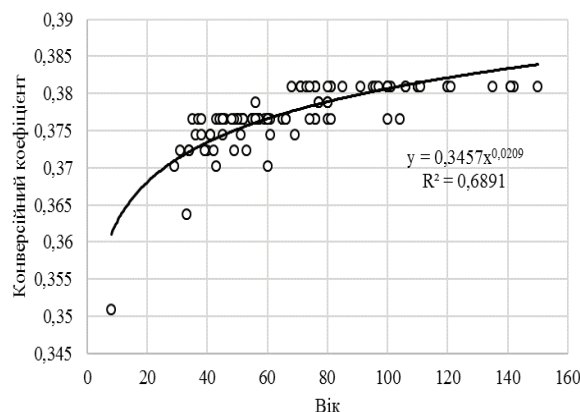


Рис. 1. Залежність конверсійного коефіцієнта деревини від віку дерев

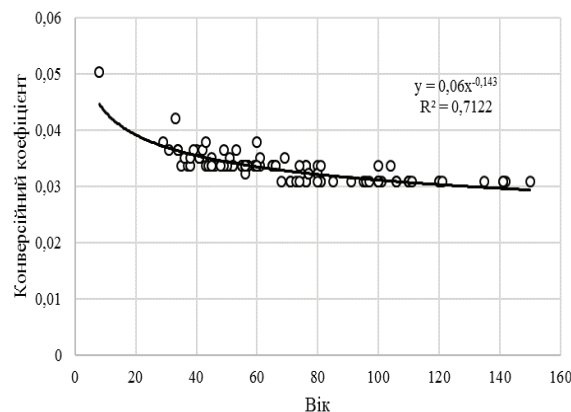


Рис. 2. Залежність конверсійного коефіцієнта кори від віку дерев

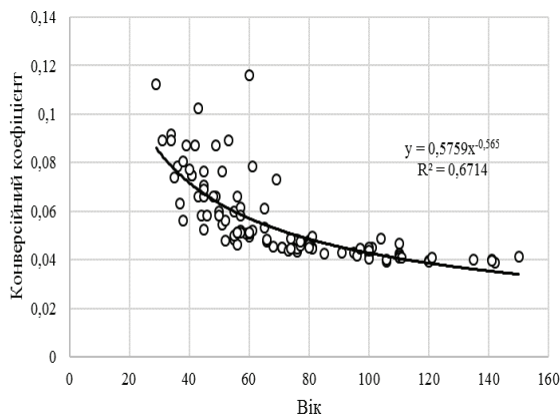


Рис. 3. Залежність конверсійного коефіцієнта крони від віку дерев

має достатньо високий коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,689$, що дозволяє подальше використання.

Аналізуючи отримане рівняння залежності конверсійного коефіцієнта кори та віку дерев (рис. 2), можна стверджувати про істотний вплив кожного введеного фактора на результативну ознаку. Значення коефіцієнтів детермінації цих показників пояснюють 72% мінливості досліджуваних ознак.

Отримане рівняння залежності конверсійного коефіцієнта крони та віку дерев має значення достовірності апроксимації 0,67, що характеризує модель прийнятної якості.

На основі отриманих рівнянь та даних державного лісового кадастру (Форма № 2) нами встановлені обсяги фітомаси та вуглецю за групами віку в соснових насадженнях різної категорії лісів Житомирського Полісся (табл. 3).

Як свідчать дані (табл. 3), загальна площа вкритих лісовою рослинністю соснових лісових ділянок становить 388,4 тис. га (згідно з останнім обліком за 01.01.2011 р.), із загальним запасом стовбурової деревини 102,7 млн m^3 , акумулюють у своїй фітомасі

23,5 млн т вуглецю. Щільність фітомаси на 1 m^2 вкритих лісовою рослинністю лісових ділянок становить 52,7 кг. Найбільше поглинають вуглець у Житомирському Поліссі середньовікові соснові насадження – 12,1 млн т.

Згідно з даними Державного агентства лісових ресурсів України (Форма 12-ЛП) останнім часом спостерігається зростання площ, вкритих лісовою рослинністю під сосновими ділянками внаслідок їх пошкодження біотичними, абіотичними та антропогенними чинниками (рис. 4).

Загибель соснових лісових насаджень із різних причин знижує вуглецепоглиняльну здатність лісів Житомирського Полісся, адже соснові деревостани складають більшість у регіоні дослідження – 59% [22].

За отриманими конверсійними коефіцієнтами (рис. 1–3) встановлено орієнтовний обсяг вуглецю, який би змогли поглинути втрачені соснові насадження (табл. 4).

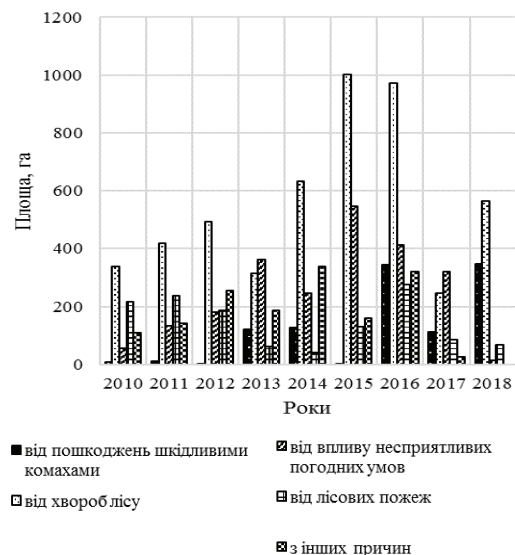


Рис. 4. Загибель соснових лісових насаджень Житомирського Полісся за період 2010–2018 рр. (згідно з даними Держлісагентства)

3. Загальна фітомаса та вуглець у соснових лісових насадженнях Житомирського Полісся за групами віку

Групи віку	Площа вкритих лісовою рослинністю лісових ділянок, тис. га	Запас стовбурової деревини, млн m^3	Фітомаса		Вуглець	
			млн т	щільність, $кг/m^2$	млн т	щільність, $кг/m^2$
I вікова група	37,8	1,26	0,75	2,0	0,37	1,0
II вікова група	43,6	5,61	2,86	6,6	1,39	3,2
Середньовікові	179,6	52,3	24,7	13,8	12,1	6,7
Пристигаючі	87,4	30,9	14,2	16,2	6,91	7,9
Стигли та перестійні	39,9	12,6	5,67	14,2	2,76	6,9
Разом	388,4	102,7	48,2	52,7	23,5	25,7

4. Орієнтовний обсяг між викидами та поглинанням вуглецю

Роки	Середній вік насаджень, роки	Запас стовбурової деревини, млн м ³	Викиди CO ₂ , млн т*	Обсяг поглинутого вуглецю, млн т	Різниця між викидами та поглинанням вуглецю, млн т
2010	58	0,18	1,6	0,17	1,4
2011	59	0,23	1,5	0,19	1,3
2012	60	0,27	1,6	0,21	1,4
2013	61	0,26	1,7	0,21	1,5
2014	62	0,34	1,5	0,24	1,3
2015	63	0,45	1,4	0,29	1,1
2016	64	0,57	0,7	0,33	0,4
2017	65	0,19	0,7	0,18	0,5
2018	66	0,24	0,8	0,20	0,6

* Показники згідно з даними Статистичних збірників. Довкілля України за 2010-2018 рр.

Згідно з отриманими показниками викиди діоксиду вуглецю за період 2010–2018 рр. становили 0,7–1,7 млн т. Щорічно втрачені лісові насадження могли депонувати у своїй фітомасі від 0,17–0,33 млн т вуглецю, зменшуючи рівень CO₂ від 10 до 47%.

Отже, збереженню і примноженню лісових насаджень слід приділяти особливу увагу, адже середня вартість однієї квоти на викиди парникових газів становить 18 доларів США тож якщо припустити можливість продажу різниці між викидами і депонуванням вуглецю, то Україна мала б значний прибуток від реалізації квот.

Висновки. Запропоновано конфесійні коефіцієнти для встановлення обсягів погли-

нання вуглецю сосновими насадженнями Житомирського Полісся.

Встановлено, що соснові лісові насадження Житомирського Полісся у своїй фітомасі за рік акумулюють 23,5 млн т вуглецю. Щільність вуглецю на 1 м² вкритих лісовою рослинністю лісових ділянок становить 25,7 кг.

З'ясовано, що найбільше поглинають вуглець у Житомирському Поліссі середньовікові соснові насадження – 12,1 млн т.

Встановлено, що загиблі лісові насадження за період 2010–2018 рр. могли би депонувати у своїй фітомасі від 0,17–0,33 млн т вуглецю, абсорбуючи від 10 до 47% антропогенних надходжень CO₂.

Бібліографія

1. Пат. № 2272402 С2 Российской федерации на способ изобретения. Способ определения надземной фитомассы лесных насаждений. Алексеев И.А., Курненко И.П., Чешуин А.Н., Бердинских С.Ю., Степанова Т.В., Вахрушев К.В., Коток О.Н.; патентообладатель Марийский государственный технический университет; заявл. 25.03.2004; опубл. 27.03.2006 № 9. 6 с.
2. Аналітичний документ. Європейська система торгівлі викидами та перспективи впровадження системи торгівлі викидами в Україні. Експертно-дорадчий центр «Правова аналітика». 2018. вересень. 26 с.
3. Аткин А.С., Аткина Л.И. Способ и динамика органической массы в лесных сообществах. Изд. УГЛТА. Екатеринбург, 1999. 108 с.
4. Боровиков А.М., Уголев Б.Н. Справочник по древесине: справочник. Москва: Лесн. пром-сть, 1989. 296 с.
5. Букша І.Ф., Бутрим О.В., Пастернак В.П. Інвентаризація парникових газів у секторі землекористування та лісового господарства: [монографія]. Харків: ХНАУ, 2008. 232 с.
6. Чуроков Б.П., Манякина Е.В. Депонирование углерода разновозрастными культурами сосны // Ульяновский медико-биологический журнал. 2012. № 1. С 125–129.
7. Данилов Д.А., Беляева Н.В., Грязьки А.В. Особенности формирования запаса и товарной структуры модальных хвойных древостоев сосны и ели к возрасту спелого насаждения // Лесн. журн. 2018. № 2. С. 40–48. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.40
8. Демаков Ю.П., Пуряев А.С., Черных В.Л., Черных Л.В. Использование аллометрических зависимостей для оценки фитомассы различных фракций деревьев и моделирования их динамики // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2015. № 2 (26). С. 19–36.

9. Герасимович А.И., Матвеева Я.И. Математическая статистика. Минск : «Вышэйшая школа», 1978. 200 с.
10. Гриник Г.Г., Задорожний А.І. Моделі динаміки надземної фітомаси дерев ялини європейської залежно від їхніх таксаційних показників у переважаючих типах лісорослинних умов Полонинського хребта Українських Карпат./Науковий вісник НЛТУ України. 2018, т. 28, № 2. С. 9–19. <https://doi.org/10.15421/40280201>.
11. Кашпор С.М., Строчинський А.А. Лісотаксаційний довідник. Київ : Вид. дім «Вінніченко», 2013. 496 с.
12. Кищенко И.Т. Формирование древесины ствола *Picea abies* (L.) Karst. в разных типах сообществ таежной зоны // Лесн. журн. 2019. № 1. С. 32–39. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.1.32
13. Клевцов Д.Н., Тюкавина О.Н., Адай Д.М. Биоэнергетический потенциал надземной фитомассы культур сосны обыкновенной таежной зоны // Лесн. журн. 2018. № 4. С. 49–55. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.49
14. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2006. 816 с.
15. Лакида П.І. Фітомаса лісів України: [монографія]. Тернопіль: Збруч, 2002. 256 с.
16. Ловинська В.М. Надземна фітомаса стовбурів *Pinus Sylvestris* L. у деревостанах північного степу України/ Науковий вісник НЛТУ України. 2018, т. 28, № 8. С. 79–82. <https://doi.org/10.15421/40280816>.
17. Ловинська В.М. Локальна щільність компонентів фітомаси стовбура сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.) Північного Степу України // Вісник аграрної науки Причорномор'я. 2018. Вип. 3. С. 73–78. DOI :10.31521/2313-092X/2018-3(99)-12
18. Паризька угода ООН. Угода. Міжнародний документ від 12.12.2015. Київ. 2014. Режим доступу: http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/995_161.
19. Партнерство заради ринкової готовності в Україні (PMR). Пропозиції щодо розвитку інструментів вуглецевого ціноутворення в Україні: звіт з моделювання. Partnership for market readiness. Серпень 2019. 69 с.
20. Почтовюк А.Б., Пряхина Е.А. Торговля квотами как один из механизмов Киотского протокола. Проблемы современной экономики. Санкт-Петербург. 2012. № 3 (43). 300–304.
21. Полубояринов О.И. Плотность древесины. Москва: Лесн. пром-сть, 1976. 160 с.
22. Публічний звіт голови Державного агентства лісових ресурсів України за 2017 рік. Київ. 2017. 34 с.
23. Щепашенко Д.Г., Швиденко А.З., Шалаев В.С. Биологическая продуктивность и бюджет углерода лиственных лесов Северо-Востока России: монография. Москва : ГОУ ВПО МГУЛ, 2008. 296 с.
24. Швиденко А.З., Строчинский А.А., Савич Ю.Н., Кашпор С.Н. Нормативно-справочные материалы для таксации лесов Украины и Молдавии. Киев : Урожай, 1987. 560 с.
25. Соловій Ігор. Оцінка міжнародного досвіду та процедур/регулювань щодо концепції плати за послуги екосистем у лісовому секторі. ENPI EAST FLEG II. September. European Union. 2016. 64 с.
26. Ситник С.А. Моделювання компонентів фітомаси стовбурів робінієвих деревостанів Північного Степу України / Науковий вісник НЛТУ України. 2019, т. 29, № 3. С. 48–51. <https://doi.org/10.15421/40290310>
27. Киотский протокол. История развития, цели и принципы. Проекты совместного осуществления в Украине: [сборник информационно-методических материалов] / под. ред. С.В. Третьякова. Донецк: ООО «УКРДРУК», 2006. 184 с.

References

1. Alekseev, I.A. (Ed.). (2006). Patent Rossiyskoy federatsii № 2272402 S2. Sposob opredeleniya nadzemnoy fitomassyi lesnyih nasazhdeniy [A method for determining the aboveground biomass of forest stands] [in Russian].
2. Analitichniy dokument. (2018). Evropeyska sistema torgsvls vikidami ta perspektivi vprovadzhennya sistemi torgivli vikidami v Ukrayini [The European emissions trading system and the prospects for implementation of the emissions trading system in Ukraine]. Ekspertno-doradchii tsentr «Pravova analitika». Kyiv [in Ukrainian].

3. Atkin, A.S., & Atkina, L.I. (1999). Sposob i dinamika organicheskoy massyi v lesnykh soobshchestvakh [The method and dynamics of organic matter in forest communities.]. Izd. UGLTA. Ekaterinburg [in Russian].
4. Borovikov, A.M., & Ugolev, B.N. (1989). Spravochnik po drevesine : spravochnik [Handbook on wood: handbook.] Moskva : Lesn. prom-st [in Russian].
5. Buksha, I.F., Butrim, O.V., & Pasternak, V.P. (2008). Inventarizatsiya parnikovih gaziv u sektori zemlekoristuvannya ta lisovogo gospodarstva : monografiya [Greenhouse gas inventory in land use and forestry: [monograph]]. Harkiv : HNAU [in Ukrainian].
6. Churokov, B.P., & Manyakina, E.V. (2012). Deponirovanie ugleroda raznovozrastnyimi kulturami sosnyi [Carbon deposition by different-age pine crops]. Ulyanovskiy mediko-biologicheskii zhurnal, 1, 125–129. [In Russian].
7. Danilov, D.A., Belyaeva, N.V., & Gryaz'kin, A.V. (2018). Osobennosti formirovaniya zapasa i tovarnoy struktury modalnykh hvoynykh drevostoev sosnyi i eli k vozrastu spelogo nasazhdeniya [Peculiarities of formation of stock and commercial structure of modal coniferous tree stands of pine and spruce to age of ripe planting]. Lesnoy zhurnal, 2, 40–48. doi: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.40 [in Russian].
8. Demakov, Yu.P., Puryaev, A.S., Chernykh, V.L., & Chernykh, L.V. (2015). Ispolzovanie allometricheskikh zavisimostey dlya otsenki fitomassyi razlichnykh fraktsiy derevev i modelirovaniya ih dinamiki [Use allometric dependencies to estimate phytomass of different tree fractions and model their dynamics]. Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta, 2 (26), 19–36. [in Russian].
9. Gerasimovich, A.I., & Matveeva, Ya.I. (1978). Matematicheskaya statistika [Mathematical statistics]. Minsk: Vyisheyskaya shkola. [In Belorussia].
10. Hrynyk, H.H., & Zadorozhnyy, A.I. (2018). Some Models of Dynamics of Above-Ground Phytomass of Spruce Trees Depending on their Assessment Indices in the Prevailing Forest Types of Polynsky Range of the Ukrainian [Models of dynamics of elevated phytomass of trees of a fir-tree European in dependences on their taxation indicators in the prevailing types of forest vegetation conditions of the Polynsky backbone of the Ukrainian Carpathians] Carpathians. Scientific Bulletin of UNFU, 28(2), 9–19. doi:10.15421/40280201. [In Ukrainian].
11. Kashpor, S.M., & Stochinskiy, A.A. (2013). Lisotaksatsiyniy dovidnik [Forest taxation directory]. Kiyiv : Vid. dim «Vinnichenko» [In Ukrainian].
12. Kischenko, I.T. (2019). Formirovanie drevesinyi stvola Picea abies (L.) Karst. v raznykh tipakh soobshchestv taekhnoy zonyi [Formation of Picea abies (L.) Karst. in different types of taiga zone communities]. Lesn. Zhurn, 1, 32–39. doi:10.17238/issn0536-1036.2019.1.32 [In Russian].
13. Klevtsov, D.N., Tyukavina, O.N., & Adayi, G.M. (2018). Bioenergeticheskyy potentsial nadzemnoy fitomassyi kultur sosnyi obyikovennoy taekhnoy zonyi [Bioenergetic potential of above-ground phytomass of common taiga pine crops]. Lesnoy zhurnal, 4, 49–55. doi: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.49. [In Russian].
14. Kobzar, A.I. (2006). Prikladnaya matematicheskaya statistika [Applied mathematical statistics]. Dlya inzhenerov i nauchnykh rabotnikov. Moskva : FIZMATLIT [In Russian].
15. Lakida, P.I. (2002). Fitomasa lisiv Ukrayini [Forest Biomass Ukraine: [monograph]]. Ternopil: Zbruch [In Ukrainian].
16. Lovynska, V.M. (2018). Aboveground phytomass of the trunk of Pinus Sylvestris L. stands within northern steppe of Ukraine [Above-ground phytomass barrels Pinus Sylvestris L. in woodwaters of the northern steppe of Ukraine]. Scientific Bulletin of UNFU, 28(8), 79-82. <https://doi.org/10.15421/40280816> [in Ukrainian].
17. Lovynska, V.M. (2018). Lokalna schilnist komponentiv fitomasi stovbura sosni zvichaynoyi (Pinus sylvestris L.) Pivnichnogo Stepu Ukrayini [Local density of phytomass components of common pine trunk (Pinus sylvestris L.) of Northern Steppe of Ukraine]. Visnik agrarnoyi nauk Prichornomor'ya, 3, 73–78. doi:10.31521/2313-092X/2018-3(99)-12. [in Ukrainian].
18. Parizka ugoda [Parisian agreement of the UN]. Dokument №1469-VIII vid 14.07.2016. Paris Agreement. Document №1469-VIII of 14.07.2016. Retrieved form: http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_161. [In Ukrainian].
19. Partnerstvo zaradi rinkovoyi gotovnosti v Ukrayini (PMR) [Partnership for Market Readiness in Ukraine (PMR)]. (2019). Propozitsiyi schodo rozvitku instrumentiv vugletsevogo tsinoutvorenniya v Ukrayini: zvit z modelyuvannya. Partnership for market readiness. Kyiv [in Ukrainian].

20. Pochtovyuk, A.B., & Pryahina, E.A. (2012). Torgovlya kvotami kak odin iz mehanizmov Kiotskogo protokola [Quota trading as a mechanism of the Kyoto Protocol. Problems of modern economy]. Problemyi sovremennoy ekonomiki, 3 (43), 300–304. [in Russian].
21. Poluboyarinov, O.I. (1976). Plotnost drevesinyi [Wood density]. Moskva: Lesn. prom-st [in Russian].
22. Publichniy zvit Golovi Derzhavnogo agentstva lisovih resursiv Ukrayini za 2017 rik [Public report of the Chairman of the State Forest Resources Agency of Ukraine on 2017]. Kyiv. [in Ukrainian].
23. Schepaschenko, D. G., Shvidenko, A. Z., & Shalaev, V. S. (2008). Biologicheskaya produktivnost i byudzhet ugleroda listvennichnyih lesov Severo-Vostoka Rossii : monografiya [Biological productivity and carbon budget of larch forests of Northeast Russia: monograph]. Moskva : GOU VPO MGUL [in Russian].
24. Shvidenko, A.Z., Strochinskiy, A.A., Savich, Yu.N., & Kashpor, S.N. (1987). Normativno-spravochnyie materialyi dlya taksatsii lesov Ukrainyi i Moldavii [Regulatory and reference materials for forest inventory of Ukraine and Moldova]. Kiev: Urozhay. [in Ukrainian].
25. Soloviy, I. (2016). Otsinka mizhnarodnogo dosvidu ta protsedur / reguluyvan schodo kontseptsiiyi plati za poslugi ekosistem v lisovomu sektori. European Union: ENPI EAST FLEG II. [Assessment of international experience and procedures/adjustments on the concept of payment for ecosystem services in the forest sector : ENPI EAST FLEG II].
26. Sytnyk, S.A. (2019). Modeling of the trunk phytomass components of black locust stands in Northern Steppe of Ukraine [Modeling of Phytomass Components of Robynian Tree Stands of the Northern Steppe of Ukraine]. Scientific Bulletin of UNFU, 29(3), 48–51. doi:10.15421/40290310 [in Ukrainian].
27. Tretyakov, S.V. (Ed.). (2006). Kiotskiy protokol. Istoriya razvitiya, tseli i printsipyi. Proektyi sovmesnogo osuschestvleniya v Ukraine: [sbornik informatsionno-metodicheskikh materialov] [Kyoto Protocol. Development history, goals and principles. Joint implementation projects in Ukraine: [compendium of information and methodological materials]]. Donetsk: ООО «UKRDRUK» [in Ukrainian].

В.В. Мороз, Ю.А. Никитюк

**Уменьшение углеродопоглощающей способности древостоев
Житомирского Полесья через потерю сосновых насаждений**

Аннотация. Согласно подписанному Парижскому климатическому соглашению, перед Украиной стоит задача не допустить роста глобальной средней температуры воздуха более 2°C, чтобы избежать увеличения засух, исчезновения отдельных видов растений и животных, высыхания и заболевания древесных пород и др. Для сохранения и увеличения количества природных поглотителей углерода учеными уделяется особое внимание системе улучшения управления лесными, грунтовыми и другими природными ресурсами. Среди тридцати главных лесообразующих пород в Украине сосна обыкновенная (*Pinus silvestris* L.) является преобладающей древесной породой, в частности в Житомирском Полесье, ее количество составляет 388,47 тыс. га, что составляет 59 % от всех древесных насаждений. Для установления углеродопоглощающей способности сосновых насаждений Житомирского Полесья в государственных предприятиях: Барановское лесохозяйственное хозяйство (ЛОХ); Белокоровицкое лесное хозяйства (ЛХ); Городницкое ЛХ; Эмильчинское ЛХ; Житомирское ЛХ; Коростенское ЛОХ; Малинское ЛХ; Народицкое специализированное лесное хозяйство (СЛХ); Новоград-Волыньское опытное лесохозяйственное хозяйство (ОЛОХ); Овруцкое СЛХ; Олевское ЛХ; Словечанское лесохозяйственное АПК нами были заложены временные пробные площади (ТПП). Согласно методикам П.И. Лакиды, А.А. Сторочинського, А.И. Полубояринова, А.С. Аткина, А.И. Кобзаря нами установлено фитомассу сосновых насаждений в абсолютно сухом состоянии и получено конверсионные коэффициенты, которые позволяют оценить разницу между выбросами CO₂ и поглощением углерода. Проведенный анализ установил, что сосновые насаждения в течение года в своей фитомассе аккумулируют 23,5 млн т углерода, на 1 м² покрытых лесной растительностью лесных участках плотность углерода составляет 25,7 кг. Установлено, что наибольшую углеродопоглощающую способность в Житомирском Полесье имеют средневозрастные сосновые древостои – 12,1 млн т. Установлено, что в результате потери сосновых насаждений Житомирского Полесья за последние годы углеродопоглощающая способность лесов снизилась в среднем от 10 до 47%.

Ключевые слова: сосновые насаждения, фитомасса, группы возраста, конверсионные коэффициенты, поглощение углерода.

V.V. Moroz, Y.A. Nykytiuk

**Reduction of carbon absorption capacity of forest stands
in Zhytomyr Polissya due to the pine stands mortality**

Abstract. According to the signed climate Paris Agreement, Ukraine is faced with the task to prevent the global average air temperature from rising above 2,0 °C in order to avoid an increase in droughts, extinction of certain species of plants and animals, drying up and diseases of tree species, etc. To preserve and increase the number of natural carbon sinks, scientists pay attention in particular to the system of improving forest, soil, and other natural resources management. Among thirty main forest-forming species in Ukraine, Scots pine (*Pinus silvestris* L.) is the predominant tree species, in Zhytomyr Polissya, in particular, its amount is 388,4 thousand hectares, which is 59% of all tree plantations. To establish the carbon absorption capacity of pine stands of Zhytomyr Polissya, we have laid temporary test squares (CCIs) in state-owned enterprises: Baran Forestry hunting enterprise; Belokrovytsia Forestry; Gorodnitsky Forestry; Emilchinskoye Forestry; Zhytomyr Forestry; Korostensky hunting enterprise; Malinsky Forestry; People's Specialized Forestry; Novograd-Volyn Experienced Forestry; Ovruch Specialized Forestry; Olevsky Forestry; Slovenian Forestry Agribusiness. According to the methods of P.I. Lakida, A.A. Storochinsky, O.I. Poluboyarynova, A.S. Atkin, A.I. Kobzar, we established a phytomass of pine stands in a completely dry state and obtained conversion coefficients that made it possible to estimate the difference between CO₂ emissions and carbon sequestration. According to the analysis carried out, pine stands accumulate in their phytomass 23,5 million tons of carbon per 1 m² of forest areas covered with forest vegetation, the carbon density is 25,7 kg. It has been found that in Zhytomyr Polissya medium-aged tree stands have the largest carbon-absorbing capacity – 12,1 million tons. It is established that as a result of the loss of pine stands of Zhytomyr Polissya in recent years the carbon-absorbing capacity of forests decreased on average from 10 to 47%.

Key words: pine stands, phytomass, age groups, conversion factors, carbon sequestration.

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202001-221>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/221>

УДК 633.34:631.53.01:631.67 (477.7)

ПРОДУКТИВНІСТЬ СОРТІВ СОЇ ЗА ІНОКУЛЯЦІЄ НАСІННЯ БУЛЬБОЧКОВИМИ Й ЕНДОФІТНИМИ БАКТЕРІЯМИ В УМОВАХ ЗРОШЕННЯ ПІВДНЯ УКРАЇНИ

С.П. Голобородько¹, докт. с.-г. наук, проф., Г.О. Іутинська², докт. біол. наук, проф.,
Л.В. Титова³, канд. біол. наук, с. н. с., О.Д. Дубинська⁴, аспірант

¹ Інститут зрошувального землеробства НААН, м. Херсон, Україна;

<https://orcid.org/0000-0002-6968-985X>, e-mail: goloborodko1939@gmail.com

² Інститут мікробіології і вірусології ім. Д.К.Заболотного НАН України, Київ, Україна;

e-mail: galyna.iutynska@gmail.com

³ Інститут мікробіології і вірусології ім. Д.К.Заболотного НАН України, Київ, Україна;

e-mail: lytova.07@gmail.com

⁴ Асканійська ДСДС ІЗЗ НААН, с. Тавричанка, Україна;

<https://orcid.org/0000-0002-5572-0094>, e-mail: klenova-dubinskaelena76@ukr.net

Анотація. У статті викладено результати наукових досліджень із встановлення продуктивності різних за швидкістю сортів сої залежно від комплексної інокуляції насіння бульбочковими та ендоефітними бактеріями. Доведено, що за інокуляції насіння сої, порівняно з контрольними варіантами, суттєво збільшується загальна кількість бобів на рослинах, а також насіння в одному бобі, що сприяє підвищенню урожайності ультраскоростиглого сорту Діона на 0,85–0,87 т/га і середньораннього сорту Аратта – на 0,47–0,48 т/га. Застосування інокуляції насіння сої бульбочковими й ендоефітними бактеріями комплексно з іншими агротехнічними заходами дозволяє знижувати хімічне навантаження на земельні ресурси, що сприяє істотному поліпшенню якості вирощуваної продукції. Максимальний збір білка і жиру отримано за інокуляції насіння Ризобіном^к + *Vacillus sp.4*, який за вирощування сорту Діона досягав 1222 кг/га і 560 кг/га, а сорту Аратта – 1080 кг/га та 512 кг/га відповідно. Сумарне водоспоживання різних за швидкістю сортів сої у критичному міжфазному періоді “початок цвітіння–початок утворення бобів” суттєво зросло, що пов’язано з інтенсивним ростом вегетативної маси рослин, яке у ультраскоростиглого сорту Діона досягало 1024 м³/га і середньораннього сорту Аратта – 1511 м³/га. У міжфазному періоді “початок утворення бобів–початок дозрівання бобів” сумарне водоспоживання при вирощуванні сорту сої Діона не перевищувало 1318 м³/га і сорту Аратта 952 м³/га або 16,3–25,8% до загальної кількості води за вегетаційний період культури. Загалом при вирощуванні сорту Діона було проведено 10 вегетаційних поливів зрошувальною нормою 3610 м³/га, відповідно, сорту Аратта – 12 поливів зрошувальною нормою 4220 м³/га. Загалом за вегетаційний період сумарне водоспоживання сорту сої Діона із 0-70 см шару ґрунту досягало 5102 м³/га, відповідно, сорту Аратта – 5832 м³/га.

Ключові слова: соя, насіння, інокуляція, бульбочкові бактерії, ендоефіти, урожайність, вміст білка, вміст жиру.

Постановка проблеми. Серед введених у культуру зернобобових рослин соя в структурі посівних площ України протягом останніх років стала займати одне з провідних місць, що обумовлено високим вмістом у її насінні білка – до 38–42%, жиру – до 18–23% та вуглеводів – до 25–30% [2]. Зростанню посівних площ сої сприяє також і значний попит на її насіння на міжнародному ринку, що пов’язано з отриманням високоякісного рослинного білка, оскільки як бобова рослина вона забезпечує до 60–70% свою потребу в азотному живленні за рахунок фіксації бульбочковими бактеріями симбіотичного азоту [2].

Згідно з даними Державної служби статистики загальна посівна площа сої в Україні

у 2019 р. становила 1823,0 тис. га проти 93,0 тис. га у 1990 р. Поряд із високими якісними показниками насіння розширення посівних площ сої в розвинутих країнах світу обумовлено й невисокою енергоємністю її вирощування та універсальністю використання культури. Головними чинниками, які сприяють отриманню стабільно високих урожаїв сої, є створення та впровадження у сільськогосподарське виробництво високопродуктивних селекційних сортів нового покоління та удосконалення технології вирощування культури. Одним із ефективних заходів, що сприяє підвищенню насінневої продуктивності сої, є застосування екологічно безпечних інокулянтів, створених на основі бульбочкових бактерій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Згідно з результатами наукових досліджень, проведених у різних природно-кліматичних зонах України, інокуляція насіння сої бульбочковими бактеріями істотно підвищує симбіотичну фіксацію молекулярного азоту атмосфери, а, отже, й урожай культури [7]. Поряд з цим залучення азоту з повітря в кругообіг поживних речовин зернобобовими культурами забезпечує покращення екологічного стану навколишнього середовища. Проте зараз при вирощуванні сої ще зовсім залишається не вивченим питання комплексного застосування бульбочкових та ендofітних бактерій, хоча об'єднання азотфіксуючих властивостей ризобій та рістрегулюючих функцій ендofітних бактерій, з господарської точки зору, є надзвичайно цінним [3]. Вперше вплив ендofітних бактерій, які населяють тканини введених у культуру більшості зернобобових рослин, без нанесення їм шкоди, було визначено Де Барі у 1886 р. [8].

Нині встановлено, що ендofітні бактерії, які поряд із бульбочковими бактеріями здатні формувати на коренях потужний симбіотичний апарат, синтезують біологічно активні метаболіти, що характеризуються антимікробною дією на фітопатогени, або є індукторами системної стійкості рослин, попереджаючи цим розвиток у них хвороб. До того ж деякі з них здатні фіксувати молекулярний азот атмосфери, що покращує азотне живлення рослин зернобобових культур [8]. Тому більшість ендofітних бактерій сприяє активному росту й розвитку рослин, а також підвищенню їх стійкості до впливу несприятливих факторів навколишнього середовища.

Завдання і методика досліджень. Метою наукових досліджень було встановлення впливу комплексної інокуляції насіння новими штамми ендofітних бактерій сумісно з бульбочковими бактеріями на формування урожаю та його якості різних за скоростиглістю сортів сої в умовах зрошення півдня України. Польовий дослід з удосконалення ресурсоощадної технології вирощування насіння різних за скоростиглістю сортів сої проводили на Асканійській ДСДС ІЗЗ НААН, розташованій в с. Тавричанка, Каховського району, Херсонської області. Ґрунти – темно-каштанові середньосуглинкові, з глибиною гумусного шару 45–50 см. Вміст гумусу (за Тюрнімом) в орному шарі становить 2,15 %, лужногідролізованого азоту (за Корнфілдом) – 50,0 мг/кг ґрунту, рухомого фосфору (за Мачигінімом) – 24,0 мг/кг ґрунту; обмінного калію – 400 мг/кг

ґрунту. Найменша вологоємність 0–50 см шару – 23,2%; 0–100 см – 21,5%; 0–150 см – 21,3%; вологість в'янення, відповідно, – 11,4; 11,6 і 11,9% до ваги абсолютно сухого ґрунту.

Двофакторний польовий дослід закладено методом розщеплених ділянок, де головні ділянки (ділянки першого порядку, фактор А) – сорти сої ультраскоростиглий (Діона) і середньоранній (Аратта). Ділянки другого порядку (субділянки, фактор В) – варіанти передпосівної обробки насіння: 1 – Контроль 1 (без обробки насіння); 2 – Контроль 2 (обробка насіння водою); 3 – Ризобін^К (асоціація 3-х штамів *Bradyrhizobium japonicum* УКМ В-6018, УКМ В-6023, УКМ В-6035); 4 – Ризобін^К + *Paenibacillus* sp.1; 5 – Ризобін^К + *Bacillus* sp.4; 6 – Ризобін^К + *Brevibacillus* sp.5; 7 – Ризобін^К + *Pseudomonas brassicacearum* 6; 8 – Ризобін^К + *B. megaterium* УКМ В-5724. Для інокуляції насіння використано штами бульбочкових й ендofітних бактерій із колекції культур відділу загальної та ґрунтової мікробіології Інституту мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України.

Площа посівної ділянки – 240,0 м², облікової – 17 м², повторність досліду чотириразова. Сівбу сортів сої проводили в третій декаді квітня сівалкою «Клен» шириною міжрядь 45 см на глибину 6–7 см. Норма висіву насіння сорту Діона – 800000 і Аратта – 600000 схожих насінин/га [5]. Вплив погодно-кліматичних умов на формування урожаю сортів сої встановлювали шляхом визначення випаровуваності, кількості атмосферних опадів, дефіциту вологозабезпечення та коефіцієнта зволоження, які визначали за Н.М. Івановим [4]. Метеорологічні показники наведено за даними спостережень метеорологічної станції смт Асканія-Нова. Баланс продуктивної вологи, сумарне випаровування за міжфазними періодами та сумарне водоспоживання сої загалом за вегетаційний період визначали за О.М. Костяковим [6]. Облік урожаю за варіантами польового досліду виконували за 100% дозрівання насіння в бобах. Збирання врожаю проводили комбайном «Сампо-130». Структуру врожаю, статистичний та економічний аналізи проводили за загальноприйнятими методиками польового досліду [9].

Виклад основного матеріалу. Аналіз впливу гідротермічних умов протягом вегетаційного періоду сої свідчить, що у літні та осінні місяці вегетації культури у південному Степу спостерігається істотний дефіцит атмосферних опадів, що суттєво впливає на формування урожаю культури. Загальна тривалість вегетаційного періоду сої сорту

Діона у середньому за 2017–2019 рр. складала 112 діб і сорту Аратта – 144 доби.

Тривалість міжфазного періоду “сходи-початок гілкування” сорту Діона за гідротермічних умов, що склалися, становила 10 діб і сорту Аратта – 13 діб. У міжфазному періоді “початок гілкування–початок цвітіння” за середньодобової температури 21,3°C і відносної вологості повітря 55,4% випаровуваність досягала 172,1 мм, а дефіцит вологозабезпечення складав 165,0 мм. Коефіцієнт зволоження у вказаному міжфазному періоді був вкрай низьким і не перевищував 0,04. Останнє свідчить про те, що територія південного Степу в період вегетації сої сорту Діона, згідно з Н.Н. Івановим [4], належала до пустелі. Протягом міжфазного періоду “початок цвітіння-початок утворення бобів”, загальна тривалість якого у сорту Діона складала 20 діб, за середньодобової температури 23,0°C і відносної вологості повітря 55,8% випаровуваність зростала до 183,3 мм, а дефіцит вологозабезпечення досягав 152,7 мм. За таких

погодних умов коефіцієнт зволоження для сорту Діона не перевищував 0,17, що характерно для напівпустелі (табл. 1).

Кількість атмосферних опадів у міжфазному періоді “початок цвітіння – початок утворення бобів” при вирощуванні сорту Діона складала 30,6 мм, або 28,0% до загальної кількості опадів загалом за вегетаційний період.

Вкрай негативний вплив тривалої посухи спостерігався і у міжфазні періоди “початок утворення бобів–початок дозрівання бобів” та “початок дозрівання бобів–повне дозрівання бобів”, загальна тривалість яких для сорту сої Діона складала 52 доби. Кількість атмосферних опадів у вказані міжфазні періоди була недостатньою і загалом не перевищувала 55,2 мм для сорту Діона або 50,5% до загальної кількості опадів за вегетаційний період культури. За середньої температури 23,9–24,8°C і відносної вологості повітря 49,7–57,3% випаровуваність у вказані міжфазні періоди підвищувалася до 183,8–224,5 мм, а дефіцит вологозабезпечення зростав до 139,7–213,4 мм.

1. Гідротермічні показники вегетаційного періоду різних за скоростиглістю сортів сої в південному Степу України (у середньому за 2017–2019 рр.)

Календарні дати	Середня температура повітря, °C	Кількість опадів, мм	Відносна вологість повітря, %	Випаровуваність, мм	Дефіцит вологозабезпечення, мм	Коефіцієнт зволоження (КЗ)
Сорт Діона						
сходи-початок гілкування (10 діб)						
14.V-23.V	17,8	16,5	67,2	108,1	91,6	0,15
початок гілкування-початок цвітіння (30 діб)						
24.V-22.VI	21,3	7,1	55,4	172,1	165,0	0,04
початок цвітіння-початок утворення бобів (20 діб)						
23.VI -12.VII	23,0	30,6	55,8	183,3	152,7	0,17
початок утворення бобів-початок дозрівання бобів (24 доби)						
13.VII-05.VIII	23,9	44,1	57,3	183,8	139,7	0,24
початок дозрівання бобів-повне дозрівання бобів (28 діб)						
06.VIII-02.IX	24,8	11,1	49,7	224,5	213,4	0,05
разом						
112 діб	22,2	109,4	57,1	871,8	762,4	0,12
Сорт Аратта						
сходи-початок гілкування (13 діб)						
14.V-26.V	17,8	17,1	67,8	106,2	89,1	0,16
початок гілкування-початок цвітіння (50 діб)						
27.V-15.VII	22,5	34,5	54,9	183,2	148,7	0,19
початок цвітіння-початок утворення бобів (28 діб)						
16.VII-12.VIII	24,5	30,5	56,0	194,0	163,5	0,16
початок утворення бобів-початок дозрівання бобів (27 діб)						
13.VIII-08.IX	23,9	28,4	51,7	207,9	179,5	0,14
початок дозрівання бобів-повне дозрівання бобів (26 діб)						
09.IX -04.X	20,3	12,1	54,1	169,5	157,4	0,07
разом						
144 доби	21,8	122,6	56,9	860,8	738,2	0,14

Відмінною особливістю вегетаційного періоду середньораннього сорту сої Аратта було те, що у критичний міжфазний період «початок цвітіння–початок утворення бобів» та на «початку утворення бобів–початку дозрівання бобів» через високу середньодобову температуру й низьку відносну вологість повітря випаровуваність зростала до 194,0–207,9 мм, а дефіцит вологозабезпечення, відповідно, до 163,5–179,5 мм. Коефіцієнт зволоження у вказані міжфазні періоди був вкрай низьким і не перевищував 0,14–0,16. Останнє свідчить про те, що підзона південного Степу України у критичний період вегетації сорту Аратта належала до напівпустелі.

Згідно з прийнятою класифікацією, за величиною коефіцієнта зволоження природно-кліматичні зони України визначають як: за $K_3 = 1,00-1,33$ і більше – високоволожена зона; $K_3 = 1,00-0,77$ – напівволога; $K_3 = 0,77-0,55$ – напівпосушлива; $K_3 = 0,55-0,44$ – посушлива; $K_3 = 0,44-0,33$ – дуже посушлива; $K_3 = 0,33-0,22$ – напівсуха зона; $K_3 = 0,22-0,12$ – напівпустеля, $K_3 = 0,12$ і менше – пустеля [4].

Вологість ґрунту в міжфазні періоди «початок гілкування–початок цвітіння» та «початок цвітіння–початок утворення бобів» у розрахунковому 0–70 см шарі ґрунту підтримували на рівні 75–80% НВ, а в міжфазному періоді «початок утворення бобів–початок дозрівання бобів» знижували її до 60–65% НВ. При цьому в сухі (95%) за забезпеченістю опадами роки враховували екстремальні гідротермічні умови, що склалися, не допускаючи зниження рівня передполивної вологості 0–70 см шару ґрунту до нижнього оптимального рівня.

Сумарне водоспоживання за міжфазними періодами різних за скоростиглістю сортів сої визначали методом водного балансу, який базується на обліку вмісту вологи в ґрунті на початку та в кінці вегетаційного періоду, витрат води на формування урожаю за міжфазними періодами і загалом за вегетаційний період культури, з урахуванням кількості опадів, що випадали, та зрошення [6].

На початку вегетації сортів сої у міжфазних періодах «сходи – початок гілкування» та «початок гілкування – початок цвітіння» сумарне водоспоживання відбувалося за рахунок фізичного випаровування з ґрунту, яке у розрахунковому 0–70 см шарі для сорту Діона досягало 681–1241 м³/га і, відповідно, сорту Аратта – 691–1835 м³/га. Кількість атмосферних опадів у вказаних міжфазних періодах при вирощуванні сорту Діона складала 71–165 м³/га або 6,5–15,1% до суми опадів загалом за вегетаційний період, відповідно, сорту Аратта – 171–345 м³/га та 13,9–28,1%.

У критичному міжфазному періоді «початок цвітіння–початок утворення бобів» сумарні витрати продуктивної вологи суттєво зростали, що пов'язано з інтенсивним ростом вегетативної маси рослин, які у сорту Діона досягали 1024 м³/га і у сорту Аратта – 1511 м³/га. У міжфазному періоді «початок утворення бобів – початок дозрівання бобів» сумарне водоспоживання при вирощуванні ультраскоростиглого сорту сої Діона складало 1318 м³/га або 25,8% до загальної кількості вологи за вегетаційний період культури (табл. 2).

2. Баланс продуктивної вологи протягом вегетаційного періоду сортів сої у 0–70 см шарі ґрунту (у середньому за 2017–2019 рр.), м³/га

Міжфазні періоди	Календарні строки	Початковий запас	Опади	Поливи	Усього	Кінцевий запас	Сумарне водоспоживання
Сорт Діона							
Сх–Пг	14.05–23.05	1169	165	300	1634	949	685
Пг–Пцв	24.05–22.06	949	71	1180	2200	959	1241
Пцв–Пуб	23.06–12.07	959	306	770	2035	1011	1024
Пуб–Пдз	13.07–05.08	1011	441	930	2382	1064	1318
Пдз–Пуб	06.08–02.09	1064	111	430	1605	771	834
Разом		1169	1094	3610	5873	771	5102
Сорт Аратта							
Сх–Пг	14.05–26.05	1157	171	300	1628	937	691
Пг–Пцв	27.05–15.07	937	345	1620	2902	1067	1835
Пцв–Пуб	16.07–12.08	1067	305	1030	2402	891	1511
Пуб–Пдз	13.08–08.09	891	284	700	1875	923	952
Пдз–Пуб	09.09–04.10	923	121	570	1614	771	843
Разом		1157	1226	4220	6603	771	5832

Примітка: Сх–Пг – сходи-початок гілкування; Пг–Пцв – початок гілкування-початок цвітіння; Пцв–Пуб – початок цвітіння-початок утворення бобів; Пуб–Пдз – початок утворення бобів-початок дозрівання бобів; Пдз–Пдб – початок дозрівання бобів-повне дозрівання бобів.

Сумарне водоспоживання середньораннього сорту Аратта у вказаному міжфазному періоді не перевищувало 952 м³/га або 16,3% до сумарної кількості вологи за вегетаційний період. Останнє пов'язано з недостатньою кількістю атмосферних опадів у період вегетації культури. Сумарне водоспоживання продуктивної вологи у міжфазному періоді “початок дозрівання бобів – повне дозрівання бобів” у сорту сої Діона складало 834 м³/га і 843 м³/га – у сорту Аратта.

На зниження негативних наслідків екстремальних погодних умов, які домінували протягом літнього й осіннього періоду вегетації обох сортів сої, достатньо високий вплив на проходження продукційних процесів та формування урожаю мало лише своєчасне проведення вегетаційних поливів. У середньому при вирощуванні ультраскоростиглого сорту Діона було проведено 10 вегетаційних поливів зрошувальною нормою 3610 м³/га,

відповідно, середньораннього сорту Аратта – 12 поливів зрошувальною нормою 4220 м³/га. Загалом за вегетаційний період сумарне водоспоживання ультраскоростиглого сорту сої Діона із 0–70 см шару ґрунту досягало 5102 м³/га, відповідно, сорту Аратта – 5832 м³/га. Для створення високопродуктивних агроцензів різних за скоростиглістю сортів сої важливо було сформувавши оптимальну густоту стояння рослин та забезпечити їх добрий ріст і розвиток (табл. 3).

Як відмічають Ф.Ф. Адамень та ін. [1], густота рослин сої істотно впливає на формування урожаю насіння культури та його якість. У наших дослідженнях густота стояння рослин сої змінювалася, оскільки в процесі вегетаційного періоду частина рослин відмирала, внаслідок чого на ділянках польового досліду вона зменшувалася.

До того ж гинули слабкі рослини, які відставали в рості, а також пошкоджені шкід-

3. Густота стояння, польова схожість та виживання різних за скоростиглістю сортів сої залежно від інокуляції насіння перед сівбою бульбочковими та ендоситними бактеріями (у середньому за 2017–2019 рр.)

Варіанти		Норма висіву насіння, тис./га	Зійшло рослин, тис./га	Польова схожість насіння, %	Рослин у повну стиглість, тис./га	Вижило рослин, %
Сорт А)	Обробка насіння (В)					
Діона	Контроль 1	800 000	702 000	87,7	471 000	67,1
	Контроль 2	800 000	702 000	87,7	477 000	67,9
	Ризобін ^К	800 000	706 000	88,2	563 000	79,7
	Ризобін ^К + <i>Raenibacillus</i> sp.1	800 000	703 000	87,9	574 000	81,6
	Ризобін ^К + <i>Bacillus</i> sp.4	800 000	706 000	88,2	624 000	88,4
	Ризобін ^К + <i>Brevibacillus</i> sp.5	800 000	705 000	88,1	608 000	86,2
	Ризобін ^К + <i>P. brassicacearum</i> 6	800 000	708 000	88,5	618 000	87,3
	Ризобін ^К + <i>B. megaterium</i> УКМ В-5724	800 000	707 000	88,4	616 000	87,1
Аратта	Контроль 1	600 000	530 000	88,3	427 000	80,6
	Контроль 2	600 000	530 000	88,3	427 000	80,6
	Ризобін ^К	600 000	532 000	88,7	450 000	84,6
	Ризобін ^К + <i>Raenibacillus</i> sp.1	600 000	539 000	89,8	480 000	89,0
	Ризобін ^К + <i>Bacillus</i> sp.4	600 000	537 000	89,4	507 000	94,4
	Ризобін ^К + <i>Brevibacillus</i> sp.5	600 000	539 000	89,8	503 000	93,3
	Ризобін ^К + <i>P. brassicacearum</i> 6	600 000	535 000	89,2	470 000	87,8
	Ризобін ^К + <i>B. megaterium</i> УКМ В-5724	600 000	532 000	88,7	503 000	94,5

никами й хворобами. Найменше виживало рослин на контрольних варіантах – контроль 1 (без інокуляції насіння) 66,3–62,0%, контроль 2 (обробка насіння водою) 66,2–60,8%. Інокуляція насіння перед сівбою бульбочковими та ендодітними бактеріями позитивно впливала на збереження рослин. Найбільше виживало рослин сорту Діона за інокуляції насіння Ризобін^К+ *Brevibacillus* sp.5 – 92,0%, відповідно, сорту Аратта – Ризобін^К + *B. megaterium* 6 – 94,1%.

Передпосівна інокуляція насіння різних за скоростиглістю сортів сої бульбочковими й ендодітними бактеріями сприяла формуванню більшої кількості бобів на рослинах і насінин в одному бобі. Так, на контролі 1 (без обробки насіння водою) і контролі 2 (обробка насіння водою) кількість бобів на 1 рослині сорту сої Діона в середньому за 2017–2019 рр. не перевищувала 24,0–26,0 штук і сорту Аратта 31–35 штук (табл. 4).

За обробки насіння препаратом Ризобін^К (асоціація 3-х штамів *B. japonicum* УКМ В-6018, УКМ В-6023, УКМ В-6035) та комплексним інокулянтном Ризобін^К +

Paenibacillus sp.1 на сорті Діона кількість бобів зростала до 31,0–35,0 шт., а за обробки композиціями Ризобін^К + *Bacillus* sp.4 та Ризобін^К + *Brevibacillus* sp.5 – до 33,0–39,0 штук на 1 рослині. Аналогічно спостерігалось їх збільшення й на сорті Аратта, яке у варіантах Контроль 1 і Контроль 2 складало 31,0–35,0 шт., проти 42,0–51 шт. за інокуляції насіння бульбочковими й ендодітними бактеріями, що суттєво впливало на формування урожаю сортів сої. Максимальна урожайність сорту Діона отримана за передпосівної інокуляції насіння Ризобіном^К + *Bacillus* sp.4 – 3,19 т/га, відповідно, сорту Аратта – 2,75 т/га (табл. 5).

Найменша врожайність насіння отримана у варіантах Контроль 1 (без обробки насіння) і Контроль 2 (обробка насіння водою), яка у сорту Діона не перевищувала 2,32–2,34 т/га і у сорту Аратта – 2,27–2,28 т/га

За результатами лабораторних аналізів встановлено також і якісні показники насіння сортів сої, які суттєво залежали від комплексної інокуляції бульбочковими та ендодітними бактеріями.

4. Структура урожаю різних за скоростиглістю сортів сої залежно від застосування бульбочкових і ендодітних бактерій (середнє за 2017–2019 рр.)

Варіанти обробки насіння (В)	Висота рослин, см		Кількість на 1 рослині, шт.			Маса насіння	
	загальна	прикріплення нижніх бобів	продуктивних вузлів	бобів	насіння	з 1 рослини	1000 шт. насінин, г
Сорт Діона (А ₁)							
1	71	10	12	24	57	7,0	128
2	72	10	13	26	63	7,7	131
3	81	11	12	31	72	9,0	138
4	82	11	15	35	81	11,0	136
5	82	11	16	39	82	11,9	148
6	76	11	14	33	77	10,6	143
7	81	11	14	30	69	8,7	138
8	77	10	14	31	70	8,2	139
Сорт Аратта (А ₂)							
1	124	13	15	31	69	10,4	132
2	124	14	17	35	72	11,3	137
3	130	15	19	42	102	16,5	151
4	133	14	18	46	96	15,7	146
5	137	14	20	51	111	18,1	149
6	133	15	17	41	83	12,1	148
7	126	12	19	42	90	14,3	146
8	132	13	18	38	79	12,0	148

Примітка: 1 – контроль 1 (без обробки насіння); 2 – контроль 2 (обробка насіння водою); 3 – Ризобін^К (асоціація 3-х штамів *B. japonicum* УКМ В-6018, УКМ В-6023, УКМ В-6035); 4 – Ризобін^К + *Paenibacillus* sp.1; 5 – Ризобін^К + *Bacillus* sp.4; 6 – Ризобін^К + *Brevibacillus* sp.5; 7 – Ризобін^К + *P. brassicacearum* 6; 8 – Ризобін^К + *B. megaterium* УКМ В-5724.

5. Урожайність і хімічний склад сортів сої залежно від інокуляції насіння бульбочковими й ендоситними бактеріями на зрошуваних землях південного Степу України (у середньому за 2017–2019 рр.)

Варіанти обробки насіння (В)	Урожайність, т/га	Вміст у насінні, %		Збір з 1 га, кг	
		білка	жиру	білка	жиру
сорт Діона					
Контроль 1	2,32	37,40	15,67	868	364
Контроль 2	2,34	37,61	15,90	880	372
Ризобін ^К	2,92	37,79	16,42	1126	479
Ризобін ^К + <i>Paenibacillus</i> sp.1	3,03	37,63	17,54	1140	531
Ризобін ^К + <i>Bacillus</i> sp.4	3,19	38,30	17,55	1222	560
Ризобін ^К + <i>Brevibacillus</i> sp.5	2,87	39,06	17,65	1121	507
Ризобін ^К + <i>P. brassicacearum</i> 6	2,89	39,28	17,83	1135	515
Ризобін ^К + <i>B. megaterium</i> УКМ В-5724	2,72	37,76	17,75	1027	483
сорт Аратта					
Контроль 1	2,27	37,41	15,21	849	345
Контроль 2	2,28	37,54	15,38	856	351
Ризобін ^К	2,42	38,77	17,11	938	414
Ризобін ^К + <i>Paenibacillus</i> sp.1	2,52	38,81	18,07	978	455
Ризобін ^К + <i>Bacillus</i> sp.4	2,75	39,26	18,62	1080	512
Ризобін ^К + <i>Brevibacillus</i> sp.5	2,59	38,73	18,84	1003	488
Ризобін ^К + <i>P. brassicacearum</i> 6	2,55	39,29	17,61	1002	449
Ризобін ^К + <i>B. megaterium</i> УКМ В-5724	2,50	37,93	17,34	948	434

А. Оцінка істотності урожайності часткових відмінностей:

$$НІР_{05}(A) = 0,15 \text{ т/га}; НІР_{05}(B) = 0,12 \text{ т/га}$$

В. Оцінка істотності урожайності середніх (головних) ефектів:

$$НІР_{05}(A) = 0,05 \text{ т/га}; НІР_{05}(B) = 0,09 \text{ т/га}$$

Примітка: 1 – контроль 1 (без обробки насіння); 2 – контроль 2 (обробка насіння водою); 3 – Ризобін^К (асоціація 3-х штамів *B. japonicum* УКМ В-6018, УКМ В-6023, УКМ В-6035); 4 – Ризобін^К + *Paenibacillus* sp.1; 5 – Ризобін^К + *Bacillus* sp.4; 6 – Ризобін^К + *Brevibacillus* sp.5; 7 – Ризобін^К + *P. brassicacearum* 6; 8 – Ризобін^К + *B. megaterium* УКМ В-5724.

фітними бактеріями. Максимальний вміст білка, на рівні 39,06–39,28%, був у насінні сої сорту Діона у варіантах, де проводили передпосівну інокуляцію композиціями Ризобін^К + *Brevibacillus* sp.5 і Ризобін^К + *P. brassicacearum* 6, що перевищувало показники варіантів Контроль 1 і Контроль 2 у 1,45–1,67 і 1,66–1,88 рази відповідно. Вміст білка у насінні сорту Аратта також був достатньо високим, який у варіантах Ризобін^К + *Bacillus* sp.4 і Ризобін^К + *P. brassicacearum* 6 складав 39,26–39,29%. Високий вміст жиру отримано в насінні сорту Діона за комплексної інокуляції композиціями Ризобін^К + *Brevibacillus* sp.5 та Ризобін^К + *P. brassicacearum* 6 (17,65 і 17,83% відповідно) та в насінні сорту Аратта за обробки комплексними інокулянтами Ризобін^К + *Bacillus* sp.4 та Ризобін^К + *Brevibacillus* sp.5 (18,62 і 18,84%) проти 15,67–15,90% і 15,21–15,38% в контрольних варіантах відповідних сортів.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Формування урожаю насіння різних за скоростиглістю сортів сої істотно залежало від гідротермічних умов вегетаційного періоду культури та її симбіозу з бульбочковими та ендоситними бактеріями на зрошуваних землях південного Степу України. Передпосівна інокуляція насіння сортів сої бульбочковими й ендоситними бактеріями, порівняно з контрольними варіантами, суттєво впливала на формування загальної кількості бобів на рослинах і насінин в одному бобі, що сприяло підвищенню урожайності ультраскоростиглого сорту Діона на 0,57–0,87 т/га і середньораннього сорту Аратта – на 0,32–0,48 т/га. Урожайність кондиційного насіння сорту Діона у Контролі 1 (без обробки насіння) і Контролі 2 (обробка насіння водою) складала 2,32 і 2,34 т/га, відповідно, сорту Аратта – 2,27 і 2,28 т/га. Найбільша урожайність насіння сортів сої

формувався за передпосівної обробки насіння Ризобіном^К + *Bacillus* sp.4 – 3,19 т/га у сорту Діона й 2,75 т/га у сорту Аратта.

Інокуляція насіння різних за скоростиглістю сортів сої бульбочковими й ендоефітними бактеріями істотно впливала на вміст білка і жиру в насінні культури. Максимальний вміст білка, на рівні 39,06-39,28%, спостерігався в насінні сорту Діона у варіантах, де проводили передпосівну обробку комплексними

інокулянтами Ризобін^К + *Brevibacillus* sp.5 і Ризобін^К + *P. brassicacearum* б. Вміст білка у насінні сорту Аратта також був достатньо високим у варіантах з Ризобін^К + *Bacillus* sp.4 і Ризобін^К + *P. brassicacearum* б складав 39,26-39,29%. Найбільший збір білка і жиру отримано за інокуляції насіння Ризобіном^К + *Bacillus* sp.4, який за вирощування сорту Діона досягав 1222 кг/га і 560 кг/га, а сорту Аратта – 1080 кг/га та 512 кг/га відповідно.

Бібліографія

1. Адамень Ф.Ф., Вергунов В.А., Лазер П.Н., Вергунова И.Н. Агробиологические особенности возделывания сои в Украине. Киев: Аграрна наука. 2006. 455 с.
2. Бабич А.О., Побережна А.А. Селекція, виробництво, торгівля і використання сої у світі. Київ: Аграрна наука, 2011. 548 с.
3. Гарифуллина Д.В. Эндоефитные бактерии растений гороха как активный компонент бобово-ризобияльной симбиотической системы: автореф. дис. на соискание уч. степени канд. биол. наук: спец.03.02.03 «Микробиология». Уфа, 2012. 20 с.
4. Иванов Н.Н. Показатель биологической эффективности климата / Известия Всесоюзного географического общества, 1962. Т. 94. № 1. С. 65–70.
5. Каталог сортів та гібридів сільськогосподарських культур селекції Інституту зрошувального землеробства НААН / Р.А. Вожегова та ін. Херсон: ФОП Грін Д.С., 2017. С. 38–53.
6. Костяков А.Н. Основы мелиораций. 6 изд. Москва: Сельхозгиз, 1960. 630 с.
7. Патица В.Ф. Біологічний азот. Київ: Світ, 2003. 424 с.
8. de Bary. Morphologie und physiologie der pilze, flechen, und myxomyceten / Hofmeister's handbuch der Physiologischen Botanik, Leipzig: W.Engelmann, 1886, 2. 338 p.
9. Ушкаренко В.А., Лазарев Н.Н., Голобородько С.П., Коковихин С.В. Дисперсионный и корреляционный анализ в растениеводстве и луговодстве. Москва: РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2011. 335 с.

References

1. Adamen, F.F., Vergunov, V.A., Lazer, P.N., & Vergunova, I.N. (2006). Agrobiologicheskie osobennosti vozdeliyvaniya soi v Ukraine. Kiev: Agrarna nauka. [in Russian].
2. Babich, A.O., & Poberezhna, A.A. (2011). Seleksiya, virobnitstvo, torgivlya i vikoristannayasoyi u sviti [Collection, production, trade and use of soybeans in the world]. Kiev: Agrarian Science. [in Ukrainian].
3. Garifullina, D.V. (2012). Endofitnyie bakterii rasteniy goroha kak aktivnyiy komponent bobovo-rizobialnoy simbioticheskoy sistemyi [Endophytic bacteria of pea plants as an active component of the bean-rhizobial symbiotic system]. Author's abstract. Cand. biol. sciences Ufa. [in Russian].
4. Ivanov, N.N. (1962). Pokazatel biologicheskoy effektivnosti klimata [The indicator of the biological efficiency of the climate]. Izvestiya All-Union Geographical Society, 1, 65-70. [in Russian].
5. Vozhegova, R.A., Lavrinenko, Y.O. & Basil, G.G. (2017). Katalog sortiv ta gibridiv silskogospodarskih kultur selektsiyi Institutu zroshuvanogo zemlerobstva NAAN [Catalog of varieties and hybrids of agricultural crops of breeding at the Institute of Irrigated Agriculture NAAN]. Kherson: FOP Grin D.S., 38-53. [in Ukrainian].
6. Kostyakov A.N. (1960). Osnovy melioratsiy. Moskva: Selhonzgiz. [in Russian].
7. Patika V.F. (2003). Biologichniy azot. Kiev: Svit. [in Ukrainian].
8. de Bary. (1886). Morphologie und physiologie der pilze, flechen, und myxomyceten. Hofmeister's handbuch der Physiologischen Botanik, Leipzig: W.Engelmann.
9. Ushkarenko, V.A., Lazarev, N.N., Goloborodko, S.P. & Cocovihin, S.V. (2011). Dispersionnyiy i korrelyatsionnyiy analiz v rastenievodstve i lugovodstve [Dispersion and correlation analysis in crop and grassland farming]. Moskva: RSAU-MSA them. K.A. Timiryazeva. [in Ukrainian].

С.П. Голобородько, Г.А. Иутинская, Л.В. Титова, Е.Д. Дубинская
Продуктивность сортов сои при инокуляции семян клубеньковыми и эндофитными бактериями в условиях орошения Юга Украины

Аннотация. В статье изложены результаты исследований по установлению продуктивности различных по скороспелости сортов сои в зависимости от комплексной инокуляции семян клубеньковыми и эндофитными бактериями. Доказано, что при инокуляции семян сои, по сравнению с контрольными вариантами, существенно увеличивается общее количество бобов на растениях, а также семян в одном бобе, что способствует повышению урожайности семян ультраскороспелого сорта Диона на 0,85–0,87 т/га и среднераннего сорта Аратта – на 0,47–0,48 т/га. Применение инокуляции семян сои клубеньковыми и эндофитными бактериями в комплексе с другими агротехническими мероприятиями позволяет снизить химическую нагрузку на земельные ресурсы, что способствует существенному улучшению качества выращиваемой продукции. Максимальный сбор белка и жира получен при инокуляции семян Ризобином^к + *Bacillus sp.4*, который при выращивании сорта Диона достигал 1222 кг/га и 560 кг/га, а сорта Аратта – 1080 кг/га и 512 кг/га соответственно. Суммарное водопотребление различных по скороспелости сортов сои в критическом межфазной периоде «начало цветения-начало образования бобов» существенно росло, что связано с интенсивным ростом вегетативной массы растений, которое у ультраскороспелого сорта Диона достигало 1024 м³/га и среднераннего сорта Аратта – 1511 м³/га. В межфазном периоде «начало образования бобов-начало созревания бобов» суммарное водопотребление при выращивании сорта сои Диона не превышало 1318 м³/га и сорта Аратта 952 м³/га или 16,3–25,8% к суммарному количеству воды за вегетационный период культуры. В общем при выращивании сорта Диона было проведено 10 вегетационных поливов оросительной нормой 3610 м³/га, соответственно, сорта Аратта – 12 поливов оросительной нормой 4220 м³/га. В целом за вегетационный период суммарное водопотребление сорта сои Диона с 0-70 см слоя почвы достигало 5102 м³ / га, соответственно, сорта Аратта – 5832 м³/га.

Ключевые слова: соя, семена, инокуляция, клубеньковые бактерии, эндофиты, урожайность, содержание белка, содержание жира.

S.P. Goloborodko, G.A. Iutynskaya, L.V. Tytova, O.D. Dubinska
Productivity of soybean varieties in the inoculation of seeds by nodules and endophytic bacteria in the conditions of irrigation of South of Ukraine

Abstract. The article presents the results of studies to establish the productivity of soybean varieties of different maturity, depending on the complex inoculation of seeds with nodule and endophytic bacteria. It is proved that upon inoculation of soybean seeds, in comparison with control variants, the total number of beans on plants, increases significantly, as well as seeds in one bean. This contributes to higher yields of seeds of ultra-ripe variety Dion by 0,85–0,87 t/ha and medium early Aratta varieties – by 0,47–0,48 t/ha. The use of inoculation of soybean seeds with nodule and endophytic bacteria in combination with other agrotechnical measures can reduce the chemical load on soils, which contributes to a significant improvement in the quality of the grown products. The maximum yield of protein and fat was obtained by seed inoculation with Rizobin^k + *Bacillus sp.4*, which reached 1222 kg/ha and 560 kg/ha during cultivation of the Dion variety, and 1080 kg/ha and 512 kg/ha, respectively, of the Aratta variety. The total water consumption of soybean varieties of different maturity in the critical interphase period “initial blossom and bean formation” increased significantly, due to the intensive growth of the vegetative mass of plants, which reached 1024 m³/ha in the ultra-ripe variety Diona and 1511 m³/ ha in the early Aratta variety. In the interphase period “bean formation – bean ripening”, the total water consumption during the cultivation of the Dion soybean variety did not exceed 1318 m³/ ha and the Aratta variety 952 m³/ ha, or 16,3-25,8% of the total amount of water during the growing season of the crops. In general, during the cultivation of the Dion variety, 10 vegetative irrigations with the rate of 3610 m³/ha were carried out, respectively, of the Aratta variety, 12 vegetative irrigations with the rate of 4220 m³/ha were carried out. In general, during the growing season, the total water consumption of the Dion soybean variety from 0-70 cm of the soil layer reached 5102 m³/ha, respectively, of the Aratta variety – 5832 m³/ha.

Key words: soy, seeds, inoculation, nodule bacteria, endophytes, productivity, protein content, fat content.

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202001-224>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/224>

UDC 631.431.7

SOIL COMPACTION ASSESSMENT AS A MANIPULATIVE STRATEGY TO IMPROVE SOIL BIODIVERSITY: AN APPROACH FOR MEETING SDG TWO AND SIX

V.O. Chude¹, E.E. Oku², G.I.C. Nwaka³, M.S. Adiaha⁴

¹ Registrar/CEO (Researcher/Scientist), Nigeria Institute of Soil Science (NISS);
<https://orcid.org/0000-0002-9562-3571>, e-mail: ychude@yahoo.co.uk,

² Researcher/Scientist, Department of Soil Science, University of Abuja;
<https://orcid.org/0000-0002-5043-6457>; e-mail: eessienoku@gmail.com;

³ Researcher/Scientist, Department of Soil Science, University of Abuja;
<https://orcid.org/0000-0002-2293-4213>;

⁴ Researcher/Scientist, Department of Planning, Research, Extension & Statistics (PRES), NISS;
<https://orcid.org/0000-0002-2645-3687>; e-mail: mondaysadiaha@gmail.com

Abstract. *The rapid increase in soil deterioration has been a drawback to global development, acting like a barrier to sustainability of Agriculture and the environment. Biodiversity in soil plays a crucial role in ecosystem sustainability, but yet there exist a rapid deterioration in soil biodiversity especially due to increase soil toxins, chemical spills, wind erosion including the rapid down-pour by rainfall which destroys soil structure and degrade soil biota. Soil compaction reduction manipulation through tillage and application of fertilizer plays a major role for food production, apart from being a part of environmental sustainability strategy. Field studies was conducted, where the status of soil compaction was examined, a replicate of four (4) soil sample were collected at a twenty (20) points sampling station using the proportionate stratified random sampling technique. Laboratory analysis output indicated high soil compaction. Laboratory analysis output was ranked with FAO standardize rate for compaction effect on soil biodiversity. Result of the finding indicated high soil compaction with bulk density value range of $1,56 \text{ gcm}^{-3}$ – $2,71 \text{ gcm}^{-3}$ which was found to be too compact for sustainable soil biota development. And porosity value range of 1% – 41% was obtained, which indicated tight soil spore that can impeded soil biodiversity. Correlation analysis (R^2) revealed a positive correlation between topography and soil compacting, with a ranking output of the soil been poor in biodiversity (biota load). Outcome of this investigation concluded that proper tillage, application of fertilizer including organic matter be carried out for the study area soils and soils of its environs.*

Key word: biodiversity, soil sustainability, soil compaction, global development, SDG.

1. Introduction

Humankind has suffered many hazard cause by nature and anthropogenic elements. Among soils many disturbances affecting global development is the compaction of soils and its current and anticipated effect on soil biodiversity. Building upon this, one can quickly say soil biota plays a crucial role in the ecosystem regulation and balance. The sealing and compaction of the topsoil plays a detrimental role in the sustainability of the environment and for sustainable crop production.

Soil physical properties plays a crucial role in the regulation of the eco-system and soil biodiversity including climatic regulation (Hillel, 2004; Oku *et al.*, 2010; Adiaha *et al.*, 2020). Bulk density presents the ability of the soil being able to allow plant root penetration for nutrients and water absorption. Porosity presents the status of the space between the different soils layers as it appear in the peds. These two physical properties

of the soil presents the status of the soil in regards to its ability for plant root penetration, growth and development, soil biodiversity, sustainability and water the soil ability for water regulation, aquifer recharge, soil infiltration including the engineering utilization of the soil.

Understanding the distribution and properties of soils is necessary to planning and implementing sustainable land use and/or rehabilitation of degraded lands (Ali *et al.*, 2010). Knowledge about the properties of soils can be generated directly through field observation, though soil properties are extremely variable in space and time (Korres *et al.*, 2013). A better mechanism for predicting adequate and yet reproducible soil information is by using proxy lands' biophysical and climatic characteristics that have established strong relationships with soil properties (Fantaw *et al.*, 2006; Moore *et al.*, 1993). Several studies have been conducted to determine dominant controlling factors of soil properties on the land-

scape (Brubaker *et al.*, 1993; Fantaw *et al.*, 2006; Miller *et al.*, 1988; Mulugeta and Sheleme, 2010; Sheleme, 2011; Wang *et al.*, 2001). For instance, Wang *et al.* (2001) regarded topography as the dominant factor influencing soil property variation due to its influence on runoff, drainage, soil biodiversity, microclimate and soil erosion, and consequently on soil formation under a hill slope in semi-arid small catchment of the loess plateau of China. Similarly, Mulugeta and Sheleme (2010) recounted that most of the important soil quality indicators were affected by different landscape positions, particularly at the surface horizons. Significant variation in soil properties with respect to aspect and vegetation communities were also noticed by Fantaw *et al.* (2006) in the highlands of southeastern Ethiopia. Moreover, many soil properties including particle-size distribution, bulk density, soil biota, pH and organic matter content vary with slope position (e.g., Miller *et al.*, 1988; Mulugeta and Sheleme, 2010; Sheleme, 2011; Wang *et al.*, 2001). A common denominator of all these studies is a demonstrated strong relationship among topographic positions, soil properties and vegetation composition, such that the distribution of a particular soil property may vary with topographic attributes, soil biota population and vegetation types. Understanding the dynamics and distribution of the soil characteristics as influenced by landscape or topographic features is critical for assessing the effect of future land use changes on soil use and management (Kosmas *et al.*, 2000).

Soil biodiversity reflects the variability among living organisms including a myriad of soil micro-organisms (FAO, 2000), such micro-organisms (bacteria, fungi, protozoa including nematodes) and meso-fauna (e.g. acari and springtails), as well as the more familiar macro-fauna (earthworms and termites). Plant roots can also be considered as soil organisms in view of their symbiotic relationships and interactions with other soil components (FAO, 2000). These diverse organisms interact with one another and with the various plants and animals in the ecosystem forming a complex web of biological activity (FAO, 2000; Adiaha, 2016 b). Ecological functions and soil biodiversity are important because of their role in: structure formation, stability of structure and functions, fertility, buffering and in providing possibilities to have the soil acting as a carbon sink (Breure, 2004).

Soil organisms contribute a wide range of essential services to the sustainable function of all ecosystems (Penn State Extension, PSE, 2003; FAO, 2000). They act as the primary driving agents of nutrient cycling, regulating the

dynamics of soil organic matter (FAO, 2000), soil carbon sequestration and greenhouse gas emission, modifying soil physical structure and water regimes, enhancing the amount and efficiency of nutrient acquisition by the vegetation and enhancing plant health (FAO, 2000; PSE, 2003). These services are not only essential to the functioning of natural ecosystems but constitute an important resource for the sustainable management of agricultural systems.

Soil organisms act as the primary driving agents of nutrient cycling, regulating the dynamics of soil organic matter, soil carbon sequestration and greenhouse gas emission, modifying soil physical structure and water regimes, enhancing the amount and efficiency of nutrient acquisition by the vegetation and enhancing plant health (FAO, 2000). The air we breathe, the water we drink and the food we eat all rely on biodiversity. It is fundamental we produce food in a way that preserves the environment. That is why safeguarding natural resources and biodiversity is critical to human-livestock health and planetary wealth (FAO, 2000, FAO, 2006; Barros, 1999; Hågvar, 1994; McNeely *et al.*, 1995). Sustainable agriculture is the answer to reverse trends that lead to biodiversity loss. Soil biodiversity and soil health can be seen as one measure of environmental quality, because the functioning of the soil system may be the key to understanding the health of agroecosystems.

The invasion and degradation of pastures due to biologically created soil compaction results in negative feedbacks to climate change in methane emission. Deforested area converted into pasture are usually degraded due to mismanagement, phytosanitary problems, poor soil fertility and soil structural modification (linked to soil macro-invertebrate activity including). When the forest is converted to pasture, the use of heavy machinery and, later, cattle trampling lead to severe soil compaction, particularly in the 5–10 cm layer, impeding root development and hydrological processes in the soil (Barros, 1999; Hågvar, 1994; McNeely *et al.*, 1995). In most deforested lands and land converted to other uses not fully utilized, the native soil macro-invertebrate communities are radically and drastically depleted, i.e. most of the native taxa (morphospecies) disappear. An opportunistic invading earthworm (*Pontoscolex corethrurus* (Müller); *Glossoscolecidae*) benefits from anthropic disturbances and occupies the empty niche left by native earthworms and soil macrofauna, increasing its biomass to more than 450 kg/ha equivalent to nearly 90 percent of total soil macro-invertebrate biomass (Juan, 1999). When *P. corethrurus* is present in the forest

there is no negative effect on the native species communities, which have similar or higher densities in the presence of *P. corethrus*. (Juan, 1999) suggests that this invasive species, unlike native species, is able to feed and develop in environments where litter resources are decreased.

Juan (1999) showed that *P. corethrus* can produce more than 100 t/ha of castings, dramatically decreasing soil macroporosity down to a level equivalent to that produced by the action of heavy machinery on soil (2.7 cm³/100 g), whereby during the rainy season these casts plug up the soil surface, saturating the soil and producing a thick muddy layer, where anaerobic conditions prevail (increasing methane emission and denitrification). In the dry season, desiccation cracks the surface and the inability of roots to extract water from the soil causes plants to wilt and die, leaving bare patches in the field. The report of (Juan, 1999; FAO, 2000, FAO, 2006; Barros, 1999; Hågvar, 1994; McNeely *et al.*, 1995) have presenting a view that some soil invertebrate species may bring catastrophic

consequences to soil ecosystem functioning by increasing greenhouse gas emissions from soils and increasing soil compaction, apart from being a blessing to soil fertility and increase crop production.

Soil compaction has been reported by Radford *et al* (2001) to have impaired soil biodiversity population, Radford *et al* (2001) data presented by Radford *et al.*, (2001) including FAO (2006) indicated a view that with increase in soil compaction due to certain phenomena that gears soil compaction, soil diversity could be heavily depleted, which could stand like a hindrance to soil fertility and sustainability.

Further report by USDA (1999) indicated that high bulk density is one of the major factors gearing depletion of soil biodiversity. The study of USDA (1999) further stated statistical value (Table 2) at which bulk density becomes too compact that inhibit root penetration, which also gives a view that at this point the soil biodiversity population impaired and almost completely depleted.

1. Ideal and root-restricting bulk densities with biodiversity impact.

Soil Texture	Ideal bulk density (g/cm)	Bulk density restricts root growth (g/cm)	Impact on Soil Biodiversity
Sand, loamy sand	< 1.60	> 1.80	Impaired soil biota (biodiversity) population growth, compacted soil
Sandy loam, loam	< 1.40	> 1.80	Impaired soil biota (biodiversity) population growth, compacted soil
Sandy clay loam, clay loam	< 1.40	> 1.75	Impaired soil biota (biodiversity) population growth, compacted soil
Silt, silt loam	< 1.30	> 1.75	Impaired soil biota (biodiversity) population growth, compacted soil
Silty clay loam	< 1.40	> 1.65	Impaired soil biota (biodiversity) population growth, compacted soil
Sandy clay, silty clay	< 1.10	> 1.58	Impaired soil biota (biodiversity) population growth, compacted soil
Clay	< 1.10	> 1.47	Impaired soil biota (biodiversity) population growth, compacted soil

Source: USDA. (1999); FAO (2006)

2.General Porosity Ranking

Soil porosity status indicator	Rating (%)
Soil very compact	<5%
Soil compact	5–10%
Soil moderately porous	10–25%
Soil highly porous	25–40%
Soil extremely porous	>40%

Source: (Pagliai, 1988)

Slope gradient is a key factor in influencing the relative stability of a slope including soil biota (USDA, 1999). It determines the degree

to which gravity acts upon a soil mass. Slopes are often irregular and complex, with gradients varying greatly throughout a given shoreline profile (Greenbelt Consulting, 2014). The Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO, 2006) presented a ranking for slope gradient, as shown in Table 3.

Against the huge impact of soil compaction on soil sustainability, the present study seeks to:

1. Assess soil compaction interaction with topography
2. Assess soil compaction interaction with soil biodiversity

3. Slope gradient Class and Rating

Class	Description (Rating)	%
01	Flat	0–0.2
02	Level	0.2–0.5
03	Nearly Level	0.5–1.0
04	Very gently slopping	1.0–2.0
05	Gently sloping	2–5
06	Sloping	5–10
07	Strongly sloping	10–15
08	Moderately steep	15–30
09	Steep	30–60
10	Very steep	> 60

Source: FAO (2006)

2.0 Materials and methods

2.1 Geography of the Study Area

University of Abuja landmass falls within Gwagwalada. Gwagwalada is a suburb of the Federal Capital Territory, Nigeria. It is situated along Abuja-Lokoja road at about 55 kilometers away from Federal Capital Territory main town. The area lies between latitudes 8°55' N – 9°00' N and longitudes 7°00' E – 7°04' E (Ishaya, 2013). The area is bordered by Kuje area council to the East, Abaji area council to the West, Kwali area council to the south and Abuja Municipal Area Council to the Northeast and to the North by Suleja Local Government Area of Niger State (Balogun, 2001).

Soils of the Area

The soils of the area is referred to as “hardpan soils” with crystalline lattice nature (in terms of minerals) (Balogun, 2001)

Temperature of the Area

Gwagwalada has recorded a mean maximum monthly temperature ranges between 28°C – 30°C and the mean minimum monthly temperature ranges between 25°C – 27°C (Balogun, 2001)

2.2 Sampling Techniques

The proportionate stratified random sampling technique was used to delineate the point where soil sampling was carried out.

2.3 Soil compaction Influence on Biodiversity Ranking

Soil compaction indicators was ranked with the standardized estimates presented by FOA (2006) and USDA. (1999) to obtain the impact of soil compaction on soil biodiversity.

2.4 Reconnaissance survey

Reconnaissance survey was carried out, where sampling points were delineated using the proportionate stratified random sampling. A

mapping unit was obtained from were interpolation was done using GIS to cover for the whole of University of Abuja terrain. This was done at a scale of 1:20000.

2.5 Global Positioning System (GPS) / Geographic Information System (GIS) Modelling

Area covered by the study was geo-referenced using Global Positioning System (GPS) hand device and further processed using Quantum Geographic Information System (GIS), where base map for the study area landmass and study frame was developed

Soil Biodiversity Studies

Soil samples collected at all the 20 points of experiment was viewed in a micro-morphological microscope and hand lens to examine the population of soil biota. This was done at moist condition of the soil.

2.6 Soil sampling: A replicate of four (4) soil sample were collected at a twenty (20) points sampling station using the proportionate stratified random sampling technique. Sampling was done using soil core at a depth of 0–30 cm. Soil samples were oven dried and used for the determination of bulk density and porosity.

2.7 Laboratory Analysis

• Bulk density Determination

Bulk density (Bd) of the soil was determined following the core method as described by Grossman and Reinsch (2002), using the equation:

$$\text{Bulk Density}(Bd) = \frac{\text{Mass of oven dry soil}(g)}{\text{Volume of soil}(cm)} \quad 1.1$$

• **Total Porosity** was calculated from result of bulk density using equation 1.1 From the bulk density value obtained, the Porosity of the

soil was determined following Gee and Bauder (1986) procedure, using the equation:

$$\text{Total Porosity}(TP) = \left[1 - \frac{Bd}{Pd} \times 100 \right], \quad 2.1$$

where Pd = particle density (2.65 g/cm^3). Value used for particle density was a standardized value presented by Oku *et al.*, (2010) for tropical soils, and soils of Abuja
 Bd = Bulk density.
 100 = Constant

2.8 Statistical Analysis

The correlation statistics was used to assess the relationship between soil compaction and topography, with its implication on biodiversity. The coefficient of determination (R^2) was utilized to find the statistical relationship. Percentage analysis was utilized to find the percentage influence of the interaction among variables.

3.0 Results and discussion

3.1 Topographic and soil compaction indicators Assessment for soil diversity impact

Result of data analysis presented Table 5 indicated that at a slope gradient of 2.84% (Site 1) the soil compaction indicator using the bulk density was observed at 2.1 gcm^{-1} which indicated that the soil has serious limitation to enhance the population of microbial in the soils, presenting a view that such soil needs ecological including agronomic remedy to function well for crop production and ecological balance. At Site 2, a topographic potential (slope gradient) was obtained at 2.64% with bulk density value of 2.0 gcm^{-1} which presents the soil as been compact, and as a hindrance to microbial development within its layers. A topographic slope gradient of 2.61% was obtained for Site 3, with a bulk density value of 2.9 gcm^{-1} , presenting a view that the soil is compact, hence having the potential of reducing soil microbial population and adversely affecting soil biodiversity. A topographic percentage value of 2.6 was obtained for Site 5, with a bulk density value of 1.63 gcm^{-1} which indicated a view that the soil is compact with an impact of impairing soil biodiversity, increase methane greenhouse gas emission, with anticipated long term effect on soil hardening, swollen and contraction. At Site 6 a topographic influence of 2.52% was obtained, this followed a bulk density value of 2.27 gcm^{-1} was found to be too compact for productive multiplication of soil biota. Site 7 recorded a soil compaction value at 2.41 gcm^{-1} with a topographic gradient of 2.69% which indicated a view the point of sampling is a gentle slope position according to the ranking of

FAO (2006). Result of data analysis presented in Table 3 indicated a view that Site 8 has a sloping class of (05) which is a gentle slope, while producing a value at 2.75%. It was observed that Site 8 has a bulk density value of 2.19 gcm^{-1} which was ranked to be too toxic for soil biodiversity development. Site 9 was found to have a slope gradients value of 2.78% which presented the point as a gentle slope, with a slope class of (Class = 05). Bulk density of the site was found to be 2.07 which presented the site has been to compact for soil biodiversity development. Site 10 recorded a topographic value at 2.89% which indicated the site as been classified under the gentle slope class (Class = 05). The bulk density at Site 10 recorded a value at 2.5 gcm^{-1} which was found to be too toxic for soil biota and biodiversity functionality. Site 11 recorded a slope class at (2.93% which falls under the Class = 05) which was ranked to be a gentle slope, with a soil compaction indicator of 1.73 gcm^{-3} , presenting a view that the soils are toxic and has an impediment for root penetration and soil biodiversity development. Research data analysis outcome presented a view that Site 12 is a gentle sloping terrain with a topographic value of 2.83% which was ranked to be under the Class 05 sloping type. The soil compaction status (bulk density = 2.19 gcm^{-3}) at

Site indicated a view that the soil is compact with a hindering potential for soil biota development. It was observed that Site 13 produced a topographic position at a value of 2.75%, which was ranked to gentle slope with a slope class of (C = 05), indicating a view that the area is prone to environmental influence with associated soil compaction problems due to increase variability in the climate. This view meets-up with the laboratory analysis outcome which presented the soil as been compact, hence has a strong potential in hindering soil biodiversity. However, a soil compaction indicator using the bulk density revealed a value of 2.67 gcm^{-1} which was found to be too toxic for soil biodiversity development. A topographic potential at 2.82% was observed for Site 14, which presented the site as been a gentle slope, with a slope class (C = 05). The soil compaction status of the site was found to 2.45 gcm^{-1} which was ranked to be a limiting point for root penetration including soil biodiversity development. A statistical value of 2.88% was recorded as the topographic potential at Site 15, indicating that the area is a gentle slope, which fall under the slope class of (C = 05), presenting a view that the area is vulnerable to wind erosion including other common natural and anthropogenic hazards that affect flat terrain. The soil compac-

tion status of this site (Site 15) was found to be 1.56 gcm^{-1} which indicated the soil is very compact, and hence can immensely impaired soil biodiversity development. Similar trend was observed for Site 16 which recorded a topographic position at 2.84%, with implication of the site been a gentle slope and falling under the slope class of $C = 05$. However, soil bulk density value of 2.18 gcm^{-1} was obtained for Site 16, with an indication of the Site been compact, and hindering soil biota development. Site 17 recorded a value of 2.72% for the topographic influence, this result presented the site as been a gentle slope, with slope class of ($C = 05$) indicating a view that the area is prone to environmental disturbances. The soil compaction status at this site was found to be 2.71 gcm^{-1} , which indicated view that the site has a strong soil compaction problem which can adversely hinder soil biodiversity development. Result outcome presented Site 18 as been a gentle slope, with associate slope class of (2.77%, which is $C = 05$), indicating a view that the area is prone to water

and wind erosion. Result output further indicated the soils at Site 18 to be compact for root penetration, and soil biota development, presenting a soil compaction indicator (bulk density to be 2.31 gcm^{-1}). It was observed that Site 19 produced a slope gradient value of 2.72%, with the implication that the site is a gentle slope, with a 05 classification. The soil compaction indicator (bulk density = 2.34 gcm^{-1} , at this site indicated that the soils are too toxic in compacting status and can greatly hinder soil biodiversity development. Result of data analysis observed for Site 20 indicated that the soils are too toxic in terms of compaction for root penetration including soil biodiversity development, while presenting a bulk density value of 2.29 gcm^{-1} . The soil topographic potential was found to be 2.52%, which indicated that the area is a gentle slope, with a slope class of ($C = 0.5$) using the FAO (2006) ranking.

Result obtained for this research outcome agrees with the finding of FAO (2006), where her research outcome indicated gentle to undu-

5. Topographic and soil compaction indicators: A measure for soil diversity Assessment

Location code	*Topographic Elevation (m)	Slope gradient (%)	*Bulk density (gcm^{-1})	* Porosity (%)
1	284	2.84	2.1	21
2	264	2.64	2	25
3	261	2.61	2.19	17
4	260	2.6	1.64	38
5	256	2.56	1.63	38
6	252	2.52	2.27	14
7	269	2.69	2.41	9
8	275	2.75	2.19	18
9	278	2.78	2.07	22
10	289	2.89	2.5	15
11	293	2.93	1.73	35
12	283	2.83	2.19	17
13	275	2.75	2.67	1
14	282	2.82	2.45	7
15	288	2.88	1.56	41
16	284	2.84	2.18	18
17	272	2.72	2.71	2
18	277	2.77	2.31	13
19	272	2.72	2.34	12
20	252	2.52	2.29	14
X	273.30	2.73	2.17	18.85
STD	12.11	0.12	0.32	11.24
CV (%)	4	4	15	60
SE	2.71	0.03	0.07	2.51

*Data was obtain from Department of Soil Science Postgraduate Thesis Research Data Reserve, University of Abuja
X = mean, SD = Standard deviation, CV = coefficient of variability, SE = Standard error

lating slope in sub-Saharan Africa. Findings of this study confirms the research outcome of Oku *et al.* (2010) where the authors reported soil compaction been a hindrance to physical phase suitability. Report of Hillel (2004) further validates the outcome of this research, where the author reported topography been an influence on soil formation and sustainability including soil biodiversity.

3.2 Correlation between topography and soil compaction (Bulk density)

Data analysis output presented in Figure 1 and Table 6 indicated a view that there exist a positive correlation between topography and soil compaction, as field data output indicated a R^2 value of (0.0568) for topographic influence and ($R^2 = 0.1345$) for bulk density influence. It was observed that percentage interaction influence of (5.68%) was observed for topography and (13.45%) obtained for bulk density as a soil compaction indicator. It could be stated that following the percentage analysis output soil compaction influence has a greater influence on topography. Result of this analysis

agrees with the findings of FAO (2006) which stated soil compaction been a hindrance to soil physical and chemical sustainability, and also playing a curtail factor in a topographic influence of an area.

3.3 Correlation between topography and soil compaction (Porosity)

Result presented in Figure 2 and Table 7 indicated a view that there exist a positive correlation between topography and soil porosity (compaction indicator), as correlation analysis result indicated a R^2 value of (0.0568) for topographic influence and ($R^2 = 0.135$) for soil porosity influence. Percentage interaction influence of (5.68%) was obtained for topography and (13.45%) obtained for porosity as a soil compaction indicator. Following percentage analysis result, soil compaction (porosity) has a greater influence on topography. Result of this analysis agrees with the findings of FAO (2006) which indicated soil compaction acting like a hindrance to soil biological functionality, while playing a curtail role in topographic and environmental interaction

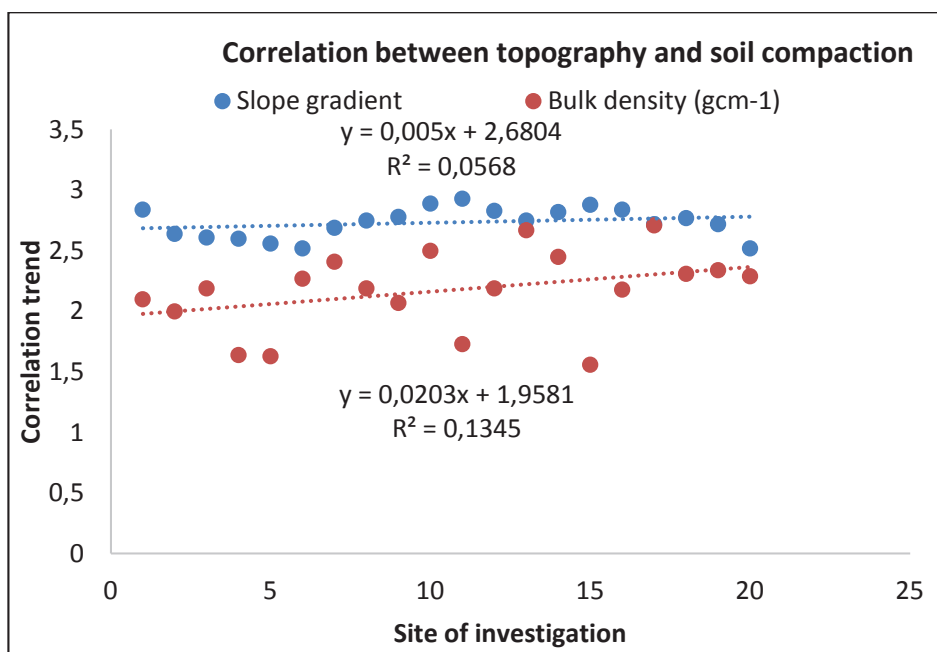


Fig. 1. Correlation between topography and soil compaction

6. Influence of Topography and soil Bulk density as a soil compaction indicator

Topography			Bd (Soil Compaction Indicator)		
Coefficient of Determination	r	% Influence	Coefficient of Determination	r	% Influence
0.0568	0.24	5.68	0.1345	0.37	13.45

r = Correlation

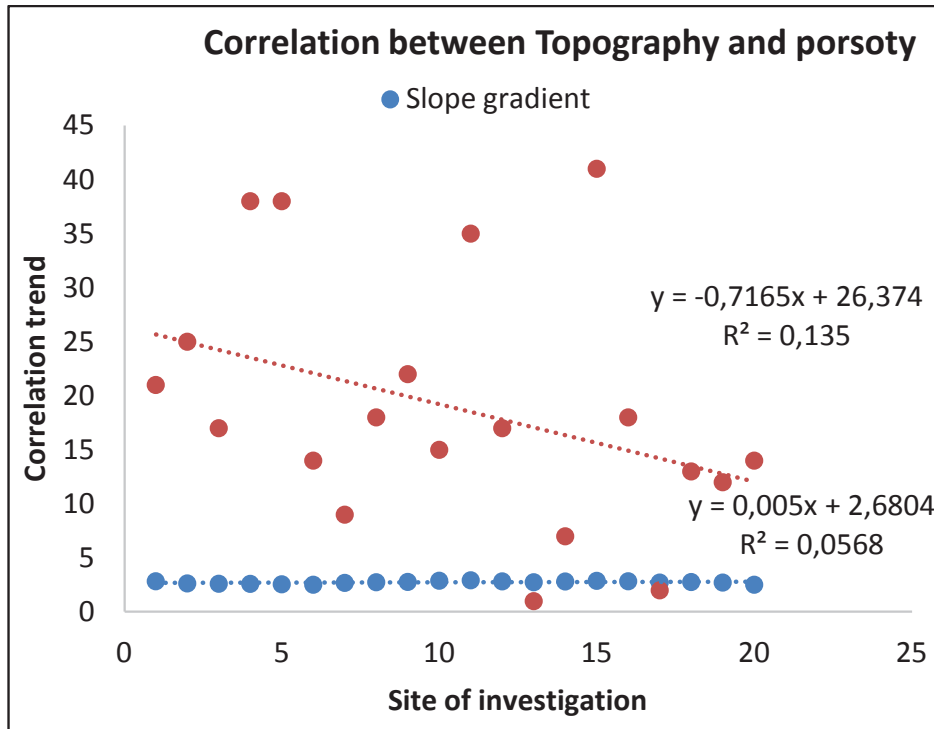


Fig. 2. Correlation between topography and soil compaction (Porosity)

7. Influence of Topography and soil porosity as a soil compaction indicator

Coefficient of Determination	Topography		Porosity (Soil Compaction Indicator)		
	r	% Influence	Coefficient of Determination	r	% Influence
0.0568	0.24	5.68	0.135	0.37	13.5

r = Correlation

3.4 Influence of Soil Compaction on Soil Biodiversity

Outcome of data analysis presented in Table 8, indicated a view that soil compaction adversely impaired soil biodiversity development. Following the standardized porosity ranking by Pagliai (1988), Site 1 soils (*porosity* = 21%) was found to be moderately porous, with an implication of impaired soil biota population growth, which is an hindrance to productive crop production. A porosity value of 25% was obtained for Site 2, this site soil was ranked to be a moderately porous soil with implication of been an hindrance to soil biodiversity development. A porosity value of 17% was found to be associated with soils of Site 3, which also presented the soil as been moderately porous with an ability of impaired soil biota population growth. At Site 4. A porosity value of 17% presented the soil to be moderately porous, with an ability to adversely impaired soil biodiversity. Site 4 and Site 5 soils recorded a porosity value 38% which indicated the soil as been highly porous with implication

of bee fair in biodiversity development, but still possess characteristics that could inhibit soil biodiversity development. At Site 6 a porosity value of 14% was obtained which indicated the soil as been moderately porous with soil biodiversity limiting tendency. At

Site 7 a 9% porosity value was obtained, were it was ranked to be a compacted soil that strongly impaired soil biota population growth. Site 8 recoded a porosity value of 18%, a soil compaction ranking revealed that the soils at this site is moderately porous, still with a limiting ability for soil biodiversity development. Porosity value of 22% was obtained for Site 9, which presented a view that the site has a moderately porous soil, with a limiting tendency for soil biota development. Result of soil porosity analysis indicated that Site 10 soils are moderately porous, which was obtained at a value of 15%. The implication of this view hold that the soils are hindrance to soil biodiversity development due to the compacted nature of the soils. A porosity value of 35% was obtained for Site 11 soils, this value

obtained indicated a view that soils of the site are highly porous, and has a compaction problem, with associated biodiversity limiting factor. At Site 12, the soils were ranked to be moderately compact (*porosity* = 17%), with soil biota inhibiting factor due to the associated compacted status of its bulk density in the site. The soils at Site 13 were found to be very compact, and been a very poor soil in regards to soil biodiversity support and sustainable crop production. At Site 14 a porosity value of 7% was obtained, which revealed that the soil is a compacted soil with implication of been a hindrance to soil biodiversity development, environmental sustainability and crop production. A value at (*porosity* = 41%) was obtained at Site 15, which indicated that the soil is extremely porous revealed that the soil can to some extent support microbial development, but the compaction indices using bulk density gave a deep in-look where the soils of this site was found to be compact, and having characteristics that can inhibit the growth and development of soil biota. A porosity value of

18% was obtained for Site 16, which indicated that the soil is moderately porous, this indication presents a view that the soil could at least support microbial development, but it could be stated here that since an advance view into the level of compaction using the soil bulk density revealed that the soil is compact, then a valid statement that the soil has limiting characteristics for soil biodiversity development could be made. Soils at Site 17 was found to be extremely compact, with a porosity value of 2% been obtained, the implication of this finding is that the soils of this site could be a hindrance to sustainable food production, environmental sustainability, including soil diversity development. Porosity value at (*Porosity* = 13% for Site 18, *Porosity* = 12% for Site 19 and *Porosity* = 14% for Site 20) was obtained, the range of this output indicated that the soils in these sites are moderately porous. Although a moderately porous soil can support certain threshold of soil microbial population and biodiversity, but it was found that since the bulk density of these soils indicated that the soils were

8. Influence of Soil Compaction on Soil Biodiversity

Location code	*Porosity (%)	*Bulk density (gcm ⁻³)	Impact on Soil Biodiversity
1	21	2.1	Impaired soil biota (biodiversity) population growth, compacted soil
2	25	2	Impaired soil biota (biodiversity) population growth, compacted soil
3	17	2.19	Impaired soil biota (biodiversity) population growth, compacted soil
4	38	1.64	Impaired soil biota (biodiversity) population growth, compacted soil
5	38	1.63	Impaired soil biota (biodiversity) population growth, compacted soil
6	14	2.27	Impaired soil biota (biodiversity) population growth, compacted soil
7	9	2.41	Impaired soil biota (biodiversity) population growth, compacted soil
8	18	2.19	Impaired soil biota (biodiversity) population growth, compacted soil
9	22	2.07	Impaired soil biota (biodiversity) population growth, compacted soil
10	15	2.5	Impaired soil biota (biodiversity) population growth, compacted soil
11	35	1.73	Impaired soil biota (biodiversity) population growth, compacted soil
12	17	2.19	Impaired soil biota (biodiversity) population growth, compacted soil
13	1	2.67	Impaired soil biota (biodiversity) population growth, compacted soil
14	7	2.45	Impaired soil biota (biodiversity) population growth, compacted soil
15	41	1.56	Impaired soil biota (biodiversity) population growth, compacted soil
16	18	2.18	Impaired soil biota (biodiversity) population growth, compacted soil
17	2	2.71	Impaired soil biota (biodiversity) population growth, compacted soil
18	13	2.31	Impaired soil biota (biodiversity) population growth, compacted soil
19	12	2.34	Impaired soil biota (biodiversity) population growth, compacted soil
20	14	2.29	Impaired soil biota (biodiversity) population growth, compacted soil
X 18.85		2.17	
STD 11.24		0.32	
CV (%) 60		15	
SE 2.51		0.07	

*Data was obtain from Department of Soil Science Postgraduate Thesis Research Data Reserve, University of Abuja
X=mean, SD = Standard deviation, CV = coefficient of variability, SE = Standard error

compact then it could be stated that the soil has a limitation for increase biodiversity population, and for soil sustainable development in relation to agricultural usage and for environmental sustainability. The outcome of this study confirms the work of Pagliai (1988) who presented a view that soil with physical impairment like soil compaction could be an hindrance to soil microbial and soil biodiversity among other agrarian uses of soil. The report of FAO (2006) indicated a view that with the increasing soil compaction soils become weak and vulnerable to biodiversity loss, with a grave impact on agricultural production, and playing a major in global food shortage and insecurity. Findings of this report further confirms the research of USDA (1999) who reported soil biodiversity been greatly hampered in compacted soils. Views of this finding also confirms the research outcome of Juan (1999) who reported

decrease in soil microbes in compacted soils due to limited nutrient, air including moisture that is essential for biodiversity improvement.

Interaction of Soil Compaction on Soil Biodiversity

Data presented in Table 9.0 indicated that soil compaction inhibited the availability of earthworm which was used as a test microbes in the soil sample at the various locations. Although the Crystalline lattice nature of the soil compaction status showed that the area is poor in housing soil biota. But Site 11 and Site 15 presented Earthworm count of one (1). The poor microbial holding capacity of the soil could be linked to the compaction status of the soils. This finding agrees with the work of FAO (2006) which stated soil compaction as a hindrance to soil biodiversity and soil physical sustainability.

9. Interaction of Soil Compaction on Soil Biodiversity

Soil compaction Interaction with Soil Biodiversity (Biota)			
Location	Bulk density	Micro-Morphological Microscope View	Magnifying hand-lens View
Code	(gcm ⁻³)	Earthworm count (length = 1 cm)	Earthworm count (length = 1 cm)
1	2.1	0	0
2	2	0	0
3	2.19	0	0
4	1.64	0	0
5	1.63	0	0
6	2.27	0	0
7	2.41	0	0
8	2.19	0	0
9	2.07	0	0
10	2.5	0	0
11	1.73	1	0
12	2.19	0	0
13	2.67	0	0
14	2.45	0	0
15	1.56	1	0
16	2.18	0	0
17	2.71	0	0
18	2.31	0	0
19	2.34	0	0
20	2.29	0	0
X		0.10	0.00
STD		0.30	0.00
CV (%)		300.00	0.00
SE		0.07	0.00

*Earthworm was used as the basis for assessment of soil biota

X=mean, SD = Standard deviation, CV = coefficient of variability, SE = Standard error

3.5 Digital Terrain Modeling (base map of the study location)

Data analysis output for the geo-referenced data (coordinates of the sites investigated) were modelled using the Quantum Geographic Information System (GIS) is presented in Figure 3, data analysis presents a view that the topography of University of Abuja ranges from gentle slope to undulating slope with some contour points and elevation reaches as high as > 564 m above sea level. Result of this finding confirms the research of FAO (2006) where her report indicated undulating slope points and high elevation in sub-Saharan Africa. The Digital Terrain Modeling presented a view that the University of Abuja landmass fall into different topo-sequence, hence collaborates the research of FCDA (2000) who reported the area been on a different topo-unit among other locations of the Federal Capital of Nigeria.

Conclusions. The outcome of the study revealed that soil compaction negatively affect the population of soil biota, thereby reducing soil biodiversity. The result of the study indicated

that soil biota population reduces, as the impact in soil compaction increases. The coefficient of determination value of 13.5% indicated that the soil is compact which is an indication that root penetration could be hindered. Bulk density value range of 1.56 gcm^{-3} – 2.71 gcm^{-3} was found to be too compact for sustainable soil biota development, while porosity value range of 1% – 41% indicated tight soil spore that can impeded soil biodiversity, and contribute food shortages and food insecurity. Outcome of this investigation concluded that proper tillage, application of fertilizer including organic matter be carried out for the study area soils and soils of its environs for sustainable crop production, and as a strategy for meeting food security.

Acknowledgement. We are grateful to the Department of Soil Science, University of Abuja for providing apparatus and enabling environment for back-up experiment and for providing secondary data used for this study. We also sincerely appreciate the Nigeria Institute of Soil Science (NISS) for providing facilities for internet which aided the compilation of this work

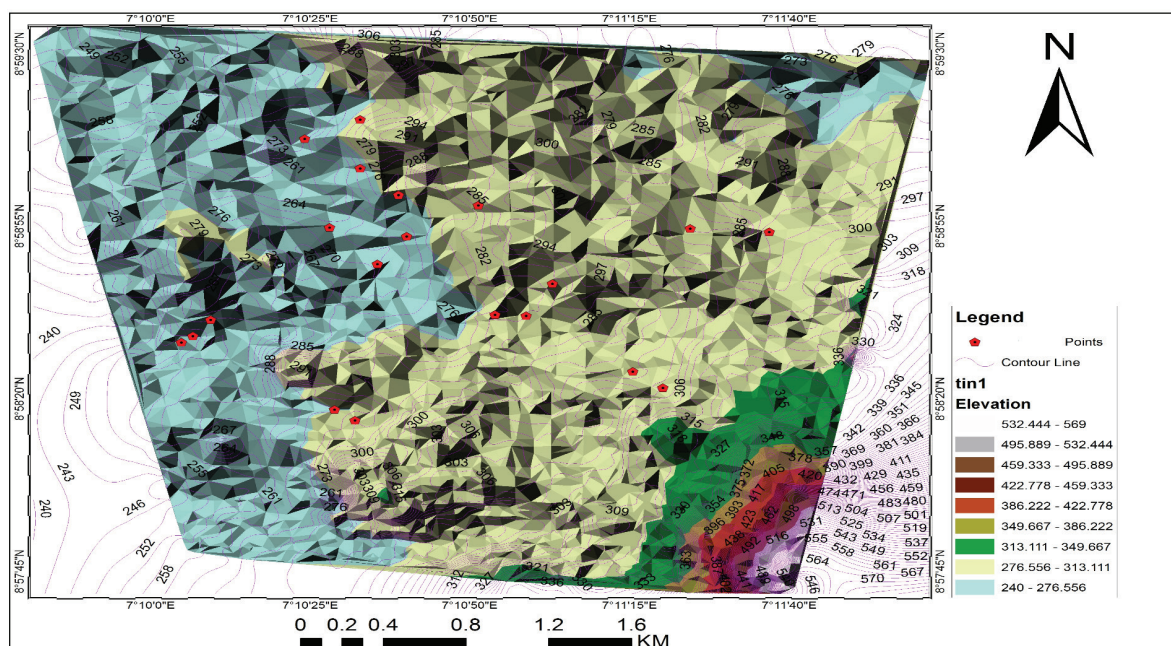


Fig. 3. Digital Terrain Modeling (base map of the study location)

References

1. Adiaha, M.S. (2016). Influence of different soil types and mineral fertilizer on maize (*Zea mays* L.) growth for effective production, soil fertility improvement and food security. *International Scientific Journal: World Scientific News, WSN* 55, 137–167
2. Adiaha, M.S., Buba, A.H., Tangban, E.E., & Okpoho, A.N (2020) Mitigating Global Greenhouse Gas Emission: The Role of Trees as a Clean Mechanism For CO₂ Sequestration, *The Journal of Agricultural Sciences*, 15:1, 101–115. Retrieved from: <http://doi.org/10.4038/jas.v15i1.8675>

3. Balogun, O. (2001). The federal capital territory of Nigeria: Geography of its Development. University of Ibadan. Nigeria: University of Ibadan Press.
4. Barros, M.E. (1999). Effet de la macrofaune sur la structure et les processus physiques du sol de paturages degradés d'Amazonie. Doctorate Thesis. University Paris.
5. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2000). Soil Survey Guide. FAO, Rome.
6. FAO. (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2006). Guideline for soil description. 4th edition. Rome
7. Federal Capital Development Authority, FCDA, (2000). The Geography of Abuja. Retrieved from: <https://www.fcda.gov.ng/index.php/about-fcda/the-geography-of-abuja>.
8. Gee, G.W. and Bauder, J.W. (1986). Particle size analysis. In: Arnold Klute (eds.). Method of Soil Analysis, Part 1-Physical and Mineralogical Methods. SSSA Book Seria 5, Madison, Wisconsin, USA, 383–412.
9. Grossman, R.B. and Reinsch, T.G. (2002). Bulk Density and Linear Extensibility. In: Dane, J.H. and Topp, G.C., Eds., Methods of Soil Analysis: Physical Methods, Part 4, Soil Science Society of America, Madison, 201–228.
10. Hågvær, S. (1994). Log-normal distribution of dominance as an indicator of stressed soil microarthropod communities? Acta Zoologica Fennica, 195, 71–80.
11. Hillel, D., (1982). Introduction to Soil Physics. San Diego, Academic Press.
12. Ishaya, S., (2013). Flood Vulnerability Mapping in Gwagwalada Urban Area, Abuja, Nigeria. Unpublished Master's Thesis, Department of Geography, University of Abuja, Nigeria.
13. Juan J. Jiménez and Patrick M. Lavelle References: Chauvel, A., Grimaldi, M., Barros, E., Blanchart, E., Desjardins, T., Sarrazin, M., and Lavelle, P. (1999). Pasture damage by an Amazonian earthworm. Nature, 398, 32–33.
14. McNeely, J.A., Gadgil, M., Leveque, C., Padoch, C. & Redford, K. (1995). Human influences on biodiversity. In UNEP, ed. Global biodiversity assessment. Cambridge, UK, Cambridge University Press.
15. Oku, E.E., Babalola, O., & Essoka, A.N. (2010). Profile distribution of some physical properties and infiltration behavior along a paleustalfs toposequence in south western Nigeria. Trop. Agric (Trinidad), Vol. 87, No. 1.
16. Pagliai, M. (1988). Soil porosity aspects. Intern. Agrophysics, 4, 215–232.
17. Penn State Extension (2003). Effects of Soil Compaction. Retrieved from: <https://extension.psu.edu/effects-of-soil-compaction>
18. Radford, B.J., A.C. Wilson-Rummenie, G.B. Simpson, K.L. Bell, & M.A. Ferguson. (2001). Compacted soil affects soil macrofauna populations in a semi-arid environment in central Queensland. Soil Biology & Biochemistry, 33:1, 869–872.
19. USDA. (1999). Soil quality test kit guide. USDA Soil Quality Institute. Washington, D.C.
20. Breure, A.M. (2004) Soil Biodiversity: Measurements, Indicators, Threats and Soil Functions. Paper presented at the I International Conference Soil and Compost Eco-Biology September 15th – 17th 2004, León – Spain
21. Greenbelt Consulting (2014). Environmental Management, Assessment, Mitigation, Restoration, Education & Outreach <http://www.greenbeltconsulting.com/articles/relationships.html> (Retrieved, 29/3/2020)
22. Ali, Ashenafi, Esayas, Abayneh, Beyene, Sheleme, (2010). Characterizing soils of DelboWegen watershed, Wolaita Zone, southern Ethiopia, for planning appropriate land management. J. Soil Sci. Environ. Manage. 1 (8), 184–189.
23. Korres, W., Reichenau, T.G., Schneider, K., (2013). Patterns and scaling properties of surface soil moisture in agricultural landscape: an ecohydrological modeling study. J. Hydrol. 489, 89–102.
24. Fantaw, Yimer, Ledin, S., Abdelkadir, A., (2006). Soil property variations in relation to topographic aspect and vegetation community in south-eastern highlands of Ethiopia. For. Ecol. Manag. 232, 90–99.
25. Moore, I.D., Gessler, P.E., Nielsen, G.A., Peterson, G.A., (1993). Soil attributes prediction using terrain analysis. Soil Sci. Soc. Am. J. 57, 443–452.
26. Brubaker, S.C., Jones, A.J., Lewis, D.T., Frank, K., (1993). Soil properties associated with landscape positions. Soil Sci. Soc. Am. J. 57, 235–239.
27. Miller, P.M., Singer, M.J., Nielsen, D.R., (1988). Spatial variability of wheat yield and soil properties on complex hills. Soil Sci. Soc. Am. J. 52, 1133–1141.

28. Mulugeta, Demis, Sheleme, Beyene, (2010). Characterization and classification of soils along toposequence in Kindo Koyewatershed in southern Ethiopia. East Afr. J. Sci. 4 (2), 65–77.

29. Sheleme, Beyene, (2011). Soil characterization along toposequence in Gununo area, southern Ethiopia. J. Sci. Dev. 1 (1), 31–39.

30. Wang, J., Fu, B., Qiu, Y., Chen, L., (2001). Soil nutrients in relation to land use and landscape position in semi-arid small catchment of the loess plateau in China. J. Arid Environ. 48, 537–550.

31. Kosmas, C., Gerontidis, S., Marathianou, M., (2000). The effect of land use change on soils and vegetation over various lithological formations on Lesvos (Greece). Catena 40, 51–68.

В.О. Чуде, Е.Е. Оку, Г.І.С. Нвака, М.С. Адіаха

Оцінка ущільнення ґрунтів як маніпулятивна стратегія для покращення їх біорізноманіття: підхід до виконання Цілей Сталого Розвитку (SDG) два та шість

Анотація Швидке зростання погіршення стану ґрунту стало негативним наслідком глобального розвитку, виступаючи перешкодою для сталого розвитку сільського господарства та довкілля. Біорізноманіття ґрунтів відіграє вирішальну роль у стійкості екосистем, але все ж спостерігається його швидке погіршення, особливо через збільшення токсичного та хімічного забруднення ґрунтів, вітрової ерозії, включаючи сильні зливи, що руйнує структуру ґрунту та погіршує ґрунтову біоту. Дії, які сприяють зменшенню ущільнення ґрунтів за рахунок обробки ґрунту та застосування добрив відіграють головну роль у виробництві продуктів харчування, крім того, є частиною стратегії екологічної стійкості. Були проведені польові дослідження, де було досліджено стан ущільнення ґрунту. На двадцяти (20) точках відбору проб зібрано зразки ґрунту в чотирикратній (4) повторюваності, використовуючи пропорційну стратифіковану методику випадкового відбору проб. Результати лабораторного аналізу показали високе ущільнення ґрунту. Результати лабораторного аналізу оцінювали за нормою стандартизації ФАО щодо впливу ущільнення на біорізноманіття ґрунтів. Результати показали високе ущільнення ґрунту з діапазоном значень об'ємної щільності складення $1,56 \text{ г см}^{-1} - 2,71 \text{ г см}^{-1}$, що було значенням цільним для сталого розвитку ґрунтової біоти. Було отримано діапазон значень пористості 1% – 41%, що вказувало на щільну спорову структуру ґрунту, яка може перешкоджати біорізноманіттю ґрунту. Кореляційний аналіз (R^2) виявив позитивну залежність (кореляцію) між рельєфом та ущільненням ґрунтів, причому результати ранжування ґрунтів були досить бідними щодо біорізноманіття (навантаження біоти). Результати цього дослідження дали можливість зробити висновок, що для досліджуваних і прилеглих ґрунтів слід проводити належну обробку ґрунту, вносити добрива, включаючи органічні речовини.

Ключові слова: біорізноманіття; стійкість ґрунту; ущільнення ґрунтів; глобальний розвиток, цілі сталого розвитку.

В.О. Чуде, Е.Е. Оку, Г.И.С. Нвака, М.С. Адиаха

Оценка уплотнения ґрунтов как манипулятивная стратегия для улучшения их биоразнообразия: подход к выполнению Целей Устойчивого Развития (SDG) два и шесть

Аннотация Быстрый рост ухудшения состояния почвы стал негативным последствием глобального развития, выступая препятствием для устойчивого развития сельского хозяйства и окружающей среды. Биоразнообразие почв играет решающую роль в устойчивости экосистем, но все же наблюдается его быстрое ухудшение, особенно из-за увеличения токсического и химического загрязнения почв, ветровой эрозии, включая сильные ливни, разрушает структуру почвы и ухудшает почвенную биоту. Действия, которые способствуют уменьшению уплотнения ґрунтов за счет обработки и применения удобрений играют главную роль в производстве продуктов питания, кроме того, является частью стратегии экологической устойчивости. Были проведены полевые исследования, где было исследовано состояние уплотнения почвы. На двадцати (20) точках отбора проб собраны образцы почвы в четырехкратной (4) повторяемости, используя пропорциональную нестратифицированную методику случайного отбора проб. Результаты лабораторного анализа показали высокое уплотнение почвы. Результаты лабораторного анализа оценивали по норме стандартизации ФАО о влиянии уплотнения на биоразнообразие почв. Результаты показали высокое уплотнение почвы с диапазоном значений объемной плотности сложения $1,56 \text{ г см}^{-1} - 2,71 \text{ г см}^{-1}$, было слишком плотным для устойчивого развития почвенной биоты. Было получено диапазон значений пористости 1% – 41%, что указывало на плотную споровую структуру почвы, которая может препятствовать биоразнообразию почвы. Корреляционный анализ (R^2) обнаружил положительную зависимость (корреляцию) между рельефом и уплотнением ґрунтов, причем результаты ранжирования почв были достаточно бедными по биоразнообразию (нагрузка по биоте). Результаты этого исследования позволили сделать вывод, что для исследуемых и прилегающих почв следует проводить надлежащую обработку почвы, вносить удобрения, включая органические вещества.

Ключевые слова: биоразнообразие; устойчивость почвы; уплотнения почв; глобальное развитие, цели устойчивого развития.

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202001-236>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/236>

УДК 631.67; 626.8; 631.615

ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ МЕЛІОРОВАНОЇ ЗАПЛАВИ Р. ІРПІНЬ ЗА СУЧАСНИХ СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИХ І КЛІМАТИЧНИХ ТРАНСФОРМАЦІЙ

М.І. Ромащенко¹, докт. техн. наук, М.В. Яцюк², канд. геогр. наук, А.М. Шевченко³,
канд. с.-г. наук, С.А. Шевчук⁴, канд. техн. наук, О.М. Козицький⁵, Р.П. Боженко⁶, С.М.
Лютницький⁷, А.О. Забуга⁸

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/0000-0002-5535-715X>; e-mail: mv_yatsiuk@ukr.net;

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/0000-0001-5844-4980>; e-mail: sergey_shevchuk_@ukr.net;

⁵ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-4459-6331>; e-mail: olegkoz@ukr.net;

⁶ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0003-3661-8120>; e-mail: ruslana_ip@ukr.net;

⁷ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0003-4343-0054>; e-mail: lutnizkii@ukr.net;

⁸ Ірпінське міжрайонне управління водного господарства, Київська обл., Києво-Святошинський район,
с. Гореничі, Україна;
<https://orcid.org/0000-0001-5354-6662>; e-mail: andreyzabuga@gmail.com

Анотація. Унаслідок низки причин соціально-економічного характеру протягом двох останніх десятиліть відбувається зменшення обсягів і зниження ефективності використання осушуваних земель, насамперед у межах річкових заплав. За результатами досліджень на типових плітних територіях Ірпінської осушувально-зволожувальної системи (ОЗС) охарактеризовано сучасний стан та основні проблеми використання земель у межах заплави р. Ірпінь, а також визначено перспективи подальшого розвитку меліорованих заплавних територій за трансформованих кліматичних умов і землекористування. Встановлено, що істотними чинниками впливу на зниження рівня використання осушуваних сільськогосподарських угідь заплави за цільовим призначенням є фрагментарність земельних паїв, обмежені фінансові можливості їх власників, загальнодержавна толерантність до тривалого невикористання меліорованих земель, а також тенденція до зростання кількості торфових пожеж і забудови заплави. Визначено, що незадовільний технічний стан значної частини внутрішньогосподарських осушувальних каналів Ірпінської ОЗС, більшості гідротехнічних водорегулювальних споруд на них, замулення пригирлових частин колекторів закритого дренажу та зменшення глибини його залягання на ділянках із торфовими відкладами через їхнє спрацювання, осідання, механічне вилучення та вигорання ускладнюють забезпечення сприятливого водного режиму ґрунтів і захисту сільськогосподарських угідь від затоплення без проведення реконструкції або модернізації ОЗС. Зазначено, що перспективним напрямом використання осушуваних заплавних земель є вирощування ягідних культур із застосуванням для поливу краплинного зрошення. Визначено, що з огляду на потенційні негативні водно-екологічні наслідки житлової, особливо багатопверхової, забудови заплави, використання її як містобудівного ресурсу має бути обмеженим та спрямованим, переважно, на створення рекреаційних зон і здійснюватися за дотримання вимог водного та земельного законодавства.

Ключові слова: водно-екологічні ризики, ґрунтові води, дренаж, забудова, заплава, затоплення, осушувально-зволожувальна система, осушувані землі, торфові пожежі.

Актуальність дослідження. З метою залучення додаткових площ земель до сільськогосподарського використання в минулому столітті в Україні було здійснено масштабне меліоративне освоєння перезволожених

і заболочених територій, зокрема заплавних. Заходи з осушення річкових заплав проводили, насамперед, у зоні Полісся та в північній частині Лісостепу (рр. Прип'ять, Горинь, Случ, Стохід, Стир, Виживка, Уборть,

Турія, Здвиг, Ірпінь, Трубіж, Остер, Супій, Сула, Ромен, Хорол та ін.). Площі побудованих осушувальних та осушувально-зволожувальних систем у межах заплав окремих річок складають від сотень гектарів до понад 25,0 тис. га зі значним охопленням меліорацією торфових ґрунтів.

Функціонування меліоративних систем дозволило забезпечити сприятливі умови вирощування сільськогосподарських культур на осушуваних землях, підвищити рівень зайнятості сільського населення та поліпшити умови його життєдіяльності. Проте через низку причин соціально-економічного характеру, зокрема реформування аграрного сектора економіки, необґрунтоване розпаювання та приватизацію осушуваних земель, фінансову скруту, передачу внутрішньогосподарських меліоративних мереж на баланс місцевих органів самоврядування та погіршення їхнього технічного стану тощо, протягом останніх 20–25 років відбувається зменшення обсягів і зниження ефективності використання осушуваних земель [1–6]. Крім того, нині набуло поширення явище забудови територій дренажних систем у заплавах річок, а також спостерігається негативна тенденція до зростання кількості, частоти та площ пожеж на осушуваних торфовищах [6, 7]. Слід зазначити, що переведення осушуваних сільськогосподарських земель у немеліоровані та їхня забудова є небезпечним явищем як для розвитку сільського господарства та нарощування соціально-економічного потенціалу території в умовах зростання посушливості клімату та проявів екстремально великих опадів, так і для екологічного стану довкілля та життєдіяльності населення [8].

Отже питання подальшого використання осушуваних земель є досить актуальним, значною мірою дискусійним і потребує вирішення проблеми ефективного функціонування гідромеліоративних систем за трансформованих кліматичних умов і землекористування та зростання вимог екологічної безпеки. На необхідності відновлення дренажних систем у зоні осушення з розширенням їх функціональних можливостей здатністю покращувати забезпечення ґрунтів вологою протягом всього вегетаційного періоду для ефективного землеробства на осушених землях наголошено і в нещодавно прийнятій «Стратегії зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 року» [9].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Окремим аспектам оцінювання сучасного стану осушуваних земель і меліоративних систем Полісся, визначення підходів і заходів,

спрямованих на відновлення ефективного використання наявного потенціалу осушуваних угідь та подальшого його розвитку, раціоналізації природокористування в районах поширення осушення присвячено низку наукових праць вітчизняних вчених і фахівців [4, 5, 10–18]. Питання трансформації меліорованих заплавних земель у забудовані на сьогодні є мало дослідженими, а публікації щодо її екологічних наслідків майже відсутні [7, 8, 15].

Слід зазначити, що в розвинених зарубіжних країнах нині пріоритет надають екологічним функціям перезволожених земель, залучаючи їх до інтенсивного сільськогосподарського використання лише за умов комплексного соціально-економічного й екологічного обґрунтування [19].

Комплексне вирішення проблеми сталого розвитку осушення заплавних територій потребує відповідного інтегрованого підходу до розгляду питань земле- та водокористування в їхніх межах з урахуванням природно-екологічних особливостей заплави і можливості екологічнобезпечного використання їхніх ресурсів за мінімізації водно-екологічних ризиків для населення і складових природного середовища.

Найбільш показовою за гостротою, складністю та комплексністю проблем сучасного та перспективного використання меліорованих заплавних земель є заплава річки Ірпінь із розташованою на ній у межах Київської області загальнодержавною осушувально-зволожувальною системою (ОЗС), яка має славне минуле, проблемне напівкризове сьогодення та невизначене майбутнє.

Мета досліджень – визначити перспективи та проблеми розвитку меліорованих територій заплави річки Ірпінь за трансформованих кліматичних умов і характеру землекористування.

Матеріали та методи дослідження. Загальна площа меліорованих земель у межах заплави р.Ірпінь нині становить 7012,8 га, у тому числі з двобічним регулюванням водного режиму – 6713,0 га, з матеріальним (гончарним) дренажем – 3785,0 га. Осушувані сільськогосподарські угіддя займають 6722,3 га, понад 50% площі яких – торфові ґрунти потужністю понад один метр.

На сьогодні переважна більшість (близько 85%) земель меліорованої заплави розпайована та знаходиться у приватній власності з призначенням їх здебільшого для ведення товарного сільськогосподарського виробництва та особистого селянського господарства.

Ірпінська ОЗС – складний водогосподарський комплекс, який включає річку Ірпінь – водоприймач (131 км у межах системи), два водосховища об'ємом 17,6 млн м³, міжгосподарські та внутрішньогосподарські канали (понад 400 км), закриті дренажі, руслові шлюзи та інші гідротехнічні споруди.

Додатковими функціями меліоративної системи, окрім створення сприятливих умов для вирощування сільськогосподарських культур, є забезпечення захисту територій населених пунктів і сільськогосподарських угідь від затоплення та підтоплення, а також запобігання торфових пожеж (заводнення торфовищ).

Дослідження існуючого стану використання осушуваних земель та особливостей функціонування й трансформації меліоративної системи здійснювали в межах пілотних

територій з типовими умовами і характером землекористування. У методичному плані дослідження базувались на натурних обстеженнях заплавних земель і складників меліоративної системи, моніторингових спостереженнях за рівнями води у каналах і рівнями ґрунтових вод, системному та картографічному аналізі отриманих даних і гідрологічних розрахунках.

Результати дослідження та їх обговорення. Аналіз фактичного землекористування на меліорованій заплаві р.Ірпінь свідчить про те, що землі в її межах на сучасному етапі використовуються переважно для вирощування сільськогосподарських культур, а також як сіножаті та пасовища. Значна частина осушуваних земель не використовується або використовується не за своїм цільовим призначенням (табл. 1).

1. Інформація щодо фактичного використання меліорованих земель у заплаві р. Ірпінь у 2019 році (за даними Ірпінського міжрайонного управління водного господарства (МУВГ))

Район, місцева рада	Загальна площа меліорованих земель, га	Характер використання меліорованих земель, га			
		Вирощування сільгоспкультур	Випаси, сінокосіння	Забудовані землі	Не використовуються
Вишгородський р-н	1706,1	545,0	80,0		1081,1
Синяківська с/р	467,0	30,1	35,0		127,0
Демидівська с/р	892,1	240,0	45,0		607,1
Лютізька с/р	141,4				141,4
Козаровицька с/р	205,6				205,6
Бородянський р-н	241,3	200,0	41,3		
Озірська с/р	241,3	200,0	41,3		
Кисво-Святошинський р-н	3259,8	1410,2	1232,7	301,9	315,0
Білогородська с/р	373,3	61,2	304,2	7,9	
Бобрицька с/р	91,2	20,2	71,0		
Гореницька с/р	716,0	211,0	492,0	13,0	
Горенська с/р	276,3	115,6	60,7	100,0	
Княжицька с/р	298,0	152,2	134,8	11,0	
Музичанська с/р	108	58,0	50,0		
Ірпінськам/р	706,1	217,0	95,0	150,0	244,1
Гостомельська с/р	690,9	575,0	25,0	20,0	70,9
Макарівський р-н	1427,8	191,0	803,1		433,7
Новосілівська с/р	421,6	60,0	100,0		261,6
Мостищенська с/р	194,3		94,3		100,0
Яблунівська с/р	132,1		60,0		72,1
Чорногородська с/р	464,8	30,0	434,8		
Бишівська с/р	144,0	30,0	114,0		
Соснівська с/р	71,0	71,0			
Фастівський р-н	244,3		244,3		
Томашівська с/р	92		92,0		
Дорогинська с/р	152,3		152,3		
Всього:	6879,3	2346,2	2401,4	301,9	1829,8

Сучасні види землекористування на осушуваних землях Ірпінської ОЗС у концентрованому вигляді простежуються на відтинку від перетину її автомобільною дорогою Київ-Бишів (між сс.Білогородка та Гнатівка Києво-Святошинського району) та автомобільною дорогою Київ-Житомир. За характером фактичного використання меліорованих угідь тут виокремлюються площі вирощування сільськогосподарських культур (зернових, олійних, кормових, коренеплодів), сіножаті, пасовища, городи, локально (точково) забудовані території та торфові згарища, а також землі, що нині не використовуються, зазнаючи природної неконтрольованої ренатуралізації (рис. 1).

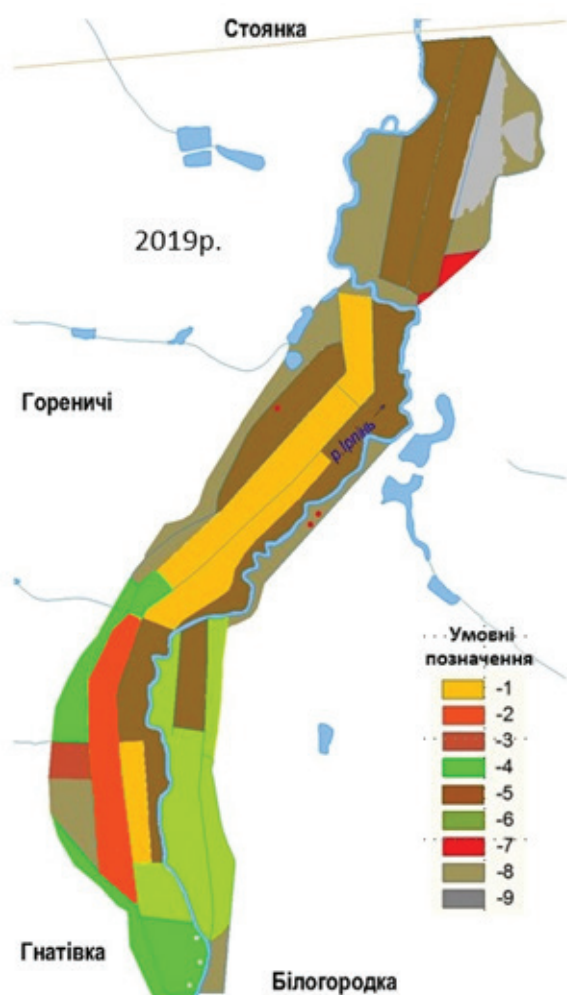


Рис. 1. Схема використання меліорованих земель Ірпінської ОЗС (фрагмент, пілотна територія, станом на 2019 р.):

- 1- зернові культури (пшениця, овес, тритікале);
- 2- олійні культури (соняшник);
- 3- овочеві культури (капуста-зрошення);
- 4- городництво; 5- сіножаті; 6-пасовища;
- 7-збудова; 8- не використовуються;
- 9- торфове згарище

Проведені в 2016–2019 рр. рекогносцирувальні обстеження Ірпінської ОЗС свідчать про певне нарощування площ осушуваних земель, які використовуються для вирощування сільськогосподарських культур (пшениця, овес, кукурудза, соя, соняшник, картопля, морква та ін.), що вимагає забезпечення відповідного водного режиму для ведення меліоративного землеробства.

Трансформація осушуваних земель у межах заплави р. Ірпінь та режиму функціонування Ірпінської ОЗС значною мірою зумовлена їхньою забудовою або підготовкою до неї, що відбувається нині на територіях, підпорядкованих Білогородській, Горенській, Княжицькій та Гореницькій сільським радам, Гостомельській селищній раді та Ірпінській міській раді, а також пірогенною деградацією торфових ґрунтів, тобто вигоранням останніх унаслідок пожеж.

Слід зазначити, що трансформація, особливо стихійна та неконтрольована, осушуваних земель, зокрема і заплавної, у забудовані пов'язана зі значними водними ризиками: затоплення, підтоплення, вторинне заболочування, забруднення поверхневих і підземних вод, торфові пожежі тощо на ділянках забудови і прилеглих територіях [6].

Обстеженнями зафіксовано значне погіршення стану осушуваних територій у межах лівобережної частини заплави р. Ірпінь, що частково нині забудовується або планується під забудову в районі міста Ірпінь, насамперед між залізницею Київ-Ковель та автомобільною дорогою Київ-Романівка-Ірпінь, зокрема розпочато скандального будівництва багатоповерхівок між каналами К-64 і К-64-1 поблизу вул. Достоевського, Довженка, пров. Озерного на площі понад 15 га.

Унаслідок вилучення торфу, засипання місць виторфовування будівельним сміттям, піщаним ґрунтом тощо з метою підготовки території під забудову відбувається порушення рівня та стану поверхні заплави. Форми техногенного мікрорельєфу, переважно тимчасового характеру, становлять собою невеликі підвищення висотою 1,0–2,5 м у межах відносно спланованих насипних ґрунтів. Наслідки вибирання та вивезення торфового ґрунту у вигляді копанок різного розміру, форми та глибини, заповнених частково водою, пластиковими пляшками, будівельним сміттям, що складає істотну загрозу забруднення ґрунтового середовища та ґрунтових вод, спостерігаються на лівобережній частині заплави р. Ірпінь у районі південно-східних околиць міста Ірпінь (рис. 2).



Рис. 2. Екологічні наслідки початку освоєння заплави р. Ірпінь та Ірпінської ОЗС під забудову та добування торфу (околиці м. Ірпінь, 2018–2020 рр., фото А.М. Шевченка)

Значна частина ділянок заплави з поширенням торфів за останні 10–15 років унаслідок збільшення тривалості посушливих бездощових періодів і зниження рівня використання меліорованих угідь за їх цільовим призначенням зазнала пірогенної деградації, тобто впливу торфових пожеж [7]. Це проявилось у вигоранні торфів на глибину від 0,1–0,2 м до 0,5–0,7 м, а за повторних пожеж сумарна потужність пірогенезу на глибоких торфовищах могла скласти понад 1,0 м.

Наслідки торфових пожеж (згарища) на пілотних територіях зафіксовано на правобережній частині заплави на 20-му кілометрі автомобільної дороги Київ–Житомир у межах Білогородської сільської ради (пожежа 2015 р. між каналами К-72-1 і К-72-2), північніше і південніше Романівки (м. Ірпінь) у вигляді наявності шару (до 5–15 см) попелу вохристого забарвлення й оплавленої твердуватої торфової кірки під ним, а також по візуально помітному перепаду відміток поверхні та існуючих її нерів-

ностей, часто з поширенням деревної або чагарникової рослинності.

Наглядним свідченням величини вигорання торфів на дослідженій території в районі м. Ірпінь може слугувати колишня спостережна свердловина, розміщена неподалік впадіння р. Любка в канал К-65, бетонна частина оголовка труби якої височіє нині над поверхнею на 1,2 м (рис. 3), тобто під час пожежі вигоріло не менше як 60–70 см торфу, тому що оголовок бетонували зазвичай на висоту близько 50 см.

Як нинішнє, так і будь-яке перспективне господарське використання заплави значною мірою пов'язане з функціонуванням меліоративної системи. Результати обстежень Ірпінської ОЗС (осушувальних каналів і гідротехнічних споруд на них) у межах ділянок досліджень свідчать про таке. Уздовж переважної більшості каналів відсутні експлуатаційні дороги. Прилегли до них території нерідко підтоплені, або навіть і затоплені, заросли очеретом, розогом (2,0–2,5 м

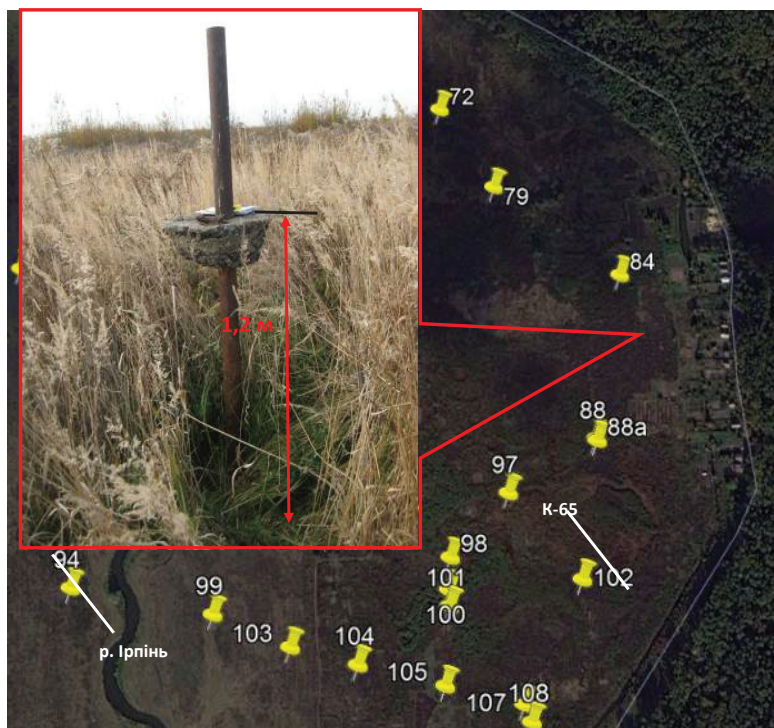


Рис. 3. Ілюстрація потужності вигорання торфів на ділянці заплави р. Ірпінь у межах території, підпорядкованої Ірпінській міській раді

висотою) та іншою болотною рослинністю, що значно ускладнює доступ до каналів. Через відсутність догляду канали частково замулені, заросли трав'яною рослинністю; глибина їх міняється від 0,8 м до 2,5 м, переважно 1,1–1,5 м, глибина води від 0,2–0,5 м до 0,8–1,1 м, або вона відсутня в каналах. В окремих місцях канали перекриті гатками і вода з них витікає на поверхню прилеглої території з нижчими абсолютними відмітками. Зважаючи на значною мірою незадовільний технічний стан відкритої осушувальної мережі, канали потребують розчищення, поглиблення. Особливо це стосується каналів на ділянках з осередками торфових пожеж та на ділянках витоку їхніх укосів тваринами в місцях водопою. Водночас наявні ділянки як на міжгосподарських, так і на внутрішньогосподарських каналах із задовільним станом русла, відсутністю в ньому рослинності.

Гідротехнічні споруди на каналах, які представлені трубчастими переїздами і шлюзами-регуляторами, знаходяться як у відносно задовільному, так і в незадовільному стані (рис. 4). Так, за даними Ірпінського МУВГ, на гідротехнічних спорудах відсутні на понад 70% металеві конструкції (коробчасті або плоскі затвори, гвинтові підйомники з редукторами тощо).

На меліоративній системі в межах закладання закритого дренажу практично відсутні або зруйновані дренажні колодязі, дренажні гирла. На всіх ділянках, де здійснюється відбір торфу або територія готується під забудову, а також на ділянках глибокого вигорання торфу відбувається руйнування закритого горизонтального дренажу, що забезпечував регулювання рівня ґрунтових вод (РГВ) на системі. Це фіксується за наявністю гончарних дренажних трубок на поверхні землі серед вибраного торфу біля копанок, траншей і в стінках останніх, на торфових згарищах (рис. 5). Крім того, спостерігається зменшення глибини залягання закритого дренажу на ділянках із торфовими відкладами унаслідок зменшення їхньої потужності через ущільнення, осідання та спрацювання, а також механічне вилучення та торфові пожежі.

Загалом же стан більшості гідротехнічних водорегулювальних споруд на внутрішньогосподарських каналах, порушення технологічної цілісності меліоративної системи ускладнюють або, здебільшого, унеможливають забезпечення сприятливого водного режиму ґрунтів і надійного захисту сільгоспугідь та прилеглих територій населених пунктів від підтоплення чи затоплення. Негативними наслідками цього є переосу-



Рис. 4. Стан водорегулювальних гідротехнічних споруд на каналах Ірпінської ОЗС (2018 р., фото А.М. Шевченка)



Рис. 5. Руйнування закритого горизонтального дренажу в межах Ірпінської ОЗС поблизу м. Ірпінь, 2018–2020 рр. (фото А.М. Шевченка)

шення або перезволоження сільськогосподарських угідь, стояння води на поверхні в межах знижень, повторне заболочення, зокрема на ділянках торфових згаріщ.

У ході проведення польових досліджень у межах заплави р. Ірпінь на території, підпорядкованій Ірпінській міськраді, у кінці літнього періоду та восени 2018 р. зафіксовано залягання ґрунтових вод на глибинах 0,0–2,5 м від поверхні землі (рис. 6). Обстеженнями вияв-

лено ділянки, у межах яких вода знаходиться на поверхні землі внаслідок її надходження з каналів або ж підтоплення ґрунтовими водами з виходом їх на поверхню в найбільш знижених місцях: у південній частині території досліджень, зокрема майже на крайній південній її межі (межа підпорядкованої міськраді території) та на площах виторфовування між каналами К-67 і К-64, а також у центральній частині території (між автомо-

більшою дорогою та залізницею) на правобережжі річки поблизу каналу К-65 через його перекриття гаткою на північній околиці Романівки та надходження води на знижені площі торфових згарищ. Шар води в чагарниках на ділянках пірогенних торфовищ сягає 10–30 см. На правобережжі р. Ірпінь північніше руслового шлюзу № 6 поблизу каналів К-20-1 і К-20 теж зафіксовано прояв затоплення земель заплави, що призводить до їх повторного заболочування.

Одним із проблемних питань перспектив подальшого використання заплавної земель є забезпечення їхнього захисту від періодичного затоплення. Слід зазначити, що за останнє десятиліття почастишали прояви затоплень осушуваних земель, у тому числі на локальних ділянках у різних частинах заплави р. Ірпінь. Це пов'язано як із кліматичними трансформаціями, так і, здебільшого, з погіршенням технічного стану осушувальної мережі та гідротехнічних

споруд на ній через їх неналежний догляд та експлуатацію.

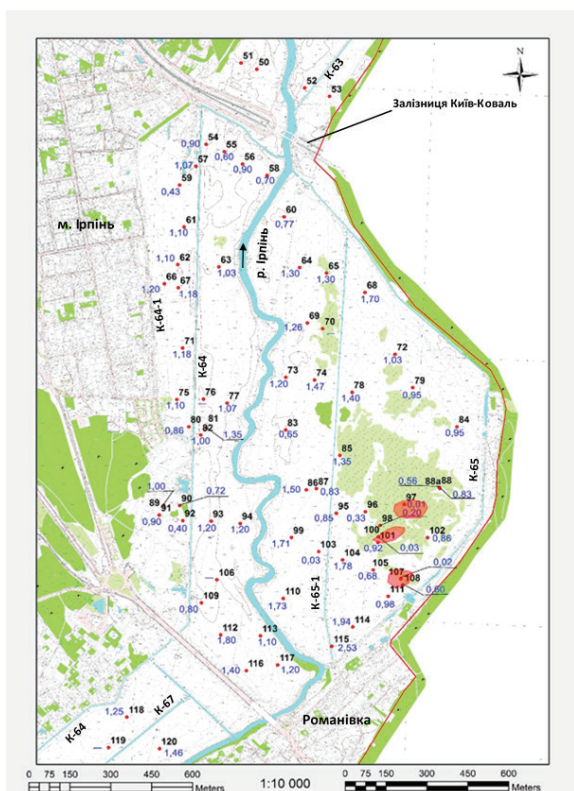
Замулення та заростання мережі відкритих каналів, часткове замулення пригирлових ділянок колекторів закритого горизонтального дренажу негативно впливають на ефективність відведення надлишкових вод у період водопілля або екстремальних гідрометеорологічних ситуацій, пов'язаних із випаданням великої кількості опадів чи швидкого танення снігу, як це, зокрема, спостерігалось на заплаві р. Ірпінь весною 2013 р. і 2018 р. [20].

Характерним у даному контексті є затоплення заплавної земель р. Ірпінь на ділянці між автомобільними дорогами Київ-Бишів і Київ-Житомир унаслідок весняного водопілля, танення снігу та значних дощів у березні–квітні 2018 р. (рис. 7). Дослідженнями встановлено, що затоплень зазнали знижені ділянки переважно на лівобережній частині р. Ірпінь північніше розташування на ній руслового шлюзу № 8. Глибина води на затоплених ділянках складала, залежно від рельєфу, від 0,1 м до 0,3–0,7 м.

Переважна більшість каналів на період квітня–початок травня 2018 р. були достатньо наповненими, насамперед, річковими водами, що місцями спричинило витікання з них води на поверхню заплави і, відповідно, її затоплення. Тривале стояння води на поверхні осушуваних ґрунтів, яке на окремих ділянках складало 1,0–1,5 місяця і призвело до вимокання та загибелі посівів озимих зернових культур, свідчить про незадовільне функціонування системи закритого горизонтального дренажу і водовідведення.

Напрями та перспективи подальшого використання осушуваної заплави р. Ірпінь визначаються з урахуванням фрагментарності земельних паїв і цільового призначення земель, проектних параметрів і сучасного стану інженерної інфраструктури дренажної системи, а також кліматичних змін, які суттєво трансформують роль останньої.

На цій підставі, та за умови підвищення відповідальності землевласників за цільове використання меліорованих угідь, на більшій частині території осушуваної заплави пріоритетним має бути сільськогосподарське використання земель на основі сучасних наукових підходів до ведення й екологізації меліоративного землеробства та землекористування [3, 17–19]. Водночас у контексті забезпечення оптимального водорегулювання на заплавної землях ускладнюючим чинником може бути недостатня кількість води у маловодні, посушливі періоди, або неможливість



- 61 - Розвідувальна свердловина, цифри над знаком – номер розвідувальної свердловини, під знаком значення РГВ (синім кольором), м
- - осередки затоплення торфових згарищ

Рис. 6. Глибини залягання ґрунтових вод у межах заплави річки Ірпінь на території Ірпінської міської ради, серпень-жовтень 2018 р. (фрагмент)



Рис. 7. Затоплення заплави річки Ірпінь та вимокання посівів зернових культур на осушуваних землях Ірпінської ОЗС у районі сіл Білогородка, Шевченкове та Гореничі Києво-Святошинського району, квітень-травень 2018 р. (фото А.М. Шевченка)

чи складність, за існуючої технологічної схеми та переважно несприятливого технічного стану дренажної інфраструктури, подачі її на певні ділянки меліоративної системи. Так, на переважній більшості меліорованих територій заплави р. Ірпінь наявний закритий горизонтальний дренаж, який технологічно міг би бути використаний для оптимізації водного режиму ґрунтів. Проте двобічне водорегулювання з допомогою мережі меліоративних каналів і закритого дренажу нині ускладнюється як незадовільним станом регулювальних споруд, дренажних гирл, замуленням пригирлових частин дренажних колекторів, так і зменшенням глибини залягання дрен через спрацювання, вигорання та просідання торфів.

Регіональні прояви глобальних змін клімату, пов'язане з ними зростання температури і тривалості посушливих періодів, необхідність оперативного управління водним режимом, як складовою агротехнологій, зумовлюють потребу в застосуванні зрошення для вологозабезпечення сільськогосподарських рослин на осушуваних землях із використанням дощувальної техніки або краплинного поливу. З цим пов'язана необхідність акумулювання достатньої кількості води як у магістральному каналі (річці),

так і в осушувальних каналах нижчого порядку.

Перспективним напрямом ефективного використання осушуваних земель може стати вирощування ягідних культур (лохини, суниці, малини та ін.) із застосуванням для поливу краплинного зрошення, що нині поширюється в суміжному басейні р. Здвиж, зокрема на заплавах земель ОСЗ «Здвиж».

Частину малопродуктивних земель, насамперед пірогенно деградованих торфовищ, доцільно ренатуралізувати, а також використати для створення рекреаційних зон, особливо у прирічковій частині.

Використання земель заплави р.Ірпінь під забудову, особливо як містобудівного ресурсу в межах привабливих столичних околиць, є бажаним для багатьох землевласників і забудовників, але нині обмежується певними законодавчими та правовими нормами, зокрема, щодо особливо цінних земель (такими є осушені торфовища), прибережних захисних смуг річок і смуг відведення каналів, права власності на меліоративні системи (ОЗС р. Ірпінь є загальнодержавною меліоративною системою, списання якої здійснюється лише Кабінетом Міністрів України) тощо.

Загалом, містобудівне освоєння заплави Ірпеня, на наш погляд, має бути і в перспективі

досить обмеженим, вибіркоким, достатньо науково обґрунтованим щодо зміни цільового призначення земель і запобігання можливих негативних наслідків трансформації меліорованих заплавної земель [9], а також зорієнтованим, переважно, на створення зон рекреації (активного відпочинку, спорту, культурно-розважальної діяльності).

У разі можливої реалізації існуючих планів щодо забудови заплави в районі м.Ірпінь, особливо багатопверхової житлової та без дотримання вимог земельного і водного законодавства, без проведення реконструкції або модернізації дренажних мереж, слід очікувати, окрім іншого, ускладнення гідрогеологічної та гідрологічної ситуації.

Живлення ґрунтових вод майже по всій площі їх поширення за рахунок інфільтрації атмосферних опадів за низької стічності і дренажності території, зокрема і через недостатньо ефективну роботу або руйнування інженерної інфраструктури осушувальної системи, сповільнений відтік сприятимуть зростанню РГВ у періоди з підвищеною кількістю дощів, під час танення снігу, аж до виходу їх на поверхню у межах знижених ділянок.

Заплава загалом і русло річки Ірпінь, зокрема, є місцем розвантаження ґрунтових вод з прилеглих, більш високих за відмітками, територій надзаплавних терас, у межах яких нині розташована, зокрема, частина міста Ірпінь, що прилягає до заплави. Часткове перекриття потоку ґрунтових вод у процесі будівництва багатопверхівок на заплаві може спричинити їхній підпір і погіршити умови дренажу території існуючої садибної забудови, особливо у періоди підвищеної водності.

Використання при підготовці території під забудову різних матеріалів, глинистих ґрунтів, їхнє ущільнення формують ґрунтову основу з невідомими фільтраційними параметрами, що також може ускладнювати рух ґрунтових вод, тобто забудова може погіршити дренажну здатність заплави та осушувальної системи, зокрема і через зміну складу ґрунтів та умов водовідведення.

Гідрологічні розрахунки щодо визначення рівнів і ширини затоплення заплави р. Ірпінь з виокремленням зон затоплення паводкопівеневими водами 1%, 3% і 10% забезпечення свідчать про те, що досить широка заплава забезпечує проходження паводкового стоку загалом при відносно невисоких рівнях затоплення. Природні рівні води річки Ірпінь у межах міста порушені в результаті спорудження трьох мостових переходів з дамбами,

що обумовило значне зростання рівнів води у їх створах через зменшення площі живого перерізу заплави та формування кривих підпору і спаду, які поширюються на значну довжину. Так, у створі автомобільного моста в с. Романівка рівні води у паводок 1% забезпеченості зростуть (в абсолютних відмітках) до 114,05 м, що на 2,1 м вище порівняно з природними побутовими умовами (без впливу моста). Відповідні рівні у створі залізничного моста зростуть на 2,4 м. Через значно більшу площу мостового прогону в створі Гостомельського моста підпір рівня води буде незначним. У повені 3% і 10% забезпеченості рівні в створі Романівського моста зростуть на 1,3 м та 0,87 м відповідно. У створі залізничного моста відповідні зростання рівнів становитимуть 2,0 м і 1,8 м. Більш високе зростання рівнів у створі залізничного моста обумовлено меншою шириною заплави перед створом моста.

У випадку забудови чи освоєння території для зменшення ризику затоплення необхідно наростити відмітки поверхні заплави або влаштувати захисні дамби у відповідності з визначеними зонами і рівнями затоплення. Водночас це може призвести до зростання імовірності й інтенсивності прояву негативних наслідків при проходженні повеней або паводків на суміжних територіях.

Отже, сучасний стан використання земельних угідь та функціонування інженерної інфраструктури гідромеліоративної системи в межах заплави р. Ірпінь потребують для їхнього істотного поліпшення підвищення рівня зацікавленості та відповідальності землевласників і землекористувачів щодо ефективного й еколого безпечного ведення меліоративного землеробства, залучення їх до модернізації дренажної мережі, жорсткого регулювання та моніторингу забудови осушуваних земель, проведення контрольованої ренатуралізації малопродуктивних торфовищ.

Висновки. На сучасному етапі близько третини (понад 2,1 тис. га) меліорованих угідь у межах заплави р. Ірпінь не використовується в сільськогосподарському виробництві, хоча останніми роками спостерігається тенденція до збільшення площ осушуваних земель, на яких вирощуються сільськогосподарські культури.

На зниження рівня використання осушуваних сільськогосподарських угідь заплави за цільовим призначенням та ефективності водорегулювання в межах Ірпінської ОЗС, особливо на території, підпорядкованій Ірпінській міській раді, значною мірою

впливають деструктивні процеси, пов'язані із забудовою заплавної землі або підготовкою до неї, а також із пірогенною деградацією торфових ґрунтів.

Незадовільний технічний стан переважної частини внутрішньогосподарських осушувальних каналів, більшості гідротехнічних водорегулювальних споруд на них, замулення пригирлових частин колекторів закритого горизонтального дренажу та зменшення глибини його залягання на ділянках з торфовими відкладами через їхнє спрацювання, осідання, механічне вилучення та вигорання ускладнюють або, здебільшого, унеможливають забезпечення сприятливого водного режиму ґрунтів і захисту сільськогосподарських угідь від затоплення на заплаві р. Ірпінь без проведення реконструкції або модернізації меліоративної системи з урахуванням сучасних умов землекористування та змін клімату.

У контексті сучасних кліматичних трансформацій, зокрема зростання тривалості й частоти посушливих періодів, пріоритетним є сільськогосподарське використання меліорованих земель заплави, особливо за умов

забезпечення ефективного двобічного регулювання водного режиму ґрунтів, зокрема із застосуванням зрошення для вологозабезпечення сільськогосподарських культур. Перспективним напрямом використання осушуваних заплавної землі є вирощування ягідних культур із застосуванням для поливу краплинного зрошення.

Хибне рішення щодо розпаювання та приватизації меліорованих земель, низька зацікавленість більшості власників паїв у їхньому використанні створили певне підґрунтя для «консолідації» земельних ділянок, зміни їх цільового призначення з трансформацією в забудовані. З огляду на потенційні негативні водно-екологічні наслідки житлової, особливо багатопверхової, забудови заплави, використання її як містобудівного ресурсу має бути територіально обмеженим та спрямованим на створення рекреаційних зон. Можлива часткова садибна забудова або ренатуралізація малопродуктивних земельних угідь за умов зміни їхнього цільового призначення та дотримання вимог водного і земельного законодавства.

Бібліографія

1. Сучасний стан, основні проблеми водних меліорацій та шляхи їх вирішення / за ред. П.І. Коваленка. Київ: Аграрна наука, 2001. 214 с.
2. Зубець М.В., Коваленко П.І., Михайлов Ю.О. Проблеми використання меліорованих земель в Україні // Меліорація і водне господарство. 2008. Вип. 96. С. 3–13.
3. Концепція ефективного використання осушуваних земель гумідної зони України (наукові засади) / Ромащенко М.І. та ін. // Київ: ЦП «Компринт», 2015. 22 с.
4. Дацько Л.В. Сучасне сільськогосподарське використання земель гумідної зони України // Меліорація і водне господарство. 2016. Вип. 103. С. 41–47.
5. 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.
6. Водні ризики трансформації меліорованих земель Київської області та шляхи їх мінімізації / Шевченко А. та ін. // Водне господарство України. 2016. № 2. С. 10–16.
7. Ризик торфових пожеж і шляхи його мінімізації на меліоративних системах в басейнах річок Ірпінь і Здвиж / М. Ромащенко та ін. // Водне господарство України. 2016. №1(121). С. 19–27.
8. Проблеми та водно-екологічні ризики забудови осушуваних земель давньої заплави р. Дніпро / Ромащенко М.І. та ін. // Меліорація і водне господарство. 2019. № 1. С. 20–27.
9. 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 25.02.2020).
10. Зузук В.Ф., Колошко І.К., Карпюк З.К. Осушені землі Волинської області та їх охорона: монографія. Луцьк: Волин. нац. ун-т ім. Лесі Українки, 2012. 294 с.
11. Цуман Н.В. Оцінка ефективності сучасного використання осушених земель в зоні Полісся // Екологічні науки. 2014. № 6. С. 62–68.
12. Природоохоронне та ефективне використання осушуваних органогенних ґрунтів гумідної зони. Київ: ЦП «Компринт», 2014. 79 с.
13. Кочик Г.М., Мельничук А.О., Кучер Г.А. Практичні підходи до ефективного використання осушуваних ґрунтів в умовах змін клімату // Матеріали міжнародної науково-практичної

конференції «Управління водними ресурсами в умовах змін клімату», присвяченої Всесвітньому дню води. 21 березня 2017 р. Київ: ТОВ ЦП «Компринт», 2017. С. 32–33.

14. Слюсар І.Т. Використання осушуваних земель у зоні надмірного зволоження в контексті глобального потепління клімату // Меліорація і водне господарство. 2008. Вип. 96. С. 81–91.

15. Забуга А.О. Сучасний стан використання осушуваних земель в басейні р. Ірпінь // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції, присвяченої Всесвітньому дню води (тематика 2016 р. – «Вода і робочі місця»). 22 березня 2016 р. Київ: ЦП «Компринт», 2016. С. 47–49.

16. Забуга А.О. Особливості та проблеми регулювання водного режиму ґрунтів на осушуваних землях за сучасних напрямів їхнього використання // Меліорація і водне господарство. 2017. Вип. 105. С. 81–87.

17. Скаль О. Пріоритетні напрями використання осушених земель в Україні // Економіст. 2016. № 5. С. 41–45.

18. Голян В.А., Савчук В.В., Андрощук І.І. Раціональне природокористування в зоні осушення // Агросвіт. 2016. № 12. С. 4–11.

19. Меліорація ґрунтів (систематика, перспективи, інновації): колективна монографія [за ред. С.А. Балюка, М.І. Ромащенко, Р.С. Трускавецького]. Херсон: Грінв Д.С., 2015. 668 с.

20. Шевченко А.М., Боженко Р.П., Забуга А.О. Причини та наслідки затоплення осушуваних земель заплави річки Ірпінь // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Вода для всіх», присвяченої Всесвітньому дню водних ресурсів. 21 березня 2019 р. Київ, 2019. С. 158–159.

References

1. Kovalenko, P.I. (Ed.). (2001). Suchasnyi stan, osnovni problemy vodnykh melioratsii ta shliakhy yikh vyrishennia [The current state, the main problems of water reclamation and ways of solving them]. Kyiv: Ahrarna nauka. [in Ukrainian].

2. Zubets, M.V., Kovalenko, P.I., & Mykhailov, Yu.O. (2008). Problemy vykorystannia meliorovanykh zemel v Ukraini [Problems of land use in Ukraine]. Melioratsiia i vodne hospodarstvo, 96. [in Ukrainian].

3. Romashchenko, M.I., Tarariko, Yu.O., & Kovalenko, P.I. et al. (2015). Kontseptsiiia efektyvnoho vykorystannia osushuvanykh zemel humidnoi zony Ukrainy (naukovi zasady) [The concept of effective use of the dehumidified lands of the humid zone of Ukraine (scientific basis)]. Kyiv: TsP «Komprynt». [in Ukrainian].

4. Datsko, L.V. (2016). Suchasne silskohospodarske vykorystannia zemel humidnoi zony Ukrainy [The current agricultural land use in the humid zone of Ukraine]. Melioratsiia i vodne hospodarstvo, 103, 41–47. [in Ukrainian].

5. Voropai, H.V., Yatsyk, M.V., & Mozol, N.V. (2019). Suchasnyi stan ta perspektyvy rozvytku osushuvanykh melioratsii v umovakh zmin klimatu [The current state and prospects of development of drainage reclamation in the face of climate change]. Melioratsiia i vodne hospodarstvo, 2, 31–39. [in Ukrainian].

6. Shevchenko, A., Savchuk, D., Morozova, V., Zabuga, A., & Malyuga, V. (2016). Vodni ryzyky transformatsii meliorovanykh zemel Kyivskoi oblasti ta shliakhy yikh minimizatsii [Water risks of land reclamation of Kyiv region and ways of their minimization]. Vodne hospodarstvo Ukrainy, 2, 10–16. [in Ukrainian].

7. Romashchenko, M., Shevchenko, A., Savchuk, D., & Zabuha, A. (2016). Ryzyk torfovykh pozhezh i shliakhy yoho minimizatsii na melioratyvnykh systemakh v baseinakh richok Irpin i Zdvizh [Risk of peat fires and ways to minimize them on reclaimed systems in the Irpin and Zdvizh river basins]. Vodne hospodarstvo Ukrainy, 1(121), 19–27. [in Ukrainian].

8. Romashchenko, M.I., Yatsiuk, M.V., Shevchenko, A.M., Shevchuk, S.A., Savchuk, D.P., Kozytyskiy, O.M., Bozhenko, R.P., Liutnytskyi, S.M., Zemlianska, D.P., & Zabuha, A.O. (2019). Problemy ta vodno-ekolohichni ryzyky zabudovy osushuvanykh zemel davnoi zaplavy r. Dnipro [Problems and water-ecological risks of building drainage lands of the ancient Dnieper floodplain]. Melioratsiia i vodne hospodarstvo, 1, 20–27. [in Ukrainian].

9. 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].

10. Zuzuk, V.F., Koloshko, I.K., & Karpiuk, Z.K. (2012). Osusheni zemli Volynskoi oblasti ta yikh okhorona: monohrafiia [Dried lands of Volyn region and their protection: monograph]. Lutsk: Volyn. nats. un-t im. Lesi Ukrainky. [in Ukrainian].
11. Tsuman, N.V. (2014). Otsinka efektyvnosti suchasnoho vykorystannia osushenykh zemel v zoni Polissia [Assessment of the efficiency of the modern use of drained land in the Polesie region]. *Ekolohichni nauky*, 6, 62–68. [in Ukrainian].
12. Slyusar, I.T., Tkachov, O.I., Solyanyk, O.P., Serbenyuk V.O., & Hera, O.M. et al. (2014). Pryrodookhoronne ta Pryrodookhoronne ta efektyvne vykorystannia osushuvanykh orhanohennykh gruntiv humidnoi zony [Environmental and effective use of dehydrated organogenic soils of the humid zone]. Kyiv: TsP «Komprynt». [in Ukrainian].
13. Kochyk, H.M., Melnychuk, A.O., & Kucher, H.A. (2017). Praktychni pidkhody do efektyvnoho vykorystannia osushuvanykh gruntiv v umovakh zmin klimatu [Practical Approaches to Effective Use of Dried Soils in Climate Change]. *Upravlinnia vodnymy resursamy v umovakh zmin klimatu: Mizhnarodna nauk.-praktych. konf.* Kyiv: TOV TsP «Komprynt», 32–33. [in Ukrainian].
14. Sliusar, I.T. (2008). Vykorystannia osushuvanykh zemel u zoni nadmirnoho zvolozhennia v konteksti hlobalnoho poteplinnia klimatu [The use of dehumidified land in an area of excessive humidity in the context of global warming]. *Melioratsiia i vodne hospodarstvo*, 96, 81–91. [in Ukrainian].
15. Zabuha, A.O. (2016). Suchasnyi stan vykorystannia osushuvanykh zemel v baseini r. Irpin [Current state of land use in the Irpin River basin]. *Voda i robochi mistsia: Vseukrainskoi nauk.-praktych. konf.* Kyiv: TsP «Komprynt», 47–49. [in Ukrainian].
16. Zabuha, A.O. (2017). Osoblyvosti ta problemy rehuliuвання водного rezhymu gruntiv na osushuvanykh zemliakh za suchasnykh napriamiv yikhnoho vykorystannia [Features and problems of regulation of the water regime of soils on the drained lands in the modern directions of their use]. *Melioratsiia i vodne hospodarstvo*, 105, 81–87. [in Ukrainian].
17. Skal, O. (2016). Priorytetni napriamy vykorystannia osushenykh zemel v Ukraini [Priority directions for the use of drained land in Ukraine]. *Ekonomist*, 5, 41–45. [in Ukrainian].
18. Holian, V.A., Savchuk, V.V., & Androshuk, I.I. (2016). Ratsionalne pryrodokorystuvannia v zoni osushennia [Rational use in the drainage area]. *Ahrosvit*, 12, 4–11. [in Ukrainian].
19. Baliuk, S.A., Romashchenko, M.I., & Truskavetski, R.S. (Ed.). (2015). *Melioratsiia gruntiv (systematyka, perspektyvy, innovatsii): kolektyvna monohrafiia* [Soil reclamation (taxonomy, perspectives, innovations): collective monograph]. Kherson: Hrin D.S. [in Ukrainian].
20. Shevchenko, A.M., Bozhenko, R.P., & Zabuha, A.O. (2019). Prychyny ta naslidky zatoplennia osushuvanykh zemel zaplavy richky Irpin [Causes and consequences of flooding of the drained lands of the Irpin River floodplain]. *Voda dlia vsikh: Mizhnarodna nauk.-praktych. konf.* Kyiv, 158–159. [in Ukrainian].

**М.И. Ромащенко, М.В. Яцюк, А.Н. Шевченко, С.А. Шевчук,
О.Н. Козицкий, Р.П. Боженко, С.Н. Лютницкий, А.А. Забуга**

Проблемы и перспективы использования мелиорированной поймы р. Ирпень при современных социально-экономических и климатических трансформациях

Аннотация. Вследствие ряда причин социально-экономического характера на протяжении последних двух десятилетий происходит уменьшение объёмов и снижение эффективности использования осушаемых земель, в первую очередь в пределах речных пойм. По результатам исследований на типичных пилотных территориях Ирпенской осушительно-увлажнительной системы (ОУС) охарактеризовано современное состояние и основные проблемы использования осушаемых земель в пределах поймы р. Ирпень, а также определено перспективы дальнейшего развития мелиорированных пойменных территорий при трансформации климатических условий и землепользования. Установлено, что существенными факторами влияния на снижение уровня использования осушаемых сельскохозяйственных угодий поймы по целевому назначению есть фрагментарность земельных паев, ограниченные финансовые возможности их владельцев, общегосударственная толерантность к длительному неиспользованию мелиорируемых земель, а также тенденция к увеличению количества торфяных пожаров и застройка поймы. Определено, что неудовлетворительное техническое состояние значительной части внутрихозяйственных осушительных каналов Ирпенской ОУС, большинства гидротехнических водорегулирующих сооружений на них, заиление приустьевых частей коллекторов закрытого дренажа и уменьшение глубины его залегания на участках с торфяными отложениями из-за их сработки, осадки,

механического изъятия и выгорания затрудняют обеспечение благоприятного водного режима почв и защиты сельскохозяйственных угодий от затопления на пойме р.Ирпень без проведения реконструкции или модернизации ОУС. Отмечено, что перспективным направлением использования осушаемых пойменных земель является выращивание ягодных культур с использованием для полива капельного орошения. Определено, что с учетом потенциальных негативных водно-экологических последствий жилищной, особенно многоэтажной, застройки поймы, использование ее как градостроительного ресурса должно быть территориально ограниченным и направленным преимущественно на создание рекреационных зон и осуществляться с соблюдением требований водного и земельного законодательства.

Ключевые слова: водно-экологические риски, грунтовые воды, дренаж, затопление, застройка, осушаемые земли, осушительно-увлажнительная система, пойма, торфяные пожары.

**M.I. Romashchenko, M.V. Yatsyuk, A.M. Shevchenko, S.A. Shevchuk,
O.M. Kozytsky, R.P. Bozhenko, S.M. Lyutnitsky, A.O. Zabuga**

**Problems and prospects of the reclaimed floodplain' of the Irpin' river usage
under the modern socio-economic and climatic transformations**

Abstract. As a result of row of reasons of socio-economic character, there has been a decrease in volumes and a decrease in the efficiency of the use of drained land over the last two decades, primarily within river floodplains. Based on the research findings in the typical pilot territories of Irpin's drainage-irrigation system (DIS), the current state and main problems of the use of drained lands within the Irpin's river floodplain are characterized, as well as the prospects for the further development of reclaimed floodplain areas during the transformation of climatic conditions and land use are determined. It has been established that significant factors influencing the decrease in the level of use of drained agricultural land of the floodplain for its intended purpose are the fragmentation of land shares, the limited financial capabilities of their owners, the nationwide tolerance for long-term non-use of reclaimed lands, as well as the tendency to increase the number of peat fires and floodplain buildings development. It was determined that the unsatisfactory technical condition of a significant part of the on-farm drainage canals of the Irpin's DIS, the majority of hydrotechnical water control structures on them, siltation of the estuarine parts of closed drainage collectors and a decrease in the depth of its occurrence in areas with peat deposits due to their runoff, precipitation, mechanical removal and burning out ensuring a favorable water regime of soils and protection of the agricultural lands from flooding on the floodplain of the Irpin's River without redesign or modernization of the DIS. It is noted that the perspective direction of the use of drained floodplain lands is the cultivation of berry crops with an application of drip irrigation. It is determined that, taking into account the potential negative water and environmental consequences of housing, especially multi-story, floodplain development, its use as a town-planning resource should be geographically limited and aimed primarily at creating of recreational areas and to be carried out in compliance with the requirements of water and land legislation.

Key words: water and environmental risks, groundwater, drainage, flooding, territory building development, drained lands, drainage and irrigation systems, floodplains, peat fires.

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202001-228>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/228>

УДК 504.453:627.42

ВПЛИВ БУДІВНИЦТВА СТАВКІВ І ВОДОСХОВИЩ НА ЕКОЛОГІЧНУ БЕЗПЕКУ БАСЕЙНІВ МАЛИХ РІЧОК СТЕПОВОЇ ЗОНИ УКРАЇНИ (НА ПРИКЛАДІ ДНІПРОПЕТРОВСЬКОЇ ОБЛАСТІ)

В.Г. Андрєєв¹, Г.В. Гапіч², канд. техн. наук

¹ Інститут проблем природокористування та екології НАНУ, Дніпро, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-8749-8478>, e-mail: andreev_V_G@ukr.net

² Дніпровський державний аграрно-економічний університет, Дніпро, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-5617-3566>, e-mail: gapichgennadii@gmail.com

Анотація. Представлено дослідження сучасного екологічного стану басейнів малих річок унаслідок зарегулювання штучними водними об'єктами на прикладі Дніпропетровської області. Наведена динаміка зміни водогосподарського будівництва, яка показує стрімке зростання кількості нових ставків в період з 1990 по 2018 рр. майже у 3 рази. Водночас, загальна динаміка споживання водних ресурсів в області за аналогічний період скоротилась у 4 рази. Отже, встановлено необґрунтовану розбалансованість будівництва нових об'єктів і попиту на воду. Очевидним є недотримання норм чинного законодавства, які визначені Водним кодексом України, щодо регулювання стоку річок і створення штучних водойм. Внаслідок перетворення природних водотоків у каскади «ставків-випаровувачів» відбувається екологічно небезпечна трансформація басейнів малих річок зі зміною гідрологічного, гідрохімічного, гідробіологічного і санітарного режимів. На сучасному етапі експлуатації, за змінних кліматичних умов, особливої небезпеки та загрози навколишньому середовищу можуть спричинити гідродинамічні аварії та шкідливий вплив водних стихій. Ця ситуація потребує забезпечення надійності роботи гідротехнічних споруд та водоскидів. Слід відзначити, що у Водному кодексі України відсутнє поняття екологічної безпеки водних об'єктів та річкових басейнів. Для загального оцінювання рівня екологічної безпеки, пов'язаної із водогосподарською діяльністю, запропоновано підхід із визначення коефіцієнта фрагментації річки, який визначається співвідношенням кількості ставків і водосховищ до довжини річки. За потреби оцінювання рівня екологічної безпеки річок на окремо взятій території (адміністративна область, район або водозбірний басейн) визначається коефіцієнт фрагментації через співвідношення кількості ставків і водосховищ до площі території. Порівняльна характеристика засвідчує, що Дніпропетровська область є однією з найбільш екологічно небезпечних з точки зору негативного впливу фрагментації річкових басейнів штучними водоймами. На прикладі басейну малої річки (Нижня Терса) представлена реалізація підходу щодо оцінювання рівня екологічної безпеки, пов'язаної з водогосподарською діяльністю. Запропоновано механізм підвищення рівня екологічної безпеки водокористування шляхом дотримання та реалізації різномірних груп показників, які визначають загальний рівень ефективності функціонування річкової екосистеми.

Ключові слова: екологічна безпека, водокористування, мала річка, ставок, водосховище.

Постановка проблеми. Господарська діяльність до початку ХХІ ст. базувалась на задоволенні потреб людини за рахунок необґрунтованого використання природних ресурсів з отриманням максимального прибутку. У результаті, на сьогодні навколишнє середовище опинилося на межі деградації, з жахливими наслідками для здоров'я і самого життя людини [1]. Значні зміни, що відбуваються практично в усіх сферах господарювання, прямо або опосередковано помітно вплинули на динаміку природокористування, зокрема використання водних ресурсів. Збереження, відновлення та раціональне використання наземних і внутрішніх

прісноводних екосистем є одним з головних питань, які були визначені у Підсумковому документі Саміту ООН зі сталого розвитку у 2015 р. [2] та є основою водної стратегії України [3, 4].

Проблеми дослідження водних екосистем та дієві намагання їх вирішити тривають не одне десятиліття [5–8]. На жаль, можна констатувати не лише поступове погіршення рівня екологічної безпеки водокористування, а й перехід до загрозового, катастрофічного стану. Особливо гостро така ситуація спостерігається в басейнах малих річок степової зони України, основна природна функція яких є живлення великих водотоків. Майже

всі малі річки на півдні і в центральних маловодних районах України зарегульовані від 70 до 100% внаслідок будівництва значної кількості ставків і водосховищ. У більшості випадків це обумовлює відсутність транспортуючої та їх низьку самоочисну здатність. Польовими обстеженнями та дослідженнями із застосуванням дистанційних ГС технологій встановлено, що понад 50% малих річок не мають постійного руслового стоку на фрагментованих ділянках протягом усього календарного року. Такі явища як замулення та пересихання ставків і малих водосховищ набули значних масштабів. Недоліком є відсутність належної бази даних стосовно гідрохімічних показників стану водотоків у басейнах малих річок та розташованих на них ставків і малих водосховищ.

Додатковим фактором екологічної небезпеки водокористування є змінні кліматичні умови [9–11]. На сьогодні спостерігається тенденція випадіння понаднормативної кількості опадів за значно менші терміни часу, що негативно впливає на перерозподіл річкового стоку. Внаслідок цього збільшується ризик виникнення гідродинамічних аварій на каскадах ставків [12].

Отже, відновлення та раціональне водокористування, що базується на принципах басейнового управління, потрібно розпочинати з оздоровлення екосистем малих річок.

Актуальність дослідження. Результатом необдуманого господарської діяльності є недотримання умов та обмежень щодо регулювання річкового стоку за допомогою будівництва ставків і водосховищ. Внаслідок негативного впливу на гідрологічний, гідробіологічний і санітарний режими малих річок значна їх кількість втрачена. Через збільшення кількості штучних водних об'єктів зростають, також, обсяги непродуктивних втрат водних ресурсів на випаровування з водної поверхні. Відсутність санітарних попусків вкрай негативно впливає на якісні характеристики води. Втрата стоку в басейнах малих річок негативно впливає на формування стоку середніх та великих водотоків. Щорічно на розробку проектів та реалізацію заходів із розчистки малих річок освоюються десятки та сотні мільйонів гривень. Але розчистка русел має короткотерміновий ефект і проблеми не тільки залишаються, а іноді зростають. Отже, задля вирішення завдання відновлення малих річок недостатньо займатись лише питаннями поліпшення гідрологічного режиму за рахунок розчистки русел. Необхідно адаптувати поняття екологічної безпеки стосовно

водних об'єктів і, в першу чергу, малих річок та їх водозбірних басейнів і розробити дієву методологію щодо оцінювання стану їх екологічно безпечного рівня функціонування.

Мета дослідження. Оцінити сучасний стан водокористування в басейнах малих річок степової зони України. Проаналізувати тенденцію регулювання стоку басейнів малих річок у контексті оцінки загального тренду змін обсягів водоспоживання. Оцінити стан (рівень) екологічної небезпеки подальшого виснаження і трансформації гідрологічних параметрів стоку річкових басейнів. Запропонувати нові підходи до управління та відновлення водних екосистем малих річок степової зони України.

Методи дослідження. Аналітичний огляд джерел інформації та узагальнення офіційних статистичних результатів звітності; математична обробка отриманих результатів із застосуванням геоінформаційних систем, комп'ютерних програм і графічних редакторів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблематиці водної безпеки та стратегії сталого розвитку України, а також питанням оцінки екологічного стану річкових екосистем, відновлення та раціонального використання водних ресурсів присвячені праці таких вчених: Ромащенко М.І. [3, 4], Вишневський В.І. [8, 9], Рокочинський А.М., Сташук В.А. [14], Сторожук В.М., Злочевський М.В., Петрук Г.М. [7], Гребінь В.В., Хільчевський В.К. [16] та інші.

Результати та їх обговорення. Гідрографічна мережа Дніпропетровської області представлена 291 річкою загальною довжиною близько 6,6 тис. км [13], а також 5140 малих струмків та водотоків довжиною 15,2 тис. км. Використання значних потреб водних ресурсів для забезпечення розвитку галузей економіки в середині минулого століття обумовило побудову великої кількості ставків і водосховищ на території області [14–16]. На сьогодні обліковується 100 водосховищ загальною місткістю ~ 900 млн. м³ і площею водного дзеркала близько 20 тис. га, а також 3292 ставка загальним об'ємом ~ 275 млн. м³ з площею водного дзеркала 18,8 тис. га. Динаміка регулювання стоку басейнів малих річок за кількістю зведених штучних об'єктів (рис. 1) є цікавою в розрізі зміни об'ємів водокористування (рис. 2).

Аналіз представлених даних засвідчує, що загальний обсяг використання води в Дніпропетровській області в період з 1990 по 2018 роки скоротився у 4 рази практично в усіх галузях: промисловість, житлово-кому-

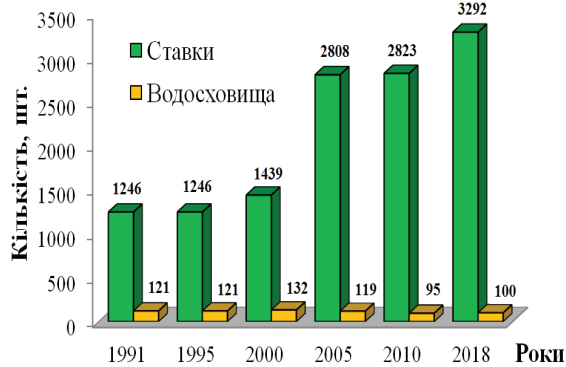


Рис. 1. Динаміка зміни кількості штучних водних об'єктів у басейнах річок Дніпропетровської області



Рис. 2. Динаміка використання водних ресурсів у Дніпропетровській області

нальне господарство, зрошення [17] та інші. До того ж слід відзначити, що забезпечення водогосподарських потреб відбувається за рахунок великих водосховищ і магістральних каналів. Характерно, що на досліджуваний період припадає майже 3-кратне збільшення кількості збудованих ставків. Тобто, має місце очевидна розбалансованість між попитом на воду і створенням додаткових обсягів за рахунок будівництва нових об'єктів. Водночас, виникають сумніви щодо дотримання норм чинного законодавства, а саме «Обмеження щодо регулювання стоку річок і створення штучних водойм», які визначені статтею 82 Водного кодексу України.

Водогосподарська діяльність у басейнах малих річок Дніпропетровської області орієнтована, насамперед, на вирішення завдань малого зрошення та задоволення рибогосподарських потреб. Відзначимо, що місцевий стік, який формується у межах області, складає 825 млн. м³ [13-16]. Водночас, сумарний обсяг ставків і малих водосховищ сягає

1175 млн. м³, що на 350 млн. м³ більше об'єму місцевого стоку, тобто стік повністю зарегульовано, що створює умови для формування екологічно небезпечних наслідків природокористування в басейнах малих річок. Річний стік під впливом побудованих ставків і водосховищ зменшується та залежить від конкретних фізико-географічних умов, в яких перебувають водойми [18].

Отже, переважна більшість малих річок степової зони України на сьогодні не відповідає критеріям природного водного об'єкта. Вони являють собою каскади штучних ставків-випаровувачів, які не мають між собою гідравлічного зв'язку, марно і безповоротно втрачають воду [16]. За даними [18], наведено розрахункове додаткове випаровування зі ставків і малих водосховищ за безльодоставний період (рис. 3).

Встановлені показники непродуктивних втрат води значно перевищують обсяги, що використовуються в сільському господарстві (38,9 млн. м³) [13], на питні і санітарно-гігієнічні потреби (147,7 млн. м³), на зрошення (28,6 млн. м³), у рибному господарстві (129,9 млн. м³). Це засвідчує очевидне порушення екологічної рівноваги та безпеки водокористування у басейнах малих річок.

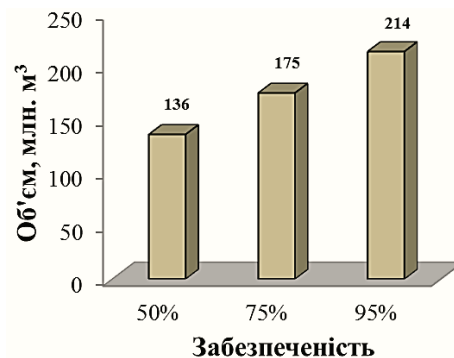


Рис. 3. Додаткове випаровування з поверхні ставків за безльодовий період за роками різної забезпеченості (за даними [18])

Для додаткової оцінки екологічного стану малих річок уперше запропоновано ввести коефіцієнт фрагментації річки ($K_{ф.р.}^l$), який можна розрахувати шляхом відношення загальної кількості штучних водних об'єктів до довжини річки або площі території, де вони розташовані:

$$K_{ф.р.}^l = \frac{N}{L}; \quad K_{ф.р.}^f = \frac{N}{F}, \quad (1)$$

де L – довжина річки, км;

F – площа території (адміністративна область, район, водозбірний басейн), км²;
 N – загальна кількість гребель на річці

Слід зазначити, що спочатку для додаткової оцінки рівня антропогенного навантаження на екосистеми малих річок передбачалося застосування $K_{ф.р.}$ виходячи з відношення кількості гребель до довжини окремо взятої річки або до загальної суми довжин всіх річок на території досліджень. Однак, під час оцінювання за узагальненими показниками довжини водотоків на території адміністративних областей автори зіткнулися з проблемою невідповідності або відсутності довідникових даних на офіційних сайтах регіональних офісів водних ресурсів і відкритих джерел інформації. У зв'язку з цим, на першочерговому етапі досліджень та оцінювання, запропоновано застосовувати $K_{ф.р.}$ для адміністративних областей, виходячи з відношення кількості гребель до площі території області. Такий підхід може бути реалізованим під час оперативного визначення коефіцієнта фрагментації річки і для територій районів, громад тощо. Разом з тим, детальний та обґрунтований аналіз запропоновано виконувати для окремо взятої річки або басейну її екосистеми.

Коефіцієнт фрагментації річок у розрізі областей дозволяє в першому наближенні виконати оцінку антропогенного навантаження на басейни середніх і малих річок (табл. 1).

Отримані результати ранжування свідчать про найбільшу кількість побудованих ГТС на одиницю площі території у Дніпропетровській і Кіровоградській областях, що, окрім існуючої екологічно загрозованої ситуації у

регіоні, є додатковим чинником техногенного навантаження.

Під час оцінювання рівня екологічно безпечного водокористування у басейні малої річки доцільним є визначення екологічного ризику по кожному конкретному водотоку. Запропонована шкала експоненціального розподілу умовного екологічного ризику від коефіцієнта фрагментації річки (рис. 4) та виділено шість основних рівнів екологічної небезпеки.

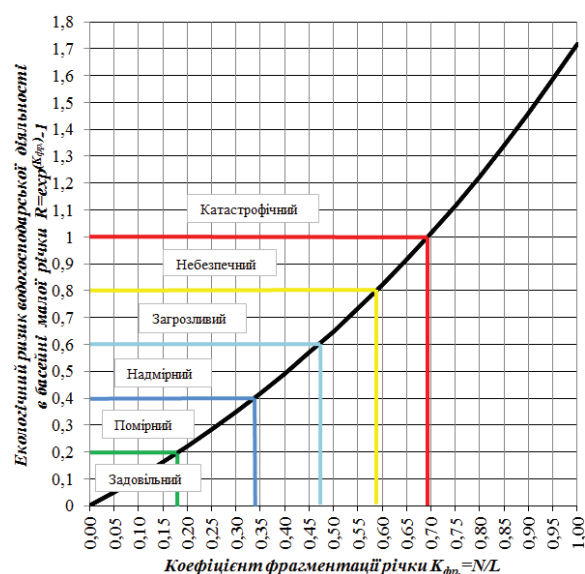


Рис. 4. Розподіл умовного екологічного ризику водогосподарської діяльності в басейні малої річки залежно від коефіцієнта фрагментації

0-0,2 – задовільний; 0,2-0,4 – помірний;
 0,4-0,6 – надмірний; 0,6-0,8 – загрозований;
 0,8-1,0 – небезпечний; більше 1,0 – катастрофічний

1. Порівняльна оцінка параметрів зарегулювання річкових басейнів та екологічної безпеки водокористування в різних областях України

Область	Площа території, тис. км ²	Водосховища, шт.	Ставки, шт.	Всього об'єктів, шт.	$K_{ф.р.}^f$
Кіровоградська	24,6	84	2761	2845	0,116
Дніпропетровська	31,9	101	3292	3393	0,106
Полтавська	28,8	69	2688	2757	0,096
Донецька	26,5	130	2146	2276	0,086
Харківська	31,4	57	2538	2595	0,083
Миколаївська	24,6	43	1155	1198	0,049
Запорізька	27,2	28	1195	1223	0,045
Херсонська	28,5	15	1154	1169	0,041
Одеська	33,3	64	992	1056	0,032
Луганська	26,7	73	360	433	0,016

Примітка: градація кольорів умовна, діапазон зміни обрано від найбільшого антропогенного навантаження внаслідок будівництва значної кількості штучних водних об'єктів (червоні відтінки) до найменшого (зелені відтінки).

Прикладом реалізації запропонованого підходу до оцінювання рівня екологічної небезпеки водокористування може бути дослідження однієї з малих річок Дніпропетровської області. Дослідження проведені на річці Нижня Терса (рис. 5) Синельниківського району [19]. Загальна довжина річки становить 39 км, площа водозбору – 312 км². Кількість приток різного порядку та балок становить близько 50 тимчасових водотоків загальною довжиною ~61 км. Отже, сумарна протяжність водотоків у басейні річки Нижня Терса складає 100 км.

Встановлено, що загальна кількість штучних об'єктів безпосередньо на самій річці складає 14 ставків і 1 водосховище. Отже, коефіцієнт фрагментації річки за довжиною складає $K_{ф.р.}^l = 0,38$, а розрахунковий коефіцієнт екологічного ризику водогосподарської діяльності $R = 0,46$, що відповідає надмірному рівню антропогенного навантаження.

Водночас, водогосподарська діяльність з точки зору басейнового принципу управління річковою екосистемою має зовсім інший характер. Загальна кількість штучних водних об'єктів складає 60 споруд. Коефіцієнт фрагментації річкового басейну за довжиною складає $K_{ф.р.}^l = 0,6$, а екологічний ризик водогосподарської діяльності у басейні річки $R = 0,82$, що відповідає небезпечному рівню антропогенного навантаження.

Отже, використання $K_{ф.р.}$ дозволить виконати ранжування басейнів за ознакою антропогенного впливу та визначити першочергові заходи з дерегуляції річки. Вважаємо, що важливим є запровадження обласних програм з оцінювання екологічної та соціально-економічної обґрунтованості подальшої експлуатації ставків. Більшість діючих нині об'єктів мають бути ліквідовані а річкам необхідно забезпечити постійну водну течію.

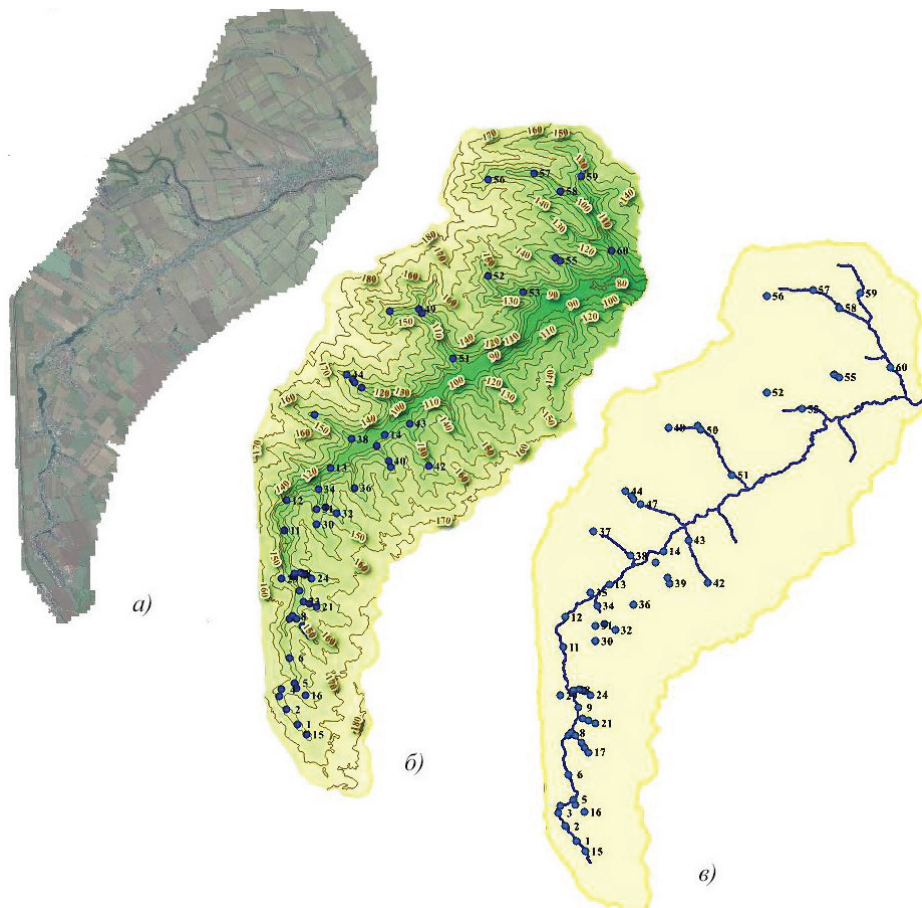


Рис. 5. Антропогенне навантаження штучними водними об'єктами басейну річки Нижня Терса (виконано із застосуванням геоінформаційної системи QGIS)

Примітка: а – оглядова карта території досліджень; б – цифрова модель рельєфу водозбору річки з притоками різного порядку; в – зарегулювання річкового басейну (точками і номерами позначені ставки та їх чисельність)

Насамперед це пов'язано з відмінною особливістю розташування малих річок та їх водозбірних басейнів в одному фізико-географічному районі. Такі процеси і стани як танення снігу, повінь, межень та інші на кожній малій річці мають приблизно однакові терміни початку і закінчення. З огляду на обставини, повінь проходить швидко та інтенсивно, і саме в цю фазу взаємодія потоку і русла створює умови для промивання річки від донних відкладень. Потужність потоку малих річок у межень незначна і будь-який вплив антропогенного характеру призводить до корінних змін її екологічної рівноваги. Регулювання потоку гідротехнічними спорудами призводить до замулення русла по всій довжині підпору, в результаті чого втрачається дренажна здатність річки і, як наслідок, починається процес підйому рівня ґрунтових вод, який створює низку незворотних негативних явищ.

За умов стрімкої зміни кліматичних умов підвищується актуальність забезпечення

надійності та безпеки роботи гідротехнічних споруд, які у випадку гідродинамічної аварії лише підвищують екологічні ризики та рівень антропогенного навантаження на прилеглі території.

Отже, розробка та запровадження дієвої системи стратегічного бачення щодо захисту, відновлення та раціонального використання водних екосистем малих річок повинна обґрунтовуватись критеріями екологічно безпечного функціонування за алгоритмом (рис. 6), а реалізація підходів забезпечуватись принципами системної оптимізації складних техно-природних екосистем.

Висновки. Дослідженнями встановлено розбалансованість між попитом водогосподарських потреб і кількістю створених ставків і водосховищ в басейнах малих річок. Значні об'єми зарегулювання перевищують природний річковий стік, що негативно впливає на екологічну безпеку водних об'єктів. Порівняльне оцінювання екологічної ситуації шляхом введення коефіцієнта



Рис. 6. Структурна схема екологічно безпечного функціонування басейну річки

фрагментації річки засвідчує, що найбільше навантаження припадає на басейни малих річок, розташованих у межах Дніпропетровської та Кіровоградської областей. Отже, для стабілізації і відновлення гідрологічного та екологічного стану малих річок степової зони України дуже актуальним є виконання детальної оцінки відповідності наявної кількості ставків і малих водосховищ у басейнах річок вимогам Водного кодексу України; еколого-економічне обґрун-

тування доцільності подальшої експлуатації для кожної окремо взятої водойми і споруди; розробка обласних програм ліквідації ставків і водосховищ, які не виконують своїх водогосподарських функцій та створюють екологічну небезпеку функціонуванню річкової екосистеми басейну; подальше удосконалення методичних підходів щодо оцінювання рівня екологічної безпеки водогосподарських об'єктів в басейнах малих річок.

Бібліографія

1. Новітня парадигма вилучення природних ресурсів з навколишнього середовища (під загальною редакцією чл.-кор. НАН України Шапара А.Г.). Дніпро, 2018. 128 с.
2. Цілі сталого розвитку в Україні [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://sdg.org.ua/ua/sdgs-and-governments>
3. Водна стратегія України на період до 2025 року (наукові основи) / Ромащенко М.І. та ін. Київ: 2015. 46 с.
4. Водна безпека – запорука сталого розвитку України / Ромащенко М.І. та ін. Вісник аграрної науки. 2018. №11(788). С. 177–185. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201811-22>.
5. Вендров С.Л. Жизнь наших рек. Ленинград: Гидрометеиздат. 1986. 112 с.
6. Лапшенков В.С. Без малых рек нет рек больших. Ростов. 1983. 128 с.
7. Злочевський М.В., Петрук Г.М., Клименко М.О., Древецький В.В. Відновлення водних екосистем малих річок України // Вісник інженерної академії України. 2010. №3-4. С. 227–230.
8. Шевчук С.А., Вишневецький В.І., Шевченко І.А., Козицький О.М. Дослідження водних об'єктів України з використанням даних дистанційного зондування // Меліорація і водне господарство. 2019. Вип. 2. С. 146–156. DOI:<https://doi.org/10.31073/mivg201902-198>.
9. Вишневецький В.І. Зміни клімату і річкового стоку на території України і Білорусі // Наукові праці УкрНДГМІ. 2001. Вип. 249. С. 89–105.
10. Горбачова Л.О. Сучасний внутрішньорічний розподіл водного стоку річок України // Український географічний журнал. 2015. №3. С. 16–23. DOI:[10.15407/ugz2015.03.016](https://doi.org/10.15407/ugz2015.03.016).
11. Звіт про науково-дослідну роботу «Проведення просторового аналізу змін водного режиму басейнів поверхневих водних об'єктів на території України внаслідок зміни клімату». Режим доступу: <https://uhmi.org.ua/project/rvndr/avr.pdf>.
12. Гапич Г.В. Аналіз причин гідродинамічної аварії на ґрунтових гідротехнічних спорудах каскаду штучних водойм // Вісник НУВГП. Технічні науки: збірник наук. праць. – Рівне: НУВГП, 2019. Вип. 1(85). С. 73–82. <https://doi.org/10.31713/vt120198>.
13. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Дніпропетровській області за 2017 рік [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://adm.dp.gov.ua/storage/app/media/EKOLOGIA/regionalna_dopovid_za_2017_rik_ekologia.pdf.
14. Вишневецький В.І., Сташук В.А., Сакевич А.М. Водогосподарський комплекс у басейні Дніпра: Наукове видання. Київ: Інтерпрес ЛТД. 2011. 188 с.
15. Шевелєв О.І., Гринюк В.І., Капука В.М., Андрієвський В.М. Історія розвитку та сучасний стан меліорації і водного господарства Дніпропетровщини. 2005. Дніпропетровськ: Дніпропетровське обласне виробниче управління водного господарства. 166 с.
16. Гребінь В.В., Хільчевський В.К., Сташук В.А. та ін. Водний фонд України: Штучні водойми – водосховища і ставки: Довідник. Київ: «Інтерпрес ЛТД» 2014. 164 с.
17. Рудаков Л.М., Гапич Г.В. Сучасний стан, динаміка змін та перспективи розвитку гідротехнічних меліорацій у Дніпропетровській області // Меліорація і водне господарство. 2019. Вип. 1. С. 54–60. DOI:<https://doi.org/10.31073/mivg201901-161>.
18. Стрелец Б.И. Справочник по водным ресурсам. Київ: Урожай. 1987. 304 с.
19. Рудаков Л.М., Гапич Г.В. Технічний стан гідротехнічних споруд на річці Нижня Терса // Вісник ДДАЕУ. 2016 №2(40). С. 47–51. Режим доступу: file:///C:/Users/Home/Downloads/vddau_2016_2_11.pdf

References:

1. Shapar, A.G. (Ed.). (2018). Novitnia paradyhma vyluchennia pryrodnykh resursiv z navkolyshnoho seredovishcha [The newest paradigm for natural resources extraction from the environment]. Dnipro. [In Ukrainian].

2. Tsili staloho rozvytku v Ukraini. [Sustainable development goals in Ukraine]. sdg.org.ua. Retrieved from: <http://sdg.org.ua/ua/sdgs-and-governments>. [In Ukrainian].
3. Romashchenko, M., Khvesik, M., & Mikhailov Yu. et all (2015). Vodna stratehiia Ukrainy na period do 2025 roku (naukovi osnovy) [Water strategy of Ukraine for the period until 2025 (scientific basis)]. Kiev. [In Ukrainian].
4. Romaschenko, M., Jatsiuk, M., Shevchuk, S., Shevchenko, A., Danylenko, Ju., Matiash, T., & Sydorenko, O. (2018). Vodna bezpeka – zaporuka staloho rozvytku Ukrainy [Water safety – as the mortgage of stable development of Ukraine]. *Bulletin of Agricultural Science*, Vol. 11(788), 177–185. Retrieved from: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201811-22>. [In Ukrainian].
5. Vendrov, S.L. (1986). Zhizn nashih rek [Life of our rivers]. Leningrad: Hydrometeoizdat. [In Russian].
6. Lapsenkov, V.S. (1983). Bez malyyih rek net rek bolshih [Without small rivers there are no large rivers]. Rostov. [In Russian].
7. Zlochevskiy, M., Petruk, G., Klimenko, M., & Drevitsky, V. (2010). Vidnovlennia vodnykh ekosystem malykh richok Ukrainy [Restoration of aquatic ecosystems of small rivers of Ukraine]. *Bulletin of Engineering Academy of Ukraine*, Vol. 3–4, 227–230. [In Ukrainian].
8. Shevchuk, S., Vyshnevskiy, V., Shevchenko, I., & Kozytzkyi, O. (2019). Doslidzhennia vodnykh ob'ektiv Ukrainy z vykorystanniam danykh dystantsiinoho zonduvannia [Research of water objects of Ukraine using the data of remote sensing of the earth]. *Land Reclamation and Water Management*, Vol. 2, 146 – 156. Retrieved from: <https://doi.org/10.31073/mivg201902-198>. [In Ukrainian].
9. Vishnevsky, V. (2001). Zminy klimatu i richkovoho stoku na terytorii Ukrainy i Bilorusi [Climate change and river runoff in Ukraine and Belarus]. *Scientific works of krainian Research Institute of Hydrotechnics and Reclamation*, Vol. 249, 89–105. [In Ukrainian].
10. Gorbachova, L. (2015). Suchasnyi vnutrishnorichnyi rozpodil vodnoho stoku richok Ukrainy [Modern intra-annual distribution of water runoff in Ukraine's rivers]. *Ukrainian Geographical Journal*, Vol. 3, 16–23. doi:10.15407/ugz2015.03.016. [In Ukrainian].
11. Zvit pro naukovo-doslidnu robotu «Provedennia prostorovoho analizu zmin vodnoho rezhymu basiniv poverkhnevyykh vodnykh ob'ektiv na terytorii Ukrainy vnaslidok zminy klimatu» [Report on research work “Carrying out spatial analysis of changes in the water regime of basins of surface water bodies in the territory of Ukraine due to climate change”]. [uhmi.org.ua](https://uhmi.org.ua/project/rvndr/avr.pdf). Retrieved from: <https://uhmi.org.ua/project/rvndr/avr.pdf>. [In Ukrainian].
12. Hapich, H. (2019). Analiz prychnyn hidrodinamichnoi avarii na hruntovykh hidrotekhnichnykh sporudakh kaskadu shtuchnykh vodoim [Analysis of the causes of hydrodynamic accident on the soil dams of the cascade of artificial reservoirs]. *Bulletin of the National University of Water and Environmental Engineering*, Vol. 1(85), 73–82. Retrieved from: <https://doi.org/10.31713/vt120198>.
13. Rehionalna dopovid pro stan navkolyshnoho pryrodnoho seredovysshcha v Dnipropetrovskii oblasti za 2017 rik [Regional report on the state of the environment in Dnipropetrovsk region for 2017]. adm.dp.gov.ua. Retrieved from: https://adm.dp.gov.ua/storage/app/media/EKOLOGIA/regionalna_dopovid_za_2017_rik_ekologia.pdf. [In Ukrainian].
14. Vishnevsky, V., Stashuk, V., & Sakevich, A. (2011). Vodohospodarskyi kompleks u basini Dnipra: Naukove vydannia [Water management complex in the Dnieper basin: Scientific publication]. Kiev. [In Ukrainian].
15. Shevelyev, O., Hryniuk, V., Kapuka, V., & Andrievsky, V. (2005). Istoriiia rozvytku ta suchasnyi stan melioratsii i vodnoho hospodarstva Dnipropetrovshchyny [History of development and current state of reclamation and water management in Dnipropetrovsk region]. Dnipro. [In Ukrainian].
16. Grebin, V., Khilchevsky, V., & Stashuk, V. et all (2014). Vodnyi fond Ukrainy: Shtuchni vodoimy – vodoshkovyshcha i stavky: Dovidnyk [Water Fund of Ukraine: Artificial reservoirs – reservoirs and ponds]. Kiev: Interpres LTD. [In Ukrainian].
17. Rudakov, L., & Hapich, H. (2019). Suchasnyi stan, dynamika zmin ta perspektyvy rozvytku hidrotekhnichnykh melioratsii u Dnipropetrovskii oblasti [Modern state, dynamics of changes and prospects for the development of hydrotechnical reclamations in Dnipropetrovsk region]. *Land Reclamation and Water Management*, Vol. 1, 54–60. Retrieved from: <https://doi.org/10.31073/mivg201901-161>. [In Ukrainian].
18. Strelets, B.I. (1987). Spravochnik po vodnym resursam [Water resources handbook]. Kiev: Urozhay. [In Russian].
19. Rudakov, L., & Hapich, H. (2016). Tekhnichnyi stan hidrotekhnichnykh sporud na richtsi Nyzhnia Tersa [Technical condition of hydraulic structures on the Lower Tersa river]. *Bulletin of the Dnipro State Agrarian and Economic University*, Vol. 2(40), 47–51. Retrieved from: file:///C:/Users/Home/Downloads/vddau_2016_2_11.pdf [In Ukrainian].

В.Г. Андреев, Г.В. Гапич

Влияние строительства прудов и водохранилищ на экологическую безопасность бассейнов малых рек степной зоны Украины (на примере Днепропетровской области)

Аннотация. Представлено исследование современного экологического состояния бассейнов малых рек в результате зарегулирования искусственными водными объектами на примере Днепропетровской области. Приведена динамика изменения водохозяйственного строительства, которая показывает стремительный рост количества новых прудов в период с 1990 по 2018 гг. практически в 3 раза. Вместе с тем, общая динамика потребления водных ресурсов в области за аналогичный период сократилась в 4 раза. Таким образом, установлена необоснованная разбалансированность строительства новых объектов и спроса на воду. Очевидно несоблюдение норм действующего законодательства (Водный кодекс Украины) по регулированию стока рек и созданию искусственных водоемов. В результате преобразования природных водотоков в каскады «прудов-испарителей» происходит экологически опасная трансформация бассейнов малых рек с изменением гидрологического, гидрохимического, гидробиологического и санитарного режимов. На современном этапе эксплуатации, при меняющихся климатических условиях, особую опасность и угрозу окружающей среде могут нести гидродинамические аварии и вредное воздействие водных стихий. Данная ситуация требует обеспечения надежности работы гидротехнических сооружений и водосбросов. Следует отметить, что в Водном кодексе Украины отсутствует понятие экологической безопасности водных объектов и речных бассейнов. Для общей оценки уровня экологической опасности, связанной с водохозяйственной деятельностью, предложен подход по определению коэффициента фрагментации реки, который определяется соотношением количества озер и водохранилищ к длине реки. В случае оценки уровня экологической опасности рек на отдельной взятой территории (административная область, район или водосборный бассейн) определяется коэффициент фрагментации через соотношение количества озер и водохранилищ к площади территории. Сравнительная характеристика показывает, что Днепропетровская область является одной из наиболее экологически опасных с точки зрения негативного влияния фрагментации речных бассейнов искусственными водоемами. На примере бассейна малой реки (Нижняя Терса) представлена реализация подхода к оценке уровня экологической безопасности, связанной с водохозяйственной деятельностью. Предложен механизм повышения уровня экологической безопасности водопользования путем соблюдения и реализации разнородных групп показателей, которые определяют общий уровень эффективности функционирования речной экосистемы.

Ключевые слова: экологическая безопасность, водопользование, малая река, водохранилище.

V.G. Andrieiev, H.V. Hapich

Impact of ponds and reservoirs construction on the environmental safety of small river basins of the steppe zone of Ukraine (the case of Dnipropetrovsk region)

Abstract. The study of the current ecological status of small river basins due to the regulation of artificial water bodies by the example of Dnipropetrovsk region is presented. The dynamics of the change of water construction is shown, which shows a rapid increase in the number of new ponds between 1990 and 2018 by almost 3 times. At the same time, the overall dynamics of water consumption in the region in the same period decreased by 4 times. Thus, unjustified unbalance of construction of new facilities and demand for water was established. It is obvious that the rules of the current legislation, defined by the Water Code of Ukraine, regarding the regulation of river flow and creation of artificial reservoirs are not observed. Due to the transformation of natural watercourses into cascades of «evaporator ponds» there is an ecologically dangerous transformation of small river basins with the change of hydrological, hydrochemical, hydrobiological and sanitary regimes. At the present stage of exploitation, weather conditions can change; hydrodynamic accidents and the harmful effects of water elements can cause particular danger and threat to the environment. This situation requires the reliability of hydraulic structures and spillways. It should be noted that there is no concept of environmental safety of water facilities and river basins in the Water Code of Ukraine. For a general assessment of the level of environmental hazards associated with water management, an approach is proposed to determine the river fragmentation coefficient, which is determined by the ratio of the number of ponds and reservoirs to the length of the river. When assessing the level of environmental risk of rivers in a particular territory (administrative area, district or catchment area), the fragmentation coefficient is determined by the ratio of the number of ponds and reservoirs to the area of the territory. Comparative characteristics indicate that Dnipropetrovsk region is one of the most environmentally dangerous in terms of the negative impact of fragmentation of river basins by artificial reservoirs. The example of a small river basin (Nyzhnia Tersa) presents the implementation of an approach to assessing the level of environmental safety associated with water management. A mechanism is proposed to increase the level of environmental safety of water use by observing and implementing heterogeneous groups of indicators that determine the overall level of efficiency of the river ecosystem functioning.

Key words: environmental safety, water use, small river, pond, reservoir.

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202001-229>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/229>

УДК 556.53: (477-25)

ЗНИКЛІ ТА ЗБЕРЕЖЕНІ ОЗЕРА НА ПОЗНЯКАХ У КИЄВІ

С.А. Шевчук¹, канд. техн. наук, О.М. Козицький², В.І. Вишневський³, докт. геогр. наук

¹ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0001-5844-4980>; e-mail: sergey_shevchuk_@ukr.net

² Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-2900-1598>; e-mail: olegkoz@ukr.net

³ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-4459-6331>; e-mail: vishnev.v@gmail.com

Анотація. За картографічними джерелами і даними супутникового знімання проаналізовано зміни гідрографічної мережі в лівобережній частині Києва. Основну увагу приділено мікрорайонам Позняки і Дарниця. Встановлено, що в минулому на цій території налічувалася велика кількість річок та озер, більшість з яких уже не існує. Висловлено думку про те, що зникнення багатьох водних об'єктів, згаданих в історичних джерелах, могло бути викликано змінами клімату, зокрема підвищенням температури повітря протягом періоду з кінця XIX ст. Іншим чинником стала господарська діяльність – насамперед підвищення позначок місцевості напередодні будівництва нових житлових масивів і промислових підприємств. Крім того, на гідрографічну мережу вплинуло спорудження в 1868–1870 рр. залізниці, яка перерізала навпіл найбільше в цьому районі оз. Тельбин. Наведено відомості про зниклі озера, а також ті, що збереглися. Найбільшу увагу приділено двом наявним озерам у межах мікрорайону Позняки-2: Жандарка і Качине. Визначено їх розміри та екологічний стан. Описано спробу засипати оз. Качине і побудувати на його місці великий будинок. Встановлено, що вода в досліджуваних озерах має значний вміст органічних сполук, про що свідчить високий рівень хімічного споживання кисню. Особливо це стосується оз. Качине, яке нині стало ізольованим від інших. Наведено дані про якісні показники донних відкладів у цих озерах. Описано характерні види водної та повітряно-водної рослинності. За даними дистанційного зондування Землі, показано позитивний вплив озер на мікроклімат місцевості. Встановлено, що екологічний стан більшості водойм, що збереглися, є проблемним, але їх існування збагачує ландшафт та є місцем для відпочинку. Зроблено висновок про доцільність збереження цих озер як небагатьох природних об'єктів у цьому мікрорайоні. Висловлено думку про доцільність створення Кадастру водних об'єктів Києва як одного зі шляхів збереження водойм у місті.

Ключові слова: озеро, екологічний стан, Київ, Позняки, карта, дистанційне зондування Землі.

Актуальність дослідження. Низинність лівобережної частини Києва є свідченням того, що в минулому тут існувала велика кількість водойм. Нині внаслідок низки чинників, насамперед забудови цієї території, багатьох із них уже немає. Водночас водні об'єкти, що збереглися, мають різноманітне значення. Насамперед вони урізноманітнюють ландшафт. Крім того, слугують зоною відпочинку, зокрема дають змогу мешканцям прилеглих будинків подихати чистим повітрям під час прогулянок. Існує позитивний вплив збережених водойм і на мікроклімат місцевості. У поодиноких випадках якість води в озерах достатня навіть для пляжного відпочинку. У цьому разі особливу цінність мають озера, розташовані серед щільно забудованої території, до якої належать Позняки.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Існує чимало публікацій, що присвячені водоймам Києва [1, 3–5, 8–11, 14–16]. Ці

праці умовно можна поділити на дві групи: краєзнавчі та наукові. На жаль, останніх не так багато. Звичайно вони присвячені екологічному стану водойм [4, 14, 15]. Праць, які би відображали гідрографічні зміни, зокрема в лівобережній частині Києва, практично немає.

Метою дослідження є з'ясування історії існування озер, розташованих у лівобережній частині Києва (насамперед у межах Позняків), а також визначення ролі тих, що збереглися.

Матеріал і методика досліджень. Основним джерелом даних для цієї статті стали карти лівобережної частини Києва, укладені протягом періоду, починаючи з кінця XVII ст. Крім того, значне використання набули дані дистанційного зондування Землі, яке здійснюється в останні десятиліття. Окремі відомості про водні об'єкти отримано з опублікованих праць, зокрема тих, в яких відтворені архівні дані. Значним був також обсяг виконаних польових досліджень, який

полягав у визначенні розмірів водойм та їх екологічного стану.

Результати дослідження та їх обговорення. Лівобережна частина м. Києва протягом істотно довгого часу становила собою широку заплаву Дніпра, що часто затоплювалася [2]. Водночас близькість до ріки та правобережної частини міста мали певні переваги. Тож, уже кілька століть тому на лівобережжі існували людські поселення. Найбільшими з них були Микільська Слобідка з хутором Дарниця, Кухмістерська слобідка з хуторами Березняк, Позняки, Осокорки. Поступово хутори перетворювалися на села, причому доволі великі. Таким, зокрема, стало село Позняки [9].

Навколишні землі згаданих сіл були багаті не лише на водойми, а й на цінні заливні луки. Про цінність цих земель свідчать, зокрема, відомості щодо майнових меж, наведені у [10]. Опис місцевості, який відповідає кінцю XVII ст., свідчить про наявність великої кількості річок і водойм, яких уже немає. Наведемо фрагмент документа, датованого 1693 р.: “речкою Позняківкою, до моста на Тербин-речке, да в речку Дарниця”. У зазначеній праці згадано ще велику кількість річок та озер, розташування яких нині дуже складно встановити. Водночас сам опис майнових меж, прив’язаний до водних об’єктів, свідчить про те, що вони були добре відомі. Можна припустити, що втрата знань про ці об’єкти в наступний історичний час сталася внаслідок їх зникнення через кліматичні зміни. Період з XVII ст. до першої половини XIX ст. вирізнявся порівняно невисокою температурою, що дало змогу назвати

його “малим льодовиковим періодом” [6, 7]. Випадки того, що сніг вкривав землю наприкінці квітня і навіть на початку травня, згадано у працях Г.І. Швеця [12]. До того ж навіть не йдеться про клімат в останнє десятиліття з аномально високою температурою, яка спостерігалася в 2015 і 2019 рр.

Основним засобом боротьби мешканців низинних ділянок із затопленням було будівництво будинків на палях, про що свідчать фото, зроблені на початку XX ст. З іншого боку, потреба у дешевій енергії визначала те, що на багатьох річках, навіть на тихоплинній Дарниці, було збудовано млини, а відповідно й ставки.

Певний вплив на рельєф лівобережної частини міста, починаючи з XVII ст., почали мати дороги, насамперед ті, що тяжіли до Неводницької (Наводницької) переправи [5]. У 1853 р. над Дніпром було збудовано перший капітальний, а саме Ланцюговий міст, продовженням якого став шлях на Бровари [2]. Проте, ще більшими виявилися зміни місцевості на лівобережжі Дніпра, пов’язані з будівництвом ділянки Московсько-Курської залізниці у 1868–1870 рр. Насип цієї залізниці перерізав навпіл видовжене оз. Тельбин, яке становило собою старицю Дніпра.

Уперше водойми в лівобережній частині Києва більш-менш детально показано на карті 1914 р., на якій основну увагу приділено ділянці Дніпра в межах міста. На карті наведено назви кількох озер, розташованих південніше згаданої залізниці: Коростишево, Ольхово, Речка, Криничка, Питвиново, Зареваха, Белое.

Наступний картографічний твір, який заслуговує уваги, так звана карта “РККА” 1930-х років. На ній, зокрема, північну частину оз. Тельбин підписано “оз. Тельбин”, а південну – “Нижній Тельбин”.

Доволі інформативними є також результати німецької аерофотозйомки Києва, яку було виконано 26 вересня 1943 р. Але, зрозуміло, що жоден об’єкт тут не підписано. Водночас цінністю цієї аерофотозйомки є можливість аналізу території, яка переважно залишалася незабудованою.

Численні водойми в межах сучасного житлового масиву Позняки позначено і підписано на плані, що вміщений на форзаці книги [8]: Нижній Тельбин, Солоне, Ластовник, Васильківська Прірва, Убідь, Піщане, Жандарка, Наумка, Біле, Ковтуб (рис. 1).

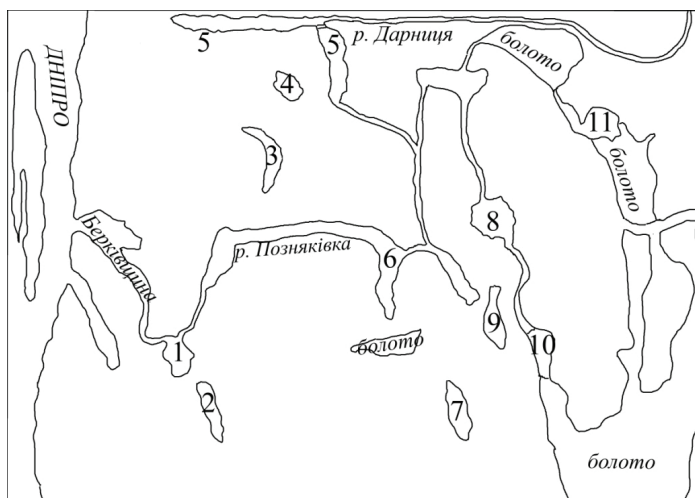


Рис. 1. Розташування озер згідно [8]: 1 – Піщане, 2 – Біле, 3 – Ластовник, 4 – Солоне, 5 – Нижній Тельбин, 6 – Жандарка, 7 – Ковтуб, 8 – Васильківська Прірва, 9 – Наумка, 10 – Тильниця, 11 – Убідь

Цей картографічний матеріал став останнім, на якому показано і підписано численні водойми на Позняках, адже наприкінці 1960-х років тут почалися значні зміни, викликані підготовкою цієї місцевості для висотної забудови. Ця діяльність тривала кілька десятиліть, включно з початком XXI ст. Як наслідок, від колишнього озера краю залишилися лише спогади старожилів. Утім, кілька озер у межах Позняків усе ж залишилося: Нижній Тельбин, Буревісник, Жандарка, Качине та Вулик. Як видно, деякі озера набули нової назви.

Створення оз. Нижній Тельбин на місці його сучасного розташування було пов'язано зі створенням Дарницької промзони наприкінці 1940-х та початку 1950-х років. До цієї промзони належала низка екологічно-небезпечних підприємств: завод "Радикал" (1949–1952), Дарницька ТЕЦ (1952–1954). Ще раніше – у 1937 р. – запрацював завод "Хімволокно". Відведення стічних вод зі згаданих підприємств у р. Дарниця спричинювало її істотне забруднення, а відповідно й водойм у с. Позняки, адже річка тоді текла через них. Тож, для збереження задовільного стану водойм для р. Дарниці проклали нове русло вздовж залізниці, а в тому місці, де вона повертала на південь, у 1952 р. спорудили дамбу [8].

Нині оз. Нижній Тельбин є одним із найбільш проблемних у Києві. Хоча більшість згаданих підприємств уже не працює, р. Дарниця, а відповідно й згадане озеро продовжує приймати великий обсяг скидів. Найбільший обсяг стічних вод надходить із золовідвалу Дарницької ТЕЦ, який ще має

назву оз. Гарячка. На додаток до цього, залишається вплив поверхневих вод, які формуються в межах уже згаданих підприємств, автостоянок, автомийок та ін. Серед цих підприємств особливої уваги потребує завод "Радикал", який у минулому випускав пестициди [3, 11, 16].

Розташоване на Позняках озеро Буревісник (Корольок) у загальних рисах відповідає південній частині оз. Тельбин, яке було перерізано згаданою вище залізницею. Перша назва цього озера походить від назви розташованого поряд військового заводу "Буревісник", який уже не працює. У минулому (до 1952 р.) в це озеро впадала р. Дарниця. Нині екологічний стан озера набагато кращий ніж сучасного оз. Нижній Тельбин. Його зариблено і за плату тут можна рибалити.

Найменшими озерами на Позняках є Жандарка, Качине та Вулик. Озеро Жандарка простежується на багатьох картографічних творах, починаючи з XVIII ст. Те саме на аерофотознімках 1943 р. У минулому воно було гідравлічно пов'язано з багатьма сусідніми водоймами. Через нього протікала р. Дарниця, яка до цього потрапляла в озеро, що нині має назву Буревісник (Корольок). Відповідно до [8], назва річки, що витікала з озера, була Позняківка. Низинність території біля цього озера зумовила те, що масове житлове будівництво розпочалося тут найпізніше – після 2000 р. В основному воно було закінчено в 2012 р. (рис. 2).

Порівняння наведених знімків дає підставу вважати, що поява житлових будинків біля оз. Жандарка частково була пов'язана з видобутком ґрунту з його південної частини. Нині



Рис. 2. Озера Жандарка (1) і Качине (2) на супутникових знімках: ліворуч – 25.06.2004 р., праворуч – 08.06.2010 р.

озеро Жандарка, яке мало тісний гідравлічний зв'язок з іншими прилеглими водоймами, може вважатися практично ізольованим. Щоправда, воно усе ж зв'язано з Дніпром бетонною трубою діаметром 1000 мм, що бере початок у вузькій західній частині озера. Проте, навіть за умов наявності води у трубі, рух води тут ледь помітний.

Полюві дослідження озера було виконано авторами статті в червні 2018 р. Це дало змогу встановити площу озера, а також розподіл глибин у ньому (рис. 3).

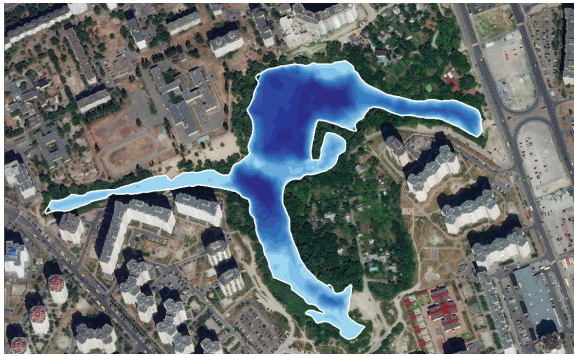


Рис. 3. Розподіл глибин в оз. Жандарка

Як видно на рисунку, в озері Жандарка існують дві глибоководні зони, розділені мілководною смугою. Власне, ця смуга добре простежується і на супутникових знімках. Максимальна виміряна глибина озера відносно рівня води 93,2 м БС становить 6,88 м, площа озера – 5,62 га.

Озеро Жандарка, принаймні візуально, перебуває в задовільному стані. Воно має доволі значну відкриту акваторію, що відпо-

відає глибоководним ділянкам. На мілководді поширена водна рослинність: як із плаваючим листям (гличики жовті, латаття біле, сальвінія плаваюча), так і занурена (кушир занурений, рдесник). На берегах багато повітряно-водної рослинності, в якій домінує очерет звичайний. Зустрічається також рогіз широколистий та рогіз вузьколистий.

Біля озера Жандарка, хоч і домінує висотна забудова, збереглися два невеличкі фрагменти приватного сектора – біля його східної та північно-східної частин. Централізованої каналізації тут немає.

На південному березі озера є й невеличкий пляж, хоча безпечність купання в озері є сумнівною – насамперед за санітарно-епідеміологічними вимогами.

За 200–220 м на північ та північний схід від оз. Жандарка розташоване оз. Качине. Ще донедавна воно було майже невідоме і навіть не мало власної назви. Але спроба засипати це озеро в 2016 р. і збудувати на його місці висотний житловий будинок спричинили супротив громадськості. Певний резонанс набув і зміст так званої експертизи, з якої випливало, що на досліджуваній території “є штучного походження заболочена територія” [14].

Насправді, це озеро, як і сусіднє Жандарка, існує дуже давно – принаймні з того часу, як почалося картографування цієї місцевості. Утім, з огляду на невеликі розміри озера, встановити точно яким воно було в XIX ст. чи на початку XX ст. проблематично. Разом з тим згадане озеро дуже добре показано на топографічній карті 1990 р. (рис. 4).

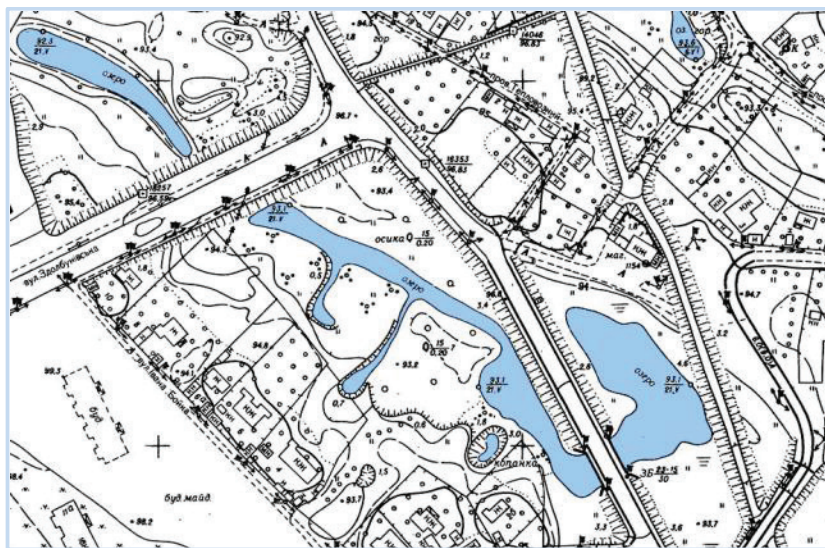


Рис. 4. Фрагмент карти масштабу 1:2000 (ГУГК ССРСР, 1990), на якому позначено сучасне оз. Качине

Важливо, що на зазначеній карті водойму не лише показано, а й підписано словом “озеро”. До того ж подано рівень води на урізі – 93,4 м. Це також є ознакою тривалого існування озера. Наведена карта дає підстави вважати, що в минулому воно становило собою старицю на заплаві Дніпра.

Нині озеро Качине вже втратило гідравлічний зв'язок із сусідніми. Перепускна труба під вул. Здолбунівська (з північного боку) засипана. Зі сходу озеро обмежено проспектом Григоренка. Водночас біля південно-західного берега збереглося кілька приватних садиб із невеличкими городами і садками.

Проміри глибин оз. Качине виконано 09.06.2018 р. Максимальна виміряна глибина тут становить 2,1 м (рис. 5).

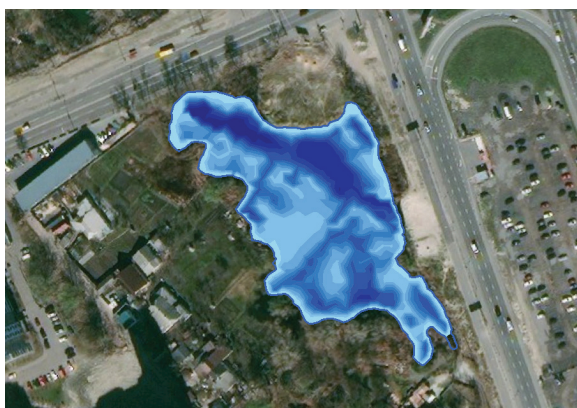


Рис. 5. Розподіл глибин в оз. Качине

На цьому зображенні чітко видно наслідки засипання озера, що істотно позначилося на його розмірах. Нині його площа становить 0,93 га.

Невеликі розміри досліджуваних озер і водночас наявність антропогенного впливу визначають актуальність питання щодо якості води. Результати аналізу проб, взятих 13.06.2018 р., свідчать про те, що за більшістю гідрохімічних показників кращою є якість

води в оз. Жандарка, гіршою – в оз. Качине (табл. 1).

Наведені дані свідчать про доволі значний показник ХСК, який відображає забруднення озера органічними речовинами, що, з огляду на його розташування, цілком зрозуміло.

Екологічний стан озер пов'язаний зі станом донних відкладів. У цьому разі значний інтерес являє забруднення ґрунтів металами, які найгірше піддаються біодеструкції (табл. 2).

Отримані дані можна порівняти з результатами інших досліджень, виконаних авторами на інших водоймах Києва. В озерах Жандарка та особливо Качине концентрація хімічних сполук у воді є більшою ніж в озерах Алмазне та Заплавне, які також розташовані в лівобережній частині Києва. Так, характерні концентрації деяких показників у воді оз. Алмазне такі: ХСК – 30–50 мг/дм³, сухий залишок – 300–500, Cu – 0,008, Mn – 0,004, Pb – 0,001 мг/дм³. Близькими є й концентрації в оз. Заплавне: ХСК – 25–30 мг/дм³, сухий залишок – 360–370, Cu – 0,001, Mn – 0,004, Pb – 0,0005 мг/дм³ [15].

Порівняно з озерами Алмазне та Заплавне, у досліджуваних озерах вищою є також концентрація хімічних сполук у донних відкладах. Для прикладу, концентрація цинку в донних відкладах озер Жандарка і Качине на порядок більша ніж в оз. Алмазне.

Такі відмінності зумовлені значним антропогенним впливом на озера. Особливо це стосується оз. Качине, яке не лише маленьке, а й ізольоване. З великою ймовірністю можна стверджувати, що на нього негативно впливають як близькість автошляхів, так і Дарницька ТЕЦ з її золовідвалом.

Окремої згадки потребує також невеличке озеро Вулик, розташоване за 600 м на схід від озер Жандарка і Качине (координати: 50°24'51" пн. ш. і 30°37'57" сх. д.). Довжина цього озера – 130–140 м. В озері виділяються

1. Якісні характеристики води в озерах Жандарка і Качине, 13.06.2018 р.

Озеро	Сух. зал.	ХСК	NO ₂	NO ₃	NH ₄	P ₂ O ₅	Fe	Cu	Zn	Mn
Жандарка	771	67,3	сліди	0,8	сліди	0,064	0,3	0,019	0,002	0,028
Качине	969	154	сліди	1,8	сліди	0,56	0,4	0,020	0,009	0,514

2. Якісні характеристики поверхневого шару донних відкладів в озерах Жандарка і Качине, 13.06.2018 р.

Озеро	Cl	SO ₄	K	Na	Мін. залиш.	Fe	Zn	Mn	Pb	Cu
Жандарка	0,71	4,0	1,25	1,85	0,034	662,0	96,5	32,6	0,31	2,1
Качине	42,6	32,0	3,65	50,0	0,143	1776	103,7	61,1	0,28	2,8

два плеса: східне та західне, з яких перше є більшим. Між ними існує вузькість шириною близько 15 м.

Озеро Вулик є дуже зарослим: як водною, так і повітряно-водною рослинністю. У самій воді домінує кушир, на берегах – очерет звичайний, рогіз вузько- та широколистий. На берегах є також представник адвентивних рослин – ваточник сирійський.

На жаль, озеро є засміченим. Водночас видно і зусилля щодо збереження порядку біля озера. На південному та східному берегах встановлено кілька лавок, а також урн для сміття. Є й табличка, встановлена місцевими активістами, щодо необхідності чистоти території.

Велика щільність забудови досліджуваної частини Києва позначається на мікрокліматі цієї місцевості. У цьому можна переконатися шляхом побудови зображень місцевості з використанням термального каналу супутника Landsat 8 [13]. Оазами порівняно невисокої температури є водойми, меншою мірою – зелені насадження (рис. 6).

Наведений рисунок красномовно свідчить про те, що відмінність у температурі земної та водної поверхонь дуже велика. Це, своєю чергою, свідчить про позитивний вплив водойм на мікроклімат прилеглої місцевості.

Висновки. Промислова та житлова забудова лівобережної частини Києва, що супроводжувалася масштабним наливом території, спричинила істотні зміни гідрографічної мережі, зникнення великої кількості водойм. Іншим ймовірним чинником зникнення водних об'єктів стали кліматичні зміни. Найменша кількість водойм, що існували раніше, зали-

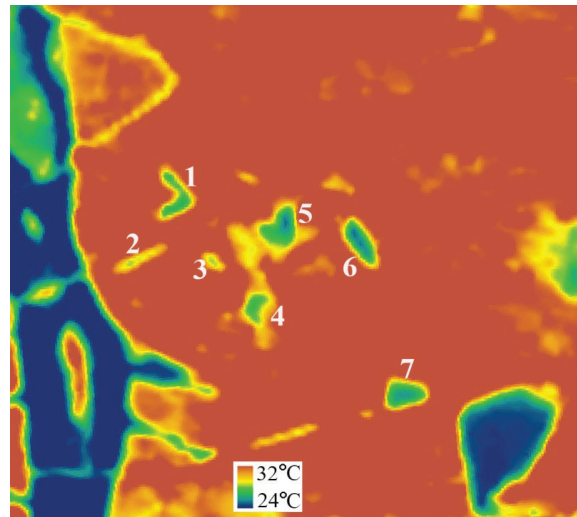


Рис. 6. Температура земної/водної поверхні 29.07.2016 р. за даними супутника Landsat 8. Цифрами позначено озера: 1 – Тельбин, 2 – Нижній Тельбин, 3 – Корольок (Буревісник), 4 – Жандарка, 5 – Прірва, 6 – Сонячне, 7 – Лебедине

шилася в межах житлових масивів Дарниця і Позняки. Хоч екологічний стан більшості водойм, що збереглися, є проблемним, їх існування збагачує ландшафт, являє місце для відпочинку. Крім того, наявні водойми позитивно впливають на мікроклімат місцевості. У будь-якому разі водойми, що збереглися, потребують піклування. Важливим кроком для цього є створення кадастру київських водойм, прийняття “Водної стратегії Києва” – документа, в якому був би закріплений статус водних об'єктів.

Бібліографія

1. Вакулишин С.М. Топонімія Києва ХХ ст. Київ: Центр ДЗК, 2014. 260 с.
2. Вишневецький В.І. Ріка Дніпро. Київ: Інтерпрес ЛТД, 2011. 384 с.
3. Вишневецький В.І. Малі річки Києва. Київ: Інтерпрес ЛТД, 2013. 84 с.
4. Вишневецький В.І., Шевчук С.А. Використання даних дистанційного зондування Землі у дослідженнях водних об'єктів України. Київ: Інтерпрес ЛТД, 2018. 116 с.
5. Козюба В., Вортман Д. Околиці Києва наприкінці XVIII століття: Спроба картографічної реконструкції. У кн. Антропология простору. Т. 1. Культурний ландшафт Києва та його околиць. Київ, 2017. С. 218–222.
6. Леви К.Г. Малый ледниковый период. Часть I. Космические и глобальные метеорологические аспекты // Известия Иркутского государственного университета. Археология и геоэкология. 2014. Т. 8. С. 2–14.
7. Наурзбаев М.М., Ваганов Е.А., Сидорова О.В. Изменчивость приземной температуры воздуха на севере Евразии по данным тысячелетних древесно-кольцевых хронологий // Криосфера Земли. 2003, т. VII, № 2. С. 84–91.
8. Покотило М.І., Покотило Н.О. Позняки і позняківці. Київ: Фенікс, 2013. 574 с.
9. Рибаків М.О. Невідомі та маловідомі сторінки історії Києва. Київ: Кий, 1997. 374 с.
10. Сборник материалов для исторической топографии Киева и его окрестностей. – Киев: Типогр. ЕА. Федорова, 1874. 184 с. (режим доступу – <http://www.ex.ua/930765864453>).
11. Степанець К.М. Малые реки Киева и их исследователи. Київ.: Варто, 2015. 104 с.

12. Швець Г.І. Характеристики водності річок України. Київ: Наук. Думка, 1964. 192 с.
13. Шевчук С.А., Вишневський В.І. Використання даних супутника Landsat 8 для визначення мікрокліматичних особливостей Києва // Український журнал дистанційного зондування Землі. 2016. № 10. С. 4–9.
14. Шевчук С.А., Вишневський В.І. Чи є озеро Качине озером? // Сучасні проблеми архітектури та містобудування. 2016. № 46. С. 362–366.
15. Шевчук С.А., Козицький О.М., Вишневський В.І. Сучасний стан оз. Алмазне та заходи з його екологічного оздоровлення // Меліорація і водне господарство. 2017. Вип. 105. С. 39–45.
16. Широцин С., Михайлик О., Степанець К. Невідоме Лівобережжя. Київ, 2018. 232 с.

References

1. Vakulyshyn, S.M. (2014). Toponimia Kyieva XX st. [Toponymy of Kyiv in the twentieth century]. Kyiv: Tsentre DZK. [in Ukrainian].
2. Vyshnevskiy, V.I. (2011). Rika Dnipro [The Dnipro River]. Kyiv: Interpress LTD. [in Ukrainian].
3. Vyshnevskiy, V.I. (2013). Mali richky Kyieva [Small rivers of Kyiv]. Kyiv: Interpress LTD. [in Ukrainian].
4. Vyshnevskiy, V.I., & Shuvchuk, S.A. (2018). Vykorystannia danykh distantsiinoho zonduvannia Zemli u doslidzhenniakh vodnykh ob'ektiv Ukrainy [Use of remote sensing data in surveys of Ukraine water objects]. Kyiv: Interpress LTD. [in Ukrainian].
5. Kozuba, V., & Vortman, D. (2017). Okolitsy Kyiva naprikintsi XVIII stolittia: Sproba kartografichnoi rekonstruktsii. U knyzi: Antropolohia prostoru. T. 1. Kulturnyi landshaft Kyiva ta joho okolits [The outskirts of Kyiv at the end of eighteenth century: An Attempt of Cartographic Reconstruction. In the book: Space anthropology. T. 1. The cultural landscape of Kyiv and its outskirts]. M. Grymych (Ed.) Kyiv: Vydavnytstvo Duliby. [in Ukrainian].
6. Levi, K.G. (2014). Malui lednikovui period. Chast 1. Kosmicheskiie i globalnyie aspekty [Small ice age. Part I. Cosmic and global meteorological aspects]. Izvestia Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Arheologiya i geokologiya [Bulletin of Irkutsk State University. Archeology and geocology], Vol. 8, 2–14. [in Russian].
7. Naursbaiev, M.M., Vaganov, M.M., & Sidorova, O.V. (2003). Izmenchivost prizemnoi temperatury vozdukh na severe Evrazii po danym tysiacheletnikh drevesno-koltsevykh khronologii [Variability of surface air temperature in the north of Eurasia according to the data of thousand-year tree-ring chronologies]. Kriosfera Zemli [Earth cryosphere], 2 (7), 84–91. [in Russian].
8. Pokotilo, M.I., & Pokotilo, N.O. (2013). Poznyki i pozniakivtsi [Poznyaki and its inhabitants]. Kyiv: Feniks. [in Ukrainian].
9. Rybakov, M.O. (1997). Nevidomi ta malovidomi stornky istorii Kyieva. [Unknown and little known pages of Kyiv history]. Kyiv: Kyi. [in Ukrainian].
10. Sbornik materialov dlia istoricheskoi topografii Kieva i ego okrestnostei. (1874). [Collection of materials for the historical topography of Kiev and its outskirts]. Kiev: Tipografia E.A. Fedorova. Retrieved from: <http://www.ex.ua/930765864453>. [in Russian].
11. Stepanets, K.M. (2015). Malye reki Kieva i ego issledovateli [Small rivers of Kyiv and their researchers]. Kyiv: Varto. [in Russian].
12. Shvets, G.I. (1964). Kharakteristiki vodnosti richok Ukrainy [Water characteristics of rivers of Ukraine]. Kyiv: Nauk. dumka. [in Ukrainian].
13. Shevchuk, S.A., & Vyshnevskiy, V.I. (2016). Vykorystannia dannukh sypytnyka Landsat 8 dlia vyznachennia mikroklimatychnykh osoblivostei Kyiva [Using of Landsat 8 satellite data for determination of microclimatic peculiarities of Kyiv]. Ukrainskiyi Journal distantsiinoho zonduvannia Zemli [Ukrainian Journal of Remote Sensing], 10, 4–9. [in Ukrainian].
14. Shevchuk, S.A., & Vyshnevskiy, V.I. (2016). Chy je ozero Kachyne ozerom? Чи є озеро Качине озером? [Is lake Kachine a lake?]. Suchasni problem arhitektury ta mistobuduvannia [Modern problems of architecture and urban planning], 46, 362–366. [in Ukrainian].
15. Shevchuk, S.A., Kozutskiy, O.M., & Vyshnevskiy, V.I. (2017). Suchasnui stan oz. Almazne ta zakhody z joho ozdorovlennia [The current state of the lake Almazne and measures for its ecological rehabilitation]. Melioratsiia i vodne hospodarstvo [Reclamation and water management], Iss. 105, 39–45. [in Ukrainian].
16. Shirochin, C., Mykhailyk, O., & Stepanets, K. (2018). Nevidome Livoberezhia [Unknown Left Bank]. Kyiv: Samizdat. [in Ukrainian].

С.А. Шевчук, О.Н. Козицкий, В.И. Вишнеvский

Исчезнувшие и сохранившиеся озера на Позняках в Киеве

Аннотация. По картографическим данным и результатам спутниковой съемки проанализированы изменения гидрографической сети в левобережной части Киева. Основное внимание уделено микрорайонам Позняки и Дарница. Установлено, что в прошлом на этой территории насчитывалось большое количество рек и озер, большинства с которых уже нет. Высказано мнение о том, что исчезновение многих водных объектов, упомянутых в исторических источниках, могло быть вызвано изменениями климата, в частности повышением температуры воздуха в период с конца XIX в. Другим фактором стала хозяйственная деятельность, в частности повышение отметок местности перед строительством новых жилых массивов. Кроме того, на гидрографическую сеть повлияло сооружение в 1868-1870 гг. железной дороги, которая перерезала надвое наибольшее в этом районе оз. Тельбин. Приведены сведения об исчезнувших озерах, а также тех, что сохранились. Основное внимание уделено двум сохранившимся озерам в пределах микрорайона Позняки-2: Жандарка и Качиное. Описана попытка засыпать оз. Качиное и построить на его месте большой дом. Определены размеры и экологическое состояние этих озер. Установлено, что вода в озерах имеет повышенное содержание органических веществ, о чем свидетельствует высокий уровень химического потребления кислорода. Приведены данные о качественных показателях донных отложений. Описаны характерные виды водной и воздушно-водной растительности. По данным дистанционного зондирования Земли показано положительное влияние озер на микроклимат местности. Установлено, что экологическое состояние большинства сохранившихся водоемов является проблемным, но их существование обогащает ландшафт и является местом для отдыха. Сделан вывод о целесообразности сохранения этих озер, как немногих природных объектов в этом микрорайоне. Высказано мнение о целесообразности создания Кадастра водных объектов Киева как одного из путей их сохранения в городе.

Ключевые слова: озеро, экологическое состояние, Киев, Позняки, карта, дистанционное зондирование Земли.

S.A. Shevchuk, O.M. Kozytzkyi, V.I. Vyshnevskiy

Vanished and preserved lakes in Pozniaky area in Kyiv city

Abstract. Based on cartographic sources and satellite imagery data, the changes in the hydrographic network in the left-bank part of Kyiv were analyzed. The main attention was paid to Pozniaky and Darnitsa residential districts. It was found out that in the past there were many rivers and lakes in this area, most of which have no longer existed. It was assumed that the disappearance of many water bodies, mentioned in historical sources, may have been caused by climate change, including rising of air temperature since the late 19th century. Another factor was economic activity – first of all, increasing the marks of the area on the eve of the construction of new housing estates and industrial enterprises. In addition, the hydrographic network was influenced by the construction in 1868–1870 of the railway, which cut off on two parts the largest lake Telbyn in this district. Information on vanished lakes, as well as on those that have been preserved is given. The main attention was paid to two small lakes within the Pozniaky-2 residential district: Zhandarka and Kachyne. Their size and ecological state were determined. It was found out that the water in the lakes is essentially contaminated with organic matters, which is evidenced by the significant level of chemical oxygen consumption. This is especially true for Kachyne Lake, which has now become isolated from others. The data on the bottom sediments in these lakes are presented. The characteristic species of aquatic and air-aquatic vegetation are described. Based on remote sensing data, the positive effect of lakes on the microclimate of the area is shown. It was established that the ecological state of most of the remained water bodies is problematic, but their existence enriches the landscape and they are recreational places. It was made the conclusion that it is advisable to preserve these lakes as natural objects in this area. In the authors' opinion it is appropriate to create the Cadastre of water bodies of Kyiv as one of the ways to preserve these ones in the city.

Key words: lake, ecological state, Kyiv, Pozniaky, map, remote sensing.

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202001-222>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/222>

УДК 699.8; 691.175

СУЧАСНІ ГІДРОІЗОЛЯЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ НА ЦЕМЕНТНІЙ ОСНОВІ ДЛЯ ЗАХИСТУ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД

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. У статті проаналізовано сучасний ринок гідроізоляційних сумішей на цементній основі провідних світових виробників, їх технологічні, фізико-механічні та захисні властивості як матеріалу для захисту бетонних та залізобетонних конструкцій гідротехнічних споруд водогосподарсько-меліоративного комплексу. Наведена їх класифікація залежно від призначення та хімічного складу. Досліджено та проаналізовано основні чинники, які впливають на властивості одно- та двокомпонентних гідроізоляційних сумішей, вплив рецептури на властивості гідроізоляційних сумішей. Встановлено, що залежно від хімічного складу гідроізоляційні суміші можна застосовувати в технологіях проникаючої гідроізоляції, екстреного тампонажу активних протікань води, ін'єкційної гідроізоляції, улаштування гідроізоляційних покриттів. Кожний вид гідроізоляційних матеріалів має свої рецептурно-технологічні можливості. Вибір гідроізоляційних сумішей для того чи іншого виду гідроізоляції необхідно проводити з урахуванням властивостей матеріалів, водного навантаження, інтенсивності фільтрації та стану споруд. Визначено, що найбільш перспективним матеріалом для улаштування гідроізоляційних покриттів для бетонних та залізобетонних конструкцій гідротехнічних споруд є полімерцементні суміші, які складаються з певного виду, або декількох видів цементу, фракціонованого кварцового піску в різній пропорції та модифікуючих агентів: редиспергуючих полімерних порошків, дисперсій полімерних латексів та мінеральних добавок. Встановлено, що полімерний латекс суттєво впливає на реологічні властивості полімерцементних композицій, на фізико-механічні, адгезійні властивості та на водопоглинання гідроізоляційних покриттів на їх основі.

Ключові слова: гідроізоляція, водонепроникність, фільтрація, адгезія, фізико-механічні властивості, полімерний латекс.

Актуальність теми. Гідротехнічні споруди (ГТС) водогосподарсько-меліоративного комплексу (ВМК) виконані, як правило, із залізобетону з моменту введення в експлуатацію піддаються агресивному впливу оточуючого середовища. Агресивні фактори (гідростатичний тиск води, попереми́нне заморожування та відтавання, зволоження та висушування, корозійна дія розчинених у воді солей, динамічна дія льоду та інші) постійно діють на залізобетонні конструкції, поступово руйнуючи їх. Безвідмовна робота споруд при довготривалій дії на них агресивних факторів оточуючого середовища можлива лише за забезпечення їх захисту (підсилення) ефективними ізоляційними, антикорозійними, високоміцними, зносо- та кавітаційно-стійкими композиційними матеріалами [1].

Важлива роль забезпеченні експлуатаційної надійності та довговічності ГТС належить гідроізоляційним покриттям, які влаштовують на поверхні залізобетонних конструкцій. При незначній вартості гідроізоляційних покриттів по відношенню до

вартості споруд доля їх відповідальності в частині забезпечення довговічності та експлуатаційної надійності споруд достатньо висока [2]. Гідроізоляційні покриття служать бар'єром для агресивного середовища, а отже, захищають споруди від руйнування.

Незважаючи на важливість гідроізоляційного захисту конструкцій ГТС на сьогодні цій проблемі не приділяється належної уваги. Тому фільтрація води через конструкції водогосподарсько-меліоративних споруд є частим явищем (рис. 1). За даними різних авторів до 95% підземних споруд мають відмови гідроізоляційних систем на стадії експлуатації, що сприяє пришвидшеному зносу будівельних конструкцій і збільшенню експлуатаційних витрат [3].

При фільтрації води через пошкоджений бетон ГТС відбувається розчинення та вимивання водою гідроксиду кальцію (вилугування), що в подальшому викликає розклад інших складових цементного каменю (гідросилікатів) і призводить до розуцільнення структури бетону та до підсилення крапельної



Рис. 1. Фільтрація води через конструкцію стіни докової частини насосної станції «Конча-Заспа-Плюти»

фільтрації. Крапельна фільтрація збільшується в часі, потім розвивається струменева фільтрація, що може призвести до повного руйнування споруди. Тому забезпечення гідроізоляційного захисту ГТС є важливим інженерним завданням при їх будівництві та експлуатації.

Мета досліджень – на основі аналітичних та експериментальних досліджень технологічних та фізико-механічних властивостей гідроізоляційних матеріалів визначити технологічні напрями їх застосування при будівництві, ремонті та реконструкції ГТС ВМК.

Аналіз попередніх досліджень. Аналіз сучасного будівельного ринку показує, що останнім часом з'явився достатньо широкий асортимент нових гідроізоляційних матеріалів (табл. 1).

Одним із визначальних факторів ефективності гідроізоляційного захисту є правильний вибір матеріалу. Традиційні гідроізоляційні матеріали на бітумній основі мають недостатні показники фізико-механічних властивостей та довговічності. Водночас, сучасні технології гідроізоляційного захисту бетонних та залізобетонних конструкцій базуються на використанні ефективних композиційних матеріалів з високими фізико-механічними та захисними властивостями. Залежно від виду в'язучого гідроізоляційні матеріали можуть бути на основі бітумних, бітумно-мінеральних, бітумно-полімерних, кам'яновугільних, полімерних композицій, а також на основі цементів та полімерцементів [4–11].

Основними виробниками різних гідроізоляційних матеріалів є іноземні компанії – Basf, Schomburg, Drizoro, Deitermann, Hydrostop, Kerakoll, Penetron, Accouter Corp., Isomat. Провідними українськими виробниками гідроізоляційних матеріалів є Хенкель Баутехнік, Гідрозіт, Полірем, Промислово-будівельні технології України, Віа-Телос, які випускають гідроізоляційні матеріали марок «Гідрозіт», «Ceresit», «Віатрон», «Сті». Для гідроізоляції будь-яких типів бетонних та залізобетонних конструкцій провідні виробники, переважно, випускають серію матеріалів, які забезпечують гідроізоляційний захист на різних конструктивних елементах споруд. Вибір того чи іншого гідроізоляційного матеріалу слід проводити з урахуванням особливостей експлуатаційного середовища та умов застосування. Так, найбільш поширені в будівництві обклеювальні рулонні матеріали (рубероїд, толь покрівельний, гідроізол та інші) або мастичні на основі розплавів або розчинів бітуму (гарячі та холодні бітумні мастики МБК-Х-65, МБК – Х-75), можуть лише частково задовольняти потребу гідротехнічного будівництва, оскільки до гідроізоляції гідротехнічних споруд висуваються підвищені вимоги з урахуванням агресивності оточуючого середовища і низької їх ремонтпридатності (доступ до гідроізоляційних покриттів в основному утруднений).

Як видно із табл.1 існують різні групи гідроізоляційних матеріалів із певними

1. Гідроізоляційні матеріали провідних виробників

Найменування виробника	Назва матеріалу	Характеристика матеріалу	
Henkel Bautechnik (Німеччина) Henkel Polybit (ОАЕ)	Ceresit BT 21, BT 23, BT 85, 85R, BT 85 SR	Самоклеюча бітумно-полі- мерна мембрана	
ООО «Тандем» (Україна)	Silver	Полімерна плівка	
«Плюс» (Україна)	ПКЛМ	Полімерно-каучукове полотнище	
Сетсо (Польща)	Voltex Bentomat	Геотекстильний бентоні- товий мат	
Henkel Bautechnik (Німеччина)	Ceresit BT 26, BT 41, CP 41, CP 42, CP 43, CP 44, CP 20	Бітумно-полімерна мастика	
Deitermann (Німеччина)	Plasticol 2, Superflex 10		
Schomburg (Німеччина)	Asol – F, Combiflex – C2		
DGA (Німеччина)	Dobau Pren		
Henkel Bautechnik (Німеччина)	Ceresit CE 49 Ceresit 50 Ceresit 51		Полімерна мастика
Drizoro (Іспанія)	Maxelastic PUR	Суха полімерцементна суміш	
«Хенкель Баутехнік» (Україна)	Ceresit CR 65, Ceresit CR 66		
Deitermann (Німеччина)	Superflex D1, Deitermann DS		
«Гідрозіт» (Україна)	Гідрозіт BR DS		
«Полірем» (Україна)	Cri 601, Cri- 623, Cri 605, Cri		
Isomat (Греція)	Aquamat, Aquamat 2K, Aquamat flex, Aquamat Elastic,		
Drizoro (Іспанія)	Maxseal, Maxseal Flex		
Будмайстер (Україна)	Diker, Diker Flex		
Satesma (Іспанія)	Tecmadri, Tecmadri Flex		
Basf (Німеччина)	Emaco 90, Emaco S88C		
ТОВ «Віа-Телос» (Україна)	Віатрон-2 «Водяна пробка»		Суха швидкотужавіюча цементно-мінеральна суміш
Henkel Bautechnik (Німеччина)	Cerezit CX1		
Drizoro (Іспанія),	Maxplug		
«Гідрозіт» (Україна)	Гідрозіт А, Гідрозіт АК Армована		
Accouter Corp. (США).	Slurry Mortar		
Schomburg (Німеччина)	Fix 10-S		
Kerakoll (Італія)	Idrobuild Ultracem		
Deitermann (Німеччина)	Cerinol STM		
ГК «Пенетрон-Росія» (Росія)	Пенетрон		
ТОВ «Віа-Телос» (Україна),	Віатрон-Універсал		
Drizoro (Іспанія)	Maxseal Super	Суха хімічно-активна цементно-мінеральна суміш	
«Гідрозіт» (Україна)	Гідрозіт BS Універсальна		
«Гидротекс-Спб» (Росія)	Гидротекс-К		
Hydrostop (Польща)	Hydrostop		
Schomburg (Німеччина)	Aquaфин-1С		
BASF (Німеччина)	Masterseal 50		
ТОВ «Промислово-будівельні технології України» (Україна)	Prime Mix стандарт		

властивостями та певного призначення: рулонні на полімерній та бітумно-полімерній основі, мастичні на полімерній та бітумно-полімерній основі та цементовмісні матеріали: однокомпонентні у вигляді сухих будівельних сумішей та двокомпонентні у вигляді комп-

лектів, які складаються з сухих будівельних сумішей та полімерних емульсій.

Для гідротехнічного будівництва значний інтерес представляють гідроізоляційні суміші на цементній основі, які мають низку позитивних якостей: широкий діапазон власти-

востей (можливість застосовувати в умовах як крапельної, так і активної фільтрації), екологічна безпечність (можливість застосовувати як для гідроізоляції всередині приміщень, так і зовні), високі фізико-механічні характеристики та висока адгезія до різних основ, добра ремонтпридатність, довговічність (їх ресурс порівняний зі строком служби споруди), можливість нанесення на вологі і мокрі поверхні, висока продуктивність праці при влаштуванні гідроізоляції, можливість нанесення на конструкції складної конфігурації.

Результати досліджень. Гідроізоляційні суміші на цементній основі класифікують за такими ознаками:

- за складом – на полімерцементні та цементно-мінеральні (обидва типи становлять собою цементно-піщану суміш із спеціальними добавками); у першому випадку це можуть бути полімерні латекси або синтетичні смоли, у другому – в якості добавок використовують різні мінеральні добавки (мікрокремнезем, метакаолін, мікрофібри скловолкна, базальтові волокна);
- за кількістю компонентів – однокомпонентні та багатокомпонентні; у першому

випадку склад становить собою суху цементну суміш, модифіковану полімерами та мінеральними добавками, що затворяють водою при підготовці до нанесення, у другому – склад має модифіковану цементну суміш та рідкий компонент, як зазвичай, полімерну емульсію;

- за способом нанесення – обмазувальні (товщина покриття 2-5 мм) та штукатурні (покриття товщиною 5-20 мм);
- за пружно-платичним станом (за опором деформуючим та динамічним напругам):
 - жорстка;
 - напівжорстка з ознаками еластичності (відносне подовження до 10%);
 - еластична (відносне подовження від 10 до 50%);
 - наделастична (відносне подовження більше 50%).

Класифікацію сумішей на цементній основі для гідроізоляційних робіт за призначенням наведено на рис. 2 [12].

Як видно із рис. 2 гідроізоляційні суміші на цементній основі мають широкий спектр застосування: для первинної гідроізоляції – суміші для виготовлення бетонів підвищеної водонепроникності та суміші для гермети-

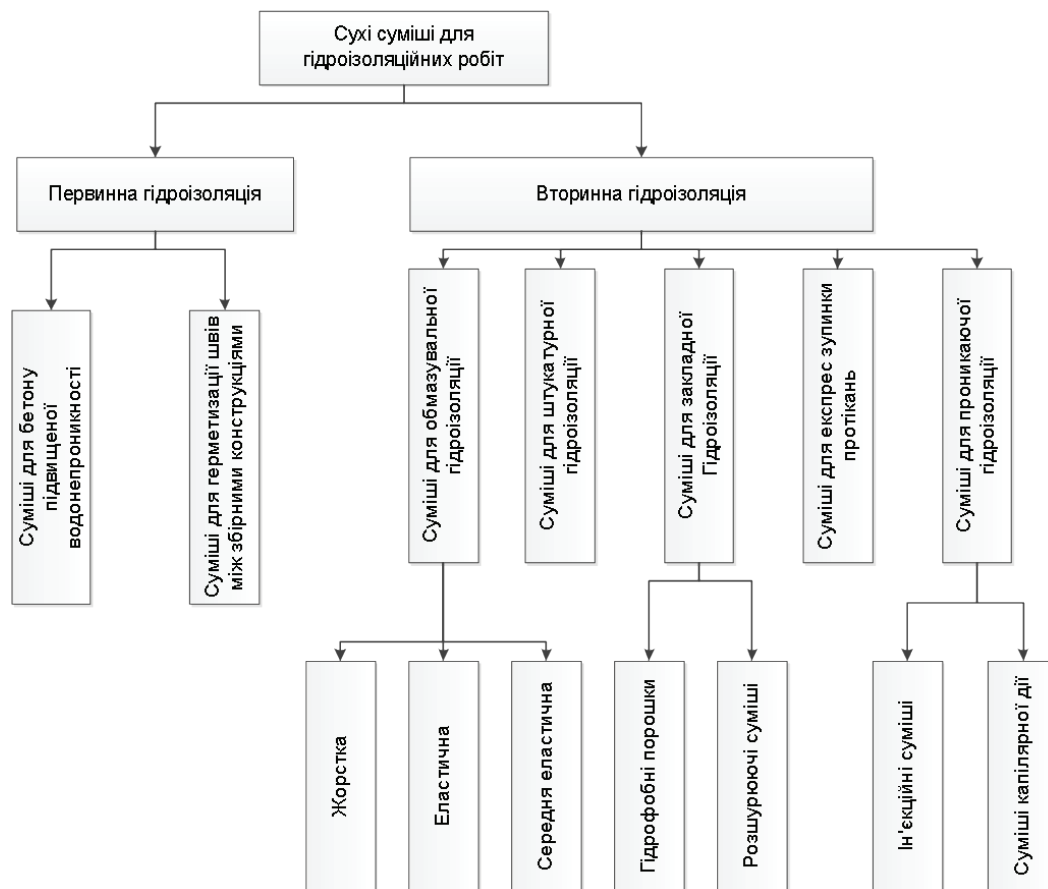


Рис. 2. Класифікація гідроізоляційних сумішей на цементній основі за призначенням

зації швів між збірними конструкціями; для вторинної гідроізоляції – суміші для гідроізоляційних покриттів (обмазувальна та штукатурна гідроізоляція), суміші для експрес зупинки протікань (тампонажні) і суміші для підвищення водонепроникності бетону, що перебуває в експлуатації (проникаюча гідроізоляція). Зміна властивостей гідроізоляційних матеріалів на цементній основі обумовлена наявністю в їх складі різних за хімічною природою модифікаторів. **Швидкотужавіючі тампонажні матеріали** – це суміші, короткий термін тужавіння яких забезпечується використанням спеціальної комбінації солей, які є добавками, що прискорюють набір міцності, а також завдяки підвищеному вмісту алюмінату кальцію та мікрокремнезему. Їх час тужавіння перебуває в діапазоні від десятків секунд до декількох хвилин. Ці матеріали застосовують для герметизації тріщин, стиків та швів, через які активно протікає вода в бетонних та залізобетонних конструкціях. Суміші здатні зупинити протікання води під тиском 5 атм., а деякі і вище. Інколи швидкотвердіючі суміші застосовують при улаштуванні суцільного гідроізоляційного шару. Наприклад, коли шар води в доковій частині насосної станції вже достатньо великий (15 см і більше) і вона все прибуває, а протікання виявити не вдається. До швидкотвердіючих тампонажних сумішей належать Maxplug, Гідрозіт А, Гідрозіт АК Армована, Slurry Mortar, Fix 10-S, Idrobuilt Ultracem, Cerinol STM, Aquafix, Cerezit CX1, Віатрон-2 «Водяна пробка», Waterplug.

Суміші проникаючої капілярної дії (проникаючої гідроізоляції) – матеріали на цементній основі для гідроізоляції “нового” або “старого” міцного бетону, які містять активні хімічні реагенти [13, 14]. Після нанесення матеріалу на основу активні реагенти разом із водою, яка міститься в порах бетону, мігрують в його капілярну структуру. Там з’єднуються з гідроксидом кальцію (вільним вапном) і утворюють нерозчинні сполуки (кристали), які кольматують (закупорюють) капіляри, пори, а також мікротріщини, що існували до або стали утворюватися після нанесення матеріалу. Отже, забезпечується об’ємна гідроізоляція бетону. Матеріал постійно перебуває в активному стані, забезпечує повну непроникність при “позитивному” тиску води, а також ефективний при “негативній” гідроізоляції бетонних конструкцій, закупорює тріщини шириною до 0,4 мм. До сумішей проникаючої гідроізоляції належать Cerinol STM, Penetron, Кальматрон, Віатрон-Універсал, Maxseal Super, Гідрозіт

BS Універсальна, Гідротекс-К, Hydrostop, Aquafin-1С, Masterseal 50, Prime Mix стандарт.

Ін’єкційно-гідроізоляційні суміші – спеціальні безусадкові суміші для заповнення порожнин в будівельних спорудах. Суміші складаються з тонкодисперсного портландцементу і хімічних добавок. Їх призначення: ін’єктування швів, тріщин, порожнин і зазорів між елементами будь-яких будівельних конструкцій розміром більше 0,4 мм за допомогою розчинонасосів для влаштування гідроізоляції. Залежно від застосування консистенція при замішуванні водою може варіювати від пластичної до рідкої. Їх особливості: швидко тужавіють і мають підвищену міцність на стиск у ранні терміни, високотекучі, пластичні і легкоукладальні, містять полімерні добавки, що забезпечують підвищену адгезію, мають високу водонепроникність, морозостійкість, корозійну стійкість, зносостійкість. До ін’єкційно-гідроізоляційних сумішей належать Cerinol BSP, Macflow, Скріпа ін’єкційна.

Суміші для гідроізоляційних покриттів – це полімерцементні суміші, які складаються з певного виду, або декількох видів цементу, фракціонованого кварцового піску в різній пропорції та модифікуючих агентів (сухих полімерних порошків, полімерних емульсій та мінеральних добавок) [15, 16]. За складом такі суміші поділяють на полімерцементні і цементно-мінеральні. Для підвищення тріщиностійкості і міцності в якості добавок застосовують армуючі волокнисті матеріали (мікрофібри – поліпропіленові, базальтові).

Найбільш широке застосування для улаштування гідроізоляційних покриттів знаходять полімерцементні склади, призначені для фарбувальної, обмазувальної або штукатурної гідроізоляції. Ці гідроізоляційні склади виготовляють з добавками полімерів (сополімерів вініацетату, акрилових, дивінілстирольних). Склади, які містять полімер у кількості 5–10%, найбільш придатні для штукатурної гідроізоляції, а в яких кількість полімеру більше 10% – для обмазувальної та фарбувальної, оскільки вони легко наносяться пензлем або щіткою. Фарбувальну гідроізоляцію застосовують в основному для захисту від капілярної вологи, а інколи і від води, яка просочується. Вона становить собою тонке водонепроникне покриття, яке утворюється в результаті багат шарового фарбування поверхні плівкоутворюючими рідкими або пастоподібними матеріалами.

Створення ефективних полімерцементних гідроізоляційних композицій 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. Залежно від компонентів, які входять до складу суміші, гідроізоляційні покриття можуть бути жорсткими або еластичними. Жорсткі склади становлять собою замішену водою суху суміш, яка включає сополімер вінілацетату і призначені для гідроізоляції бетонних та залізобетонних конструкцій з низьким ступенем фільтрації води. Еластичні гідроізоляційні матеріали, як зазвичай, двокомпонентні. Ці матеріали застосовують для влаштування гідроізоляції конструкцій, які піддаються дії деформацій, а також поверхонь із високим ступенем фільтрації води та на яких утворюються тріщини до 1 мм. Еластичні двокомпонентні склади являють собою сухі суміші з добавками редиспергуючих полімерних порошоків. Вони складаються з двох компонентів: сухої суміші модифікованого тонкодисперсного цементу та водної полімерної дисперсії латекса, зазвичай акрилової.

Жорсткі покриття мають високі гідроізоляційні та захисні властивості, забезпечують гідроізоляцію підземних споруд, які перебувають під напором ґрунтових вод навіть при нанесенні їх на внутрішню поверхню зовнішніх стін (так звана “негативна гідро-

золяція”): вода працює на відрив гідроізоляції від основи. Жорсткий гідроізоляційний склад формує міцні адгезійні зв’язки з основою, оскільки заповнює і герметизує всі пори. Тому таке покриття має високий опір корозійному впливу агресивної води та атмосферним факторам.

Двокомпонентні еластичні склади призначені для влаштування гідроізоляції, як внутрішньої, так і зовнішньої конструкцій споруд 3-ї категорії тріщиностійкості, а також конструкцій, які піддаються дії вібрації та динамічним навантаженням. Еластичні двокомпонентні склади необхідно наносити не менше як у два шари. При цьому товщина покриття залежить від навантаження, яке буде діяти на гідроізоляцію в процесі експлуатації. Якщо на покриття діє ґрунтова волога або вода без тиску, його товщина повинна бути не менше 2 мм, у випадку тиску води – не менше 2,5 мм.

До полімерцементних сумішей гідроізоляційних покриттів належать Ceresit CR 65, Ceresit CR 66, Superflex D1, Deitermann DS, ГідрозітBR DS, Cri-601, Cri-623, Cri-605, Cri-615, Aquamat, Aquamat 2K, Aquamat flex, Aquamat Elastic, Maxseal, Maxseal Flex, Tecmadri, Tecmadri Elast, Emaco 90, Emaco S88C, Masterseal 588. У табл. 2, 3 наведено технічні характеристики деяких однокомпонентних та двокомпонентних гідроізоляційних сумішей.

Властивості полімерцементних гідроізоляційних покриттів значною мірою визнача-

2. Технічні характеристики однокомпонентних гідроізоляційних сумішей та жорстких покриттів

Показник	Aquamat	Emaco S88C	Maxseal	Tecmadri	СГі-615	Emaco 90	Ceresit CR 65,	Віатрон 6
Міцність на стиск, МПа	19,5	60	43	37	40	45	15	30
Міцність на згин, МПа	5,1	8	10	7	4	6	3	6
Адгезія до бетону	1,5	2	1	2	2	1,5	1	1,6
Водонепроникність, МПа	W4	W12	W8	W6	W8	W8	W3	W10
Морозостійкість, цикли	200	300	200	150	150	60300	50	200
Час споживання, хв.	60	60	120	40	30	40	120	60

3. Технічні характеристики двокомпонентних гідроізоляційних сумішей та еластичних покриттів

Показник	Aquamat Elastic	Tecmadri Elast	Maxseal Flex	Diker Flex	Aquafin-2K/M	Masterseal 588	Ceresit CR 166
Адгезія до бетону, МПа	2	1,3	1,6	1,2	1,5	1,0	1,0
Міцність на розрив, МПа	0,4	0,2	0,35	0,6	1,3	0,64	0,6
Відносне подовження, %	90	140	18	8	42	40	14
Час споживання, хв.	60	60	60	60	60	60	60

ються співвідношенням цементного в'язучого та полімерної складової в композиції [17]. Змінюючи природу та кількість полімеру, що вводиться в композиції, можна регулювати їх технологічні властивості та фізико-механічні характеристики покриттів. Так, введення полімерного латексу у вигляді редиспергуемого полімерного порошку (РПП) Axilat L 8262 до складу гідроізоляційної

суміші підвищує її рухливість та збільшує адгезію гідроізоляційного покриття до бетону (рис. 3), підвищує міцність на згин та на стиск (рис. 4) та знижує водопоглинання гідроізоляційного покриття (рис. 5). При зміні концентрації РПП в суміші від 0 до 8% від маси цементу міцність на розтяг при згині зростає в 1,14 разів (14%), а міцність на стиск – в 1,10 рази (10%).

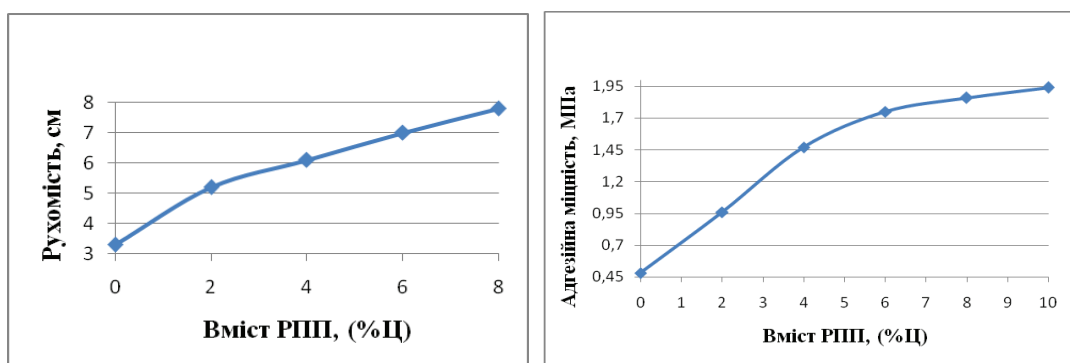


Рис. 3. Вплив вмісту РПП на рухомість гідроізоляційної суміші (а) та на адгезію гідроізоляційного покриття (б)

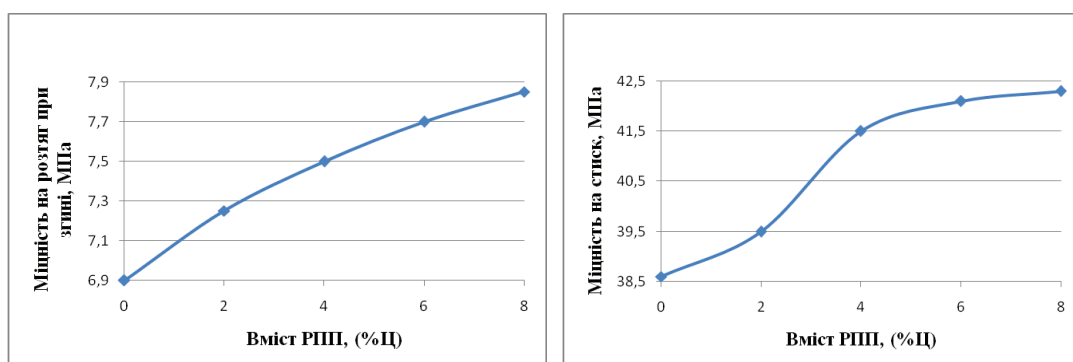


Рис. 4. Вплив вмісту РПП на міцність на розтяг при згині (а) та на міцність на стиск гідроізоляційного покриття (б)

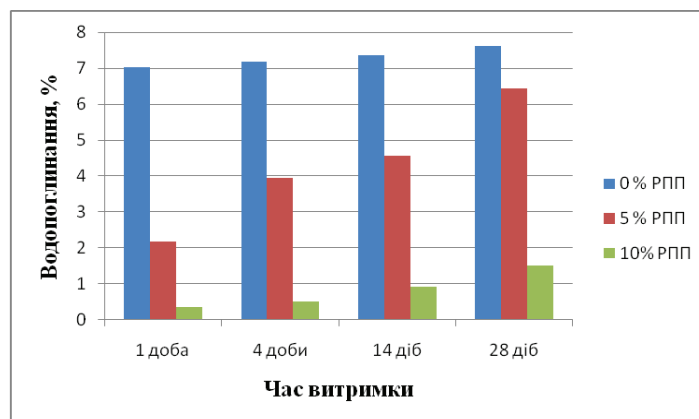


Рис. 5. Вплив вмісту РПП на водопоглинання гідроізоляційного покриття

Найбільший вплив РПП чинить на міцність зчеплення (адгезію) гідроізоляційного покриття з основою; позитивний ефект, який досягається у цьому разі, пояснюється клеючою здатністю полімерної плівки (“доменів смоли”), адгезія якої до основи значно перевищує адгезію CSH гелю, особливо в початковій строки твердіння, коли продуктів гідратації цементу небагато. З гоном внесок цементної складової в міцність клейового шва збільшується, проте вона не досягає адгезійної міцності органічної частини.

Як видно з рис. 5, введення РПП в гідроізоляційну суміш у кількості 5...10% від маси цементу знижує водопоглинання гідроізоляційного покриття за 24 год.: з 7,02% до 2,17...0,35%. З подальшою витримкою зразків у воді до 28 діб водопоглинання покриттів збільшується до 1,52...6,45%, залишаючись значно нижчим за водопоглинання покриттів, які не містять полімерну складову.

В ІВПіМ НААН розроблено способи захисту та ремонту залізобетонних будівельних конструкцій, зокрема водонасичених та фільтруючих, які передбачають застосування гідроізоляційних сумішей на цементній основі для проникаючої гідроізоляції типу AQUAMAT-F, швидкотужавіючих сумішей типу AQUAFIX для екстренної зупинки протікань та сумішей для гідроізоляційних покриттів типу AQUAMAT та AQUAMAT-2K [18-21]. Запропоновані способи можуть бути використані для усунення точкових протікань, крапельної та активної напірної фільтрації, протікань через “холодні шви”, в стиках “підлога-стіна”, розуцільнених зонах

та в місцях проходження інженерних комунікацій (труб).

Висновки. Сучасні гідроізоляційні суміші на цементній основі на ринку України представлені в широкому діапазоні: однокомпонентні і двокомпонентні, для проникаючої та ін'єкційної гідроізоляції, для екстреного тампонажу (швидкотужавіючі) та для гідроізоляційних покриттів. Властивості гідроізоляційних сумішей визначаються хімічним складом та вмістом модифікуючих добавок в цементних сумішах.

Найбільш перспективними для застосування в технологіях улаштування гідроізоляційних покриттів на бетонних та залізобетонних конструкціях гідротехнічних споруд водогосподарсько-меліоративного комплексу є полімерцементні суміші, в'яжучим в яких є портландцемент, модифікований полімерними латексами у вигляді редиспергуємого полімерного порошку (для однокомпонентних) та додатково дисперсії полімерного латексу (для двокомпонентних).

Вміст полімерного латексу в суміші суттєво впливає на реологічні властивості полімерцементних сумішей та на фізико-механічні властивості гідроізоляційних покриттів на їх основі. Так, введення редиспергуємого полімерного порошку Axilat L 8262 в гідроізоляційну суміш у кількості до 10% від маси цементу підвищує рухомість суміші з 3,2 до 8,0 см, підвищує адгезійну міцність покриття до бетону з 0,45 до 1,95 МПа, збільшує його міцність на згин з 6,9 до 7,9 МПа, знижує його водопоглинання за 24 години з 7,02% до 0,35%.

Бібліографія

1. Резник В.Б. Новые материалы и конструкции на основе полимеров в водохозяйственном строительстве. Київ: Будівельник, 1987. 176 с.
2. Попченко С.Н. Гидроизоляция сооружений и зданий. Ленинград: Стройиздат, 1981. 304 с.
3. Карапузов Е.К., Бабий И.Н. Гидроизоляция строительных конструкций и сооружений – проблемы и решения // Будівельне виробництво, 2012. № 54. С. 92–97.
4. Гармаш А.И. Классификация современных гидроизоляций // Нові технології в будівництві: Науково-технічний журнал. 2005. №2. С. 16–17.
5. Войтов А.И., Козачук В.Л., Лайкин В.В. Современные гидроизоляционные материалы. Справочник. К., ОАО “Мастера”, 2008. 160 с.
6. Лукинский О.А. Герметизация, гидроизоляция и теплоизоляция в строительстве, ремонте и реставрации зданий и сооружений. Учебное пособие. Москва: Инфра-Инженерия, 2019. 662 с.
7. Тухарели В.Д., Тухарели А.В., Чердниченко Т.Ф. Современные строительные системы гидрозащиты зданий и сооружений. Учебное пособие. Волгоград: ВГТУ, 2019. 104 с.
8. Шилин А.А. Гидроизоляция подземных и заглубленных сооружений при строительстве и ремонте. Москва: МСГУ, 2018. 372 с.
9. EN 1504-2 Products and systems for the protection and repair of concrete structures. Definitions, requirements, quality control and evaluation of conformity. Surface protection systems for concrete.
10. Козлов В.В., Камсков В.П. Гидроизоляционные материалы. Монография. Москва: АСВ, 2014. 240 с.

11. Kubal M.T. Construction waterproofing hanbook. McGraw, Inc., 2008. 655 p.
12. Захарченко П.В., Долгий Е.М., Галаган Ю.О. Сучасні композиційні будівельно-оздоблювальні матеріали. Підручник. Київ: КНУБА, 2005. 512 с.
13. Кошкин О.И. Гидроизоляционные материалы проникающего действия бетонных конструкций и сооружений // Технологии бетонов: Информационный научно-технический журнал. 2007. № 4. С. 30–31.
14. Герчин Д.Г. Гидроизоляция бетонных конструкций защитным составом проникающего действия // Технология бетонов. Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2007. № 4. С. 26–27.
15. Карапузов Е.К., Арефьева М.Г. Технология гидроизоляции строительных конструкций с применением полимерцементных смесей // Будівельне виробництво. 2012. № 53. С. 97–99.
16. Карапузов Е.К., Арефьева М.Г. Технологические основы применения двухсоставных полимерцементных гидроизоляционных смесей // Строительные материалы и изделия. 2011. № 1. С. 27–28
17. Карапузов Е.К. Ареф'єва М.Г. Дослідження впливу полімерної складової на адгезійну спроможність полімерцементних гідроізоляційних композицій // Строительные материалы и конструкции. 2011. №6. С. 35–38.
18. Спосіб захисту та ремонту будівельних конструкцій: пат. 76501 Україна. № u 201206309; заявл. 25.12.2012; Опубл. 10.01.2013, Бюл. № 1.
19. Спосіб укріплення і захисту будівельних конструкцій: пат. 93578 Україна. № u 201403973; заявл. 14.04.2014; Опубл. 10.10.2014, Бюл. № 19.
20. Спосіб укріплення і захисту будівельних конструкцій: пат. 93584 Україна. № u 201403985; заявл. 14.04.2014; Опубл. 10.10.2014, Бюл. № 19.
21. Спосіб укріплення і захисту будівельних конструкцій: пат. 93935 Україна. № u 201403972; заявл. 14.04.2014; Опубл. 27.10.2014, Бюл. № 20.

References

1. Reznik, V.B. (1987). Novye materialy i konstrukcii na osnove polimerov v vodohozhajstvennom stroitel'stve [New materials and designs based on polymers in water engineering construction]. Kiev: Budivelnik. [In Russian].
2. Popchenko, S.N. (1981). Gidroizoljacija sooruzhenij i zdaniij [Waterproofing of buildings and structures]. Lenynhrad: Stroiizdat. [In Russian].
3. Karapuzov, E.K., & Babyi Y.N. (2012). Gidroizoljacija stroitel'nyh konstrukcij i sooruzhenij – problemy i reshenija [Waterproofing of building structures and structures – problems and solutions]. Budivelnne vyrobnytstvo, 54, 92-97. [In Russian].
4. Harmash, A.Y. (2005). Klassifikacija sovremennyh gidroizoljacij [Classification of modern waterproofing]. Novi tekhnologii v budivnytstvi: Naukovo-tekhnichnyi zhurnal, 2, 16–17. [In Russian].
5. Voitov A.Y., Kozachuk V.L., Laikyn V.V. (2008). Sovremennye gidroizoljacionnye materialy [Modern waterproofing materials]. Spravochnyk Mastera. Kiev. [In Russian].
6. Lukinskiy, O.A. (2019). Germetizatsiya, gidroizolyatsiya i teploizolyatsiya v stroitelstve, remonte i restavratsii zdaniy i sooruzheniy [Sealing, waterproofing and thermal insulation in the construction, repair and restoration of buildings and structures]. Uchebnoe posobie. M.: Infra-Inzheneriya. [In Russian].
7. Tuhareli, V.D., Tuhareli, A.V. & Cherednichenko, T.F. (2019). Sovremennyye stroitelnyie sistemy gidrozashchityi zdaniy i sooruzheniy [Modern building water protection systems for buildings and structures]. Uchebnoe posobie. Volgograd: VGTU. [In Russian].
8. Shilin, A.A. (2018). Gidroizolyatsiya podzemnyih i zaglublennyih sooruzheniy pri stroitelstve i remonte [Waterproofing of underground and buried structures during construction and repair]. M.: MSGU. [In Russian].
9. EN 1504-2. Products and systems for the protection and repair of concrete structures. Definitions, requirements, quality control and evaluation of conformity. Surface protection systems for concrete.
10. Kozlov, V.V., & Kamskov, V.P. (2014). Gidroizolyatsionnye materialy [Waterproofing materials]. Monografiya. M.: ASV. [In Russian].
11. Kubal, M.T. (2008). Construction waterproofing hanbook. McGraw-Hill Companies, Inc.
12. Zakharchenko, P.V., Dolhyi, E.M., & Halahan, Yu.O. (2005) Suchasni kompozytsiini budivelnno-ozdobliuvalni materialy [Modern composite building and finishing materials]. Pidruchnyk. Kyiv: KNUBA [In Ukrainian].

13. Koshkyn, O.Y. (2007). Hidroizoljacionnye materialy pronikajushhego dejstvija betonnyh konstrukcij i sooruzhenij [Waterproofing materials penetrating concrete structures and structures]. Tehnologii betonov: Informacionnyj nauchno-tehnicheskij zhurnal, 4, 30–31. [In Russian].
14. Herchyn, D. H. (2007). Hidroizoljacija betonnyh konstrukcij zashhitnym sostavom pronikajushhego dejstvija [Waterproofing of concrete structures with a penetrating protective compound]. Tehnologija betonov. Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tehnologii NHI veka, 4, 26–27. [In Russian].
15. Karapuzov, E.K., & Arefeva, M.H. (2012). Tehnologija gidroizoljicii stroitel'nyh konstrukcij s primeneniem polimercementnyh smesej [Waterproofing technology of building structures using polymer-cement mixtures]. Budivelne vyrobnytstvo, 53, 97–99. [In Russian].
16. Karapuzov, E.K., & Arefeva, M.H. (2011). ehnologicheskie osnovy primenenija dvuh sostavnyh polimercementnyh gidroizoljacionnyh smesej [Technological basis for the use of two-part polymer cement waterproofing mixtures]. Stroitel'nye materialy i izdelija, 1, 27–28. [In Russian].
17. Karapuzov, E.K. & Arefieva, M.H. (2011). Doslidzhennia vplyvu polimernoї skladovoi na adheziinu spromozhnist polimertsementnykh hidroizoliatsiinykh kompozytsii [Investigation of the influence of the polymeric component on the adhesion ability of polymer-cement waterproofing compositions] Stroytelnye materyaly y konstruktsyy, 6, 35–38. [in Ukrainian].
18. Kovalenko, O.V., & Krucheniuk, V.D. (2013). Sposib zakhystu ta remontu budivelnykh konstruktsii [Method of protection and repair of building constructions]. Patent of Ukraine. № 76501. [in Ukrainian].
19. Kovalenko, O.V., & Krucheniuk, V.D. (2014). Sposib ukriplennia i zakhystu budivelnykh konstruktsii [A method of strengthening and protecting building structures]. Patent of Ukraine. № 93578. [in Ukrainian].
20. Kovalenko, O.V., & Krucheniuk, V.D. (2014). Sposib ukriplennia i zakhystu budivelnykh konstruktsii [A method of strengthening and protecting building structures]. Patent of Ukraine. № 93584. [in Ukrainian].
21. Kovalenko, O.V., & Krucheniuk, V.D. (2014). Sposib ukriplennia i zakhystu budivelnykh konstruktsii [A method of strengthening and protecting building structures]. Patent of Ukraine. № 93935. [in Ukrainian].

А.В. Коваленко

Современные гидроизоляционные материалы на цементной основе для защиты гидротехнических сооружений

***Аннотация.** В статье проанализировано современное состояние рынка гидроизоляционных смесей на цементной основе ведущих мировых производителей, их технологические, физико-механические и защитные свойства как материала для защиты бетонных и железобетонных конструкций гидротехнических сооружений водохозяйственно-мелиоративного комплекса. Приведена их классификация в зависимости от назначения и химического состава. Исследованы и проанализированы основные факторы, которые влияют на свойства одно- и двухкомпонентных гидроизоляционных смесей, влияние рецептуры на свойства гидроизоляционных смесей. Установлено, что в зависимости от химического состава гидроизоляционные смеси можно применять в технологиях проникающей гидроизоляции, экстренного тампонажа активных протечек воды, инъекционной гидроизоляции, устройства гидроизоляционных покрытий. Каждый вид гидроизоляционных материалов имеет свои рецептурно-технологические возможности. Выбор гидроизоляционных смесей для того или иного вида гидроизоляции необходимо проводить с учетом свойств материалов, водной нагрузки, интенсивности фильтрации и состояния сооружений. Определено, что наиболее перспективным материалом для устройства гидроизоляционных покрытий для бетонных и железобетонных конструкций гидротехнических сооружений являются полимерцементные смеси, состоящие из определенного вида или нескольких видов цемента, фракционированного кварцевого песка в разной пропорции и модифицирующих агентов: редиспергирующих полимерных порошков, дисперсий полимерных латексов и минеральных добавок. Установлено, что полимерный латекс оказывает существенное влияние на реологические свойства полимерцементных композиций, на физико-механические, адгезионные свойства и на водопоглощение гидроизоляционных покрытий на их основе.*

***Ключевые слова:** гидроизоляция, водонепроницаемость, фильтрация, адгезия, физико-механические свойства, полимерный латекс.*

O.V. Kovalenko

Modern cement-based waterproofings for hydraulic structures protection

Abstract. *The article analyzes the modern market of cement-based waterproofing mixtures of the leading world manufacturers, their technological, physicomachanical and protective properties as a material for the protection of concrete and reinforced concrete structures of hydraulic facilities in the watermanagement and reclamation area. Their classification is given depending on the purpose and chemical composition. The main factors that affect the properties of one- and two-component waterproofing mixtures and the effect of the recipes on the properties of waterproofing mixtures are investigated and analyzed. It has been established that, depending on the chemical composition, waterproofing mixtures can be used in technologies of penetrating waterproofing, emergency plugging of active water leaks, injection waterproofing, and waterproofing coatings. Each type of waterproofing materials has its own recipe and technological capabilities. The selection of waterproofing mixtures for a particular type of waterproofing should be carried out taking into account the properties of materials, water load, filtration rate and condition of structures. It was determined that the most promising material for waterproofing coatings for concrete and reinforced concrete structures of hydraulic structures are polymer-cement mixtures consisting of a certain type or several types of cement, fractionated quartz sand in different proportions and modifying agents: redispersible polymer powders, dispersions of polymer latexes and mineral additives. It has been established that polymer latex has a significant effect on the rheological properties of polymer-cement compositions, on physicomachanical and adhesive properties and as well as on the water absorption of waterproofing coatings made of them.*

Key words: *waterproofing, water tightness, filtration, adhesion, physical and mechanical properties, polymer latex.*

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202001-227>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/227>

УДК 628.1

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ЗНЕЗАЛІЗНЕННЯ ТА ПОДАЧІ ПІДЗЕМНИХ ВОД В АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМАХ СІЛЬСЬКО-ГОСПОДАРСЬКОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

П.Д. Хоружий¹, докт. техн. наук, В.Д. Левицька², С.Р. Стасюк³, В.В. Нор⁴, Т.П. Хомуцька⁵, канд. техн. наук

¹ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна; <https://orcid.org/0000-0002-9433-361X>; e-mail: petro1939@bigmir.net;

² Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна; <https://orcid.org/0000-0003-2213-1696>; e-mail: veral@ukr.net;

³ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна; <https://orcid.org/0000-0002-7871-6522>; e-mail: sr-stasyuk@ukr.net;

⁴ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна; <https://orcid.org/0000-0001-7577-8800>; e-mail: rostem29@gmail.com;

⁵ Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна; <https://orcid.org/0000-0003-0153-4920>; e-mail: itsk@bigmir.net

Анотація. Зазначено, що в Україні гостро стоїть проблема постачання питної води належної якості, особливо в сільській місцевості. Основними джерелами водопостачання в локальних сільськогосподарських водопроводах є підземні води. Проте, такі води в Україні часто мають підвищений вміст заліза, що іноді в десятки разів перевищує сучасні нормативні вимоги $C_n = 0,2$ мг/дм³. Показано, що для інтенсифікації процесів знезалізнення підземних вод слід застосовувати біологічні методи з розміщенням очисних споруд у корпусі водонапірної бапти (ВБ), що дозволяє значно зменшити капітальні та експлуатаційні витрати. При низхідному русі проаерованої вихідної води через біореактор (БР) відбувається перехід дивалентного заліза у тривалентну форму за допомогою залізобактерій, іммобілізованих на волокнистому завантаженні, а при висхідному русі води через плаваюче пінополістирольне завантаження контактного прояснювального фільтра (КПФ) здійснюється її прояснення від колоїдних частинок із гідроксиду заліза завдяки стисненому їх осіданню в підфільтровому просторі КПФ. Наведено результати лабораторних досліджень зниження рівня заліза в процесі знезалізнення води за певний проміжок часу, запропоновано технологічне вирішення оптимізації конструктивних і технологічних параметрів БР і КПФ при відсутності повторної «зарядки» фільтра. Під час промивки контактено-прояснювального фільтра рекомендовано залишати частину осаду G_{min} , який слугуватиме каталізатором для подальшого циклу знезалізнення води. На конкретному прикладі показано, що якість очищеної води залежить від множини конструктивних і технологічних параметрів водознезалізнювальної установки та запропоновано основні принципи її автоматизації для забезпечення оптимальної роботи та методикою розрахунку споруд при мінімізації капітальних і експлуатаційних витрат. Перевагою такої установки є забезпечення високої ефективності знезалізнення води біологічним методом при повній автоматизації процесів фільтрування води та промивки фільтра одночасно зі зменшенням витрат на її будівництво та експлуатацію.

Ключові слова: аерація, біореактор, знезалізнення води, залізобактерії, контактено-прояснювальний фільтр.

Актуальність дослідження. В Україні проблема постачання питної води належної якості, особливо в сільській місцевості не вирішена. Ситуація з сільським водопостачанням донині залишається однією з найгірших серед країн Європи та СНГ. Лише близько 30% сільських населених пунктів (7664 із 25454) станом на 2018 р. було забезпечено централізованим водопостачанням згідно з [1].

Джерелом водопостачання для локальних сільськогосподарських водопроводів найчастіше є підземні води, оскільки вони краще

захищені від забруднень із поверхні землі [1-6]. Але такі води здебільшого мають підвищений вміст заліза, що в багатьох регіонах України може в десятки разів перевищувати встановлені нормативи для питного водопостачання, і тому виникає необхідність їх знезалізнювати [7, 8].

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Удосконалення технологій очищення та подачі води з метою задоволення водопотреб, зокрема питних, на принципах зниження собі-

вартості водопідготовки та водопостачання є актуальним завданням, яке стоїть перед державою не один десяток років.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Нині встановлено [9–22], що найбільш ефективним методом видалення з води розчинних форм заліза є біологічний метод із використанням специфічних залізобактерій, які швидко переводять залізо з двовалентних розчинних його форм $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ у тривалентну форму $\text{Fe}(\text{OH})_3$, використовуючи до того ж для своєї життєдіяльності енергію окиснення Fe^{2+} у Fe^{3+} . Для ефективного біологічного знезалізнення води мають виконуватись такі умови [22]: система має бути прямою; усі гідробіоти (залізобактерії) повинні бути іммобілізованими на нерозчинних у воді насадках; слід створювати максимально можливу концентрацію залізобактерій у всьому об'ємі біореактора.

Така технологія ефективно здійснюється на установках із біореакторами (БР) і контактньо-прояснювальними фільтрами (КПФ). В якості насадок у БР, для іммобілізації на них залізобактерій, найкраще використовувати тонкі волокнисті матеріали – нитки, джгути, насадки типу вії [21, 23], які дуже міцні, стійкі до гідромеханічних навантажень, оскільки виготовляються з полімерних матеріалів, що допускаються Міністерством охорони здоров'я України в схемах питного водопостачання [22], а при роботі створюють доступні для інтенсивного масообміну зони. Для завантаження КПФ доцільно застосовувати спінений полістирол марки А, допущений Міністерством охорони здоров'я України для використання в спорудах питного водопостачання [22, 24].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Запропоновано удосконалення технології комплексного знезалізнення підземних вод із використанням автоматизованих систем регулювання подачею води та промивками контактньо-прояснювального фільтра (КПФ). При висхідному русі води відбувається гідравлічне сортування по крупності гранул пінополістирола, при якому крупні гранули, які легші, піднімаються вгору, а шар із дрібних гранул розташовується внизу, що створює специфічні умови під час прояснення води: забруднення затримуються у підфільтровому просторі КПФ та нижньому його шарі, оскільки верхні його шари виконують роль зворотного фільтра для перешкоджання виносу дрібних фракцій завантаження з корпусу фільтра.

У підфільтровому просторі КПФ відбуваються процеси флокуляції мікропластівців із гідроксиду заліза $\text{Fe}(\text{OH})_3$ з укрупненням їх до розмірів, при яких вони випадають в осад під дією сил тяжіння. Цей осад виконує роль каталізатора, що пришвидшує процес переходу двовалентного заліза Fe^{2+} у тривалентну форму Fe^{3+} .

Корисна робота КПФ триває в межах зміни його питомої брудомісткості G від G_{\min} до G_{\max} . Для створення величини G_{\min} виконується «зарядка» фільтра, а після досягнення величини G_{\max} фільтр слід промивати, зменшуючи питому брудомісткість до величини G_{\min} .

Залежно від вмісту заліза у вихідній воді C_v , мг/дм³, конструктивних параметрів фільтрувального завантаження (діаметрів гранул d_g , мм, коефіцієнта їх неоднорідності K_n та товщини засипки H_ϕ) і швидкості висхідного фільтрування води V_ϕ , м/год., питома кількість осаду з гідроксиду заліза $\text{Fe}(\text{OH})_3$ у підфільтровому просторі КПФ (питома брудомісткість фільтра G , кг/м²) для забезпечення нормативних показників вмісту заліза у фільтрованій воді для питних потреб $C_n = 0,2$ мг/дм³ повинна бути в межах:

$$G_{\min} \leq G \leq G_{\max}, \text{ кг/м}^2, \quad (1)$$

Контроль за цим показником здійснюється шляхом вимірювання втрат напору на КПФ за допомогою дифманометра.

Для цього промивку фільтра при певній інтенсивності промивки $q_{\text{пр}}$, дм³/см² необхідно виконувати протягом певного часу $t_{\text{пр}}$, хв. Ці величини визначаються для конкретних умов під час пусканалагоджувальних робіт установки знезалізнення води, яку доцільно споруджувати в корпусі водонапірної башти [22, 25].

Дослідження роботи водознезалізнювальної установки та визначення її раціональних параметрів при фільтруванні води і промивці фільтра дасть змогу удосконалити відомі технології знезалізнення підземних вод в автоматизованих системах сільгосподопостачання [25].

Мета та методика досліджень. Метою роботи є удосконалення технологій знезалізнення та подачі підземних вод в автоматизованих системах сільськогосподарського водопостачання. Для досягнення мети обов'язковим є вирішення таких задач:

– встановити залежності змін втрат напору на КПФ при висхідному фільтруванні води з різними швидкостями, в межах яких при певних конструктивних параметрах фільтра і якості вихідної води забезпечується нормативний вміст заліза у фільтрованій воді;

– визначити величини тривалості промивки КПФ з певною інтенсивністю для зменшення питомої брудомісткості фільтра з G_{\max} до G_{\min} , отримані при фільтруванні води з різними швидкостями;

– удосконалити технологічну схему баштової водознезалізнюювальної установки при повній автоматизації процесів фільтрування води і промивки фільтра.

При виконанні цих завдань були використані лабораторні дослідження процесів біологічного знезалізнення підземних вод на установці з БР і КПФ. [26], проведена обробка отриманих результатів та встановлено певні закономірності.

Аналіз отриманих результатів та їх обговорення. При відомих значеннях якості вихідної води $C_{\text{в}}$ та вибраних конструктивних параметрах прояснювального фільтра ($H_{\text{ф}}$, $d_{\text{с}}$, $K_{\text{н}}$) вміст заліза у фільтрованій воді $C_{\text{ф}}$ і втрати напору на фільтрі $h_{\text{ф}}$ при висхідному фільтруванні залежать тільки від швидкості фільтрування води $V_{\text{ф}}$ та питомої брудомісткості фільтра в даний момент фільтроциклу G (рис. 1).

Лабораторні дослідження були виконані при таких конструктивних параметрах пінополістирольного фільтра: еквівалентний діаметр гранул завантаження $d_{\text{с}} = 1,09$ мм, коефіцієнти їх неоднорідності $K_{\text{н}} = 1,47$; товщина засипки $H_{\text{ф}} = 1,0$ м. Питома брудомісткість фільтра, що характеризує кількість осаду з гідроксиду заліза $\text{Fe}(\text{OH})_3$, затрима-

ного у фільтрі, що припадає на 1 м^2 площі фільтра у конкретний момент часу визначається за формулою:

$$G_{\text{к}} = 0,001 K_{\text{н}} V_{\text{ф}} \sum_n^{T_{\text{ф.к}}} (C_{\text{в.ср.і}} - C_{\text{ф.ср.і}}) T_{\text{ф.і}}, \text{ кг/м}^2, \quad (2)$$

де $K_{\text{н}}$ – перевідний коефіцієнт, що враховує співвідношення молекулярної маси гідроксиду заліза $\text{Fe}(\text{OH})_3$ до атомної маси двовалентного заліза:

$$K_{\text{н}} = \frac{M[\text{Fe}(\text{OH})_3]}{A\text{Fe}^{2+}} = \frac{107}{56} = 1,91, \quad (3)$$

де $C_{\text{в.ср.і}}$ і $C_{\text{ф.ср.і}}$ – середній вміст заліза відповідно у вихідній і фільтрованій воді за інтервал часу між сусідніми вимірюваннями $T_{\text{ф.і}}$, мг/дм^3 ;

$T_{\text{ф.к}}$ – тривалість фільтрування води від початку фільтроциклу і до даного (к-го) моменту часу, год.;

$V_{\text{ф}}$ – швидкість фільтрування води.

На рис. 1 наведено такі дані при середньому рівні заліза у вихідній воді $C_{\text{в.ср}} = 1,1$ мг/дм^3 і швидкості висхідного фільтрування води $V_{\text{ф}} = 7$ м/год . Точки А і В, утворені при перетині ліній 1 і 4, характеризують основні показники роботи фільтра. Абсциса точки А визначає тривалість «зарядки» фільтра $T_{\text{зар}}$ протягом якої при даній швидкості $V_{\text{ф}} = 7$ м/год . і середньому вмісті заліза у вихідній воді $C_{\text{в}} = 1,1$ мг/дм^3 . Ця вимога виконується протягом корисної роботи фільтра

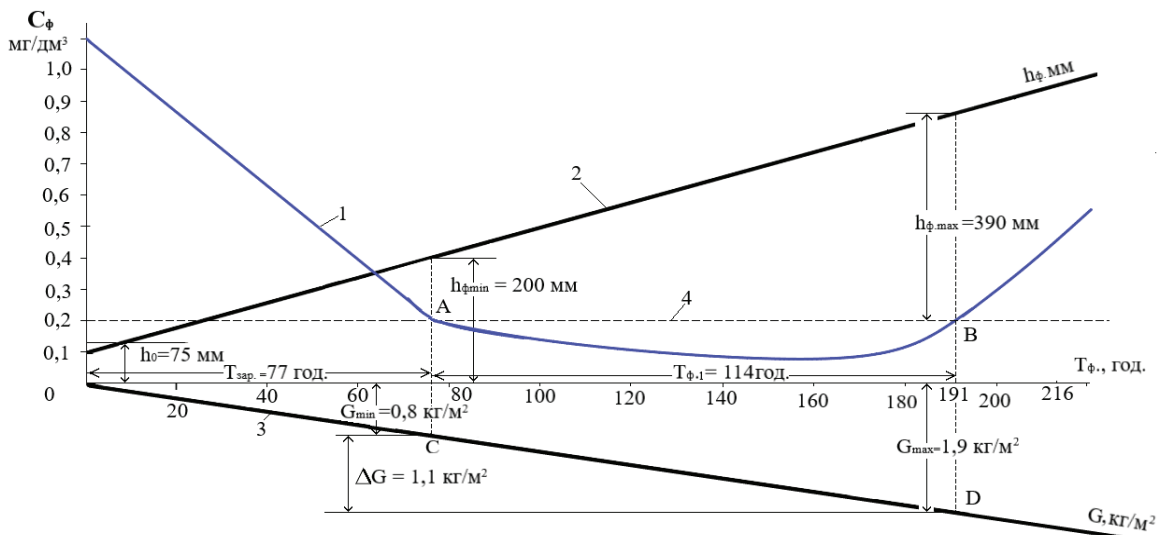


Рис. 1. Графіки зміни показників процесу знезалізнення води на пінополістирольному фільтрі протягом фільтроциклу при $C_{\text{в}} = 1,1$ мг/дм^3 і $V_{\text{ф}} = 7$ м/год : 1 – вміст заліза у фільтрованій воді $C_{\text{ф}} = f(T_{\text{ф}})$; 2 – втрати напору на фільтрі $h_{\text{ф}} = f(T_{\text{ф}})$; 3 – питома брудомісткість фільтра $G = f(T_{\text{ф}})$; 4 – нормативний вміст заліза у питній воді $C_{\text{н}} = 0,2$ мг/дм^3 ; А і В – характерні точки на графіку 1; С і D – характерні точки на графіку 3

тривалістю $T_{\phi,1}$, під час якої питома брудомісткість фільтра змінюється від G_{\min} до G_{\max} , а втрати напору змінюються від $h_{\phi,\min}$ до $h_{\phi,\max}$.

Як бачимо з рис. 1, при вибраних конструктивних параметрах фільтра та існуючій якості вихідної води, тривалість першої зарядки фільтра дорівнює $T_{\text{зар.}} = 77$ год., тривалість корисної роботи фільтра становить $T_{\phi,1} = 114$ год., у межах якої питома брудомісткість фільтра змінюється від $G_{\min} = 0,8$ кг/м², до $G_{\max} = 1,9$ кг/м² на величину $\Delta G = G_{\max} - G_{\min} = 1,1$ кг/м², а відповідні їм втрати напору на фільтрі зростають від $h_{\phi,\min} = 200$ мм до $h_{\phi,\max} = 390$ мм на $\Delta h_{\phi} = 190$ мм.

Щоб не робити щоразу для нового фільтроциклу «зарядку» фільтра, необхідно під час його промивки видаляти тільки залишки гідроксиду заліза величиною ΔG , кг/м², залишаючи в кінці промивки його мінімальну величину $G_{\min} = 0,8$ кг/м². Це досягається при дотриманні розрахункової тривалості промивки фільтра $t_{\text{пр.}}$ із вибраною інтенсивністю промивки $q_{\text{пр.}}$, дм³/с*м² (рис. 2). Промивку фільтра здійснювали з інтенсивністю $q_{\text{пр.1}} = 12,3$ дм³/с*м² і $q_{\text{пр.2}} = 18,7$ дм³/с*м².

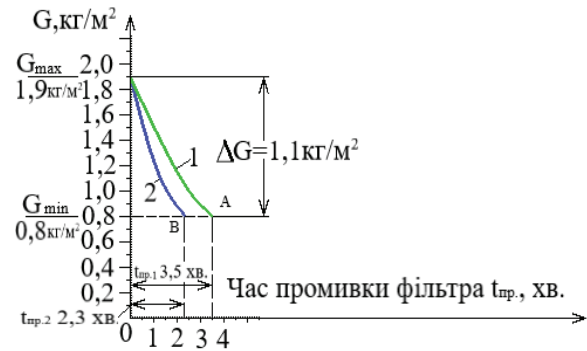


Рис. 2. Графіки виносу з пінополістирольного фільтра надлишкового осаду $\Delta G = 1,1$ кг/м² при інтенсивності промивки фільтра: 1 – $q_{\text{пр.1}} = 12,3$ дм³/с*м²; 2 – $q_{\text{пр.1}} = 18,7$ дм³/с*м²; А і В – характерні точки на графіках з ординатами $G_{\min} = 0,8$ кг/м²

Абсциси точок А і В на графіках 1 і 2 рис. 2 при ординаті $G_{\min} = 0,8$ кг/м² визначають при інтенсивностях промивки відповідно $q_{\text{пр.1}} = 12,3$ дм³/с*м² і $q_{\text{пр.2}} = 18,7$ дм³/с*м², які дорівнюють $t_{\text{пр.1}} = 3,5$ хвилини і $t_{\text{пр.2}} = 2,3$ хвилини.

При інших показниках якості вихідної води $C_{\text{в.}}$, конструктивних параметрах фільтра ($d_{\text{с.}}$, $K_{\text{н.}}$, H_{ϕ}) та швидкості висхідного фільтрування

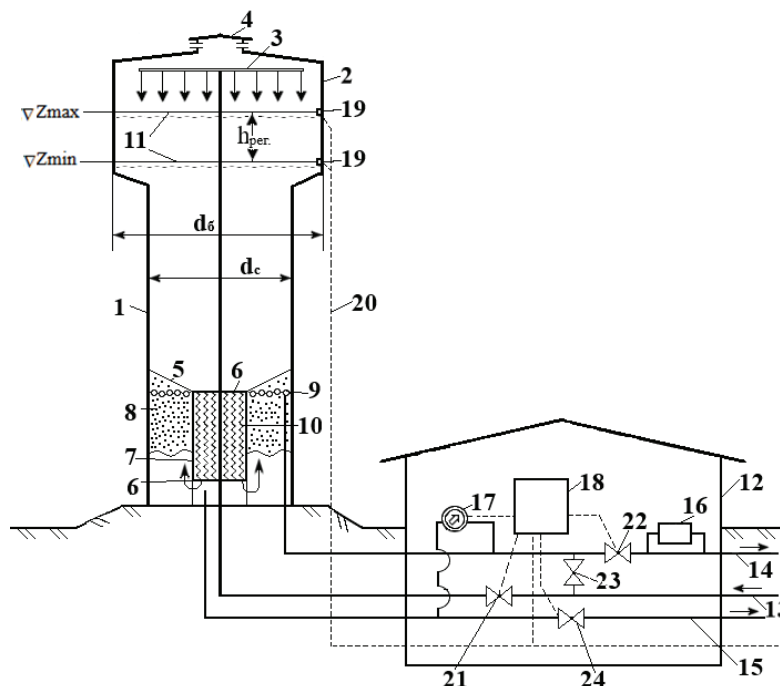


Рис. 3. Баштова автоматизована водознезалізнювальна установка:

- 1 – стовбур башти; 2 – бак башти; 3 – аератор; 4 – люк; 5 – контактньо-прояснювальний фільтр;
- 6 – колосникова решітка; 7 – біореактор; 8 – плаваюче фільтрувальне завантаження;
- 9 – ковпачковий дренаж; 10 – волокнисте завантаження; 11 – рівні води мінімальний і максимальний;
- 12 – службове приміщення; 13 – подача вихідної води; 14 – подача води споживачам; 15 – промивний трубопровід; 16 – бактерицидна установка; 17 – дифманометр;
- 18 – шафа управління; 19 – реле рівнів; 20 – передача інформації; 21–24 – засувки

води V_{ϕ} наведені розрахункові параметри КПФ будуть іншими, а тому для конкретних умов при пусконаладжувальних операціях водознезалізнювальної установки необхідно їх визначати для забезпечення ефективної роботи останньої та мінімізації собівартості очищеної води.

Викладення основного матеріалу. Щодо вдосконалення роботи баштової автоматизованої водознезалізнювальної установки, для повної автоматизації процесів знезалізнення води на баштовій водознезалізнювальній установці [22, 25] запропонована технологічна схема автоматизації подачі води на установку і промивка фільтра шляхом встановлення в службовому приміщенні шафи управління, з якої передаються електричні сигнали на управління засувками залежно від рівнів води в баку башти та інформації від дифманометра та реле часу (рис. 3).

Перевагою створення установки є зменшення її будівельної вартості при забезпеченні повної автоматизації роботи.

Поставлене завдання вирішено тим, що в баштовій водознезалізнювальній установці з метою зменшення об'єму водонапірного бака встановлено реле рівнів, які управляють роботою відцентрового насоса, що подає воду в бак для її знезалізнення, а для управління процесами промивки освітлювального фільтра у службовому приміщенні встановлено шафу з реле часу для автоматизації управління засувками з електроприводом залежно від втрати напору у освітлювальному фільтрі (дифманометр) і часу його промивки (реле часу).

Принцип дії установки такий: при подачі вихідної води по трубопроводу 13 через аератор 3 та розбризкуванні на дрібні крапельки та падіння з висоти не менше 0,5 м над максимальним рівнем води у баку Z_{\max} вихідна вода інтенсивно насичується киснем повітря, що приймає участь у її знезалізненні за допомогою залізобактерій, прикріплених у волокнистому завантаженні 10, волокна якого натягнуті між колосниковими решітками 6.

Після біореактора 7 вода рухається знизу догори через плаваюче фільтрувальне завантаження 8, в якому здійснюється контактна коагуляція мікропластівців гідроксиду заліза, що випадають в осад під дією сил тяжіння, а освітлена вода збирається ковпачковим дренажем 9 і відводиться по трубопроводу 14 споживачам і знезаражується бактерицидною установкою 16. Контактний дифманометр 17 вимірює різницю тисків у підфільтровому просторі КПФ і в трубопроводі 14

та при досягненні максимального значення надходить сигнал у шафу управління для проведення промивки фільтра, під час якої з допомогою електроприводів закриваються засувки 21 і 22 та відкриваються засувки 23 і 24. Промивка фільтра із заданою інтенсивністю триває певний час, який контролюється реле часу. По його закінченні закриваються послідовно засувки 23 і 24 та відкриваються засувки 21 і 22 і фільтроцикл повторюється.

За допомогою реле рівнів 19 автоматично вмикається (при рівні Z_{\min}) і вимикається (при рівні Z_{\max}) відцентровий насос, що подає вихідну воду у водонапірний бак, що зменшує об'єм бака, а отже і вартість установки.

При розрахунках такої установки визначають основні розміри її елементів: відмітка найнижчого рівня води у баку водонапірної башти Z_{\min} визначається з вимог забезпечення величини необхідного вільного напору $H_{\text{віль}}$ у диктуючій точці водопровідної мережі:

$$Z_{\min} = Z_{\text{д.т.}} + H_{\text{віль}} + \Sigma h, \text{ м}, \quad (4)$$

де $Z_{\text{д.т.}}$ – відмітка поверхні землі в диктуючій точці, м; $H_{\text{віль}}$ – величина потрібного вільного напору в цій точці, м; Σh – сума втрат напору, на шляху руху води від водонапірної башти до цієї точки у період найбільшого водоспоживання в мережі, м.

Відмітка найвищого рівня води у баку башти Z_{\max} визначаються за формулою:

$$Z_{\max} = Z_{\min} + h_{\text{рег.}}, \text{ м}, \quad (5)$$

де $h_{\text{рег.}}$ – глибина регулюючого об'єму води у баку, що визначається за формулою:

$$h_{\text{рег.}} = \frac{Q_{\text{н.ср.}}}{\pi d_{\phi}^2 n_{\text{рег.}}}, \text{ м}, \quad (6)$$

де $Q_{\text{н.ср.}}$ – середня подача води від свердловинного насоса між включенням його в роботу і відключенням;

$$Q_{\text{н.ср.}} = Q_{\text{макс. в.м}}, \text{ м}^3/\text{год.}, \quad (7)$$

де $Q_{\text{макс. в.м}}$ – витрата води в годину найбільшого водоспоживання $\text{м}^3/\text{год.}$;

$n_{\text{рег.}}$ – максимальна кількість включень насоса за годину ($n_{\text{рег.}} = 6-8$);

d_{ϕ} – діаметр баку башти, що дорівнює:

$$d_{\phi} = d_c + 2 \text{ м}, \quad (8)$$

де d_c – діаметр стовбура башти, в якому розміщується водознезалізнювальна установка, визначається за формулою:

$$d_c = \sqrt{1,27 Q_{\text{н.ср.}} \frac{V_{\phi} + V_{\phi.p.}}{V_{\phi} * V_{\phi.p.}}}, \text{ м}, \quad (9)$$

де V_{ϕ} і $V_{\phi.p.}$ – швидкість руху води, прийнято відповідно у КПФ та БР м/год.

Висновки. Оскільки в підземних водах України, що найчастіше використовуються як джерело водопостачання в локальних сільськогосподарських водопроводах, знаходиться підвищений вміст заліза, то найбільш ефективним методом його видалення є біологічний метод з розміщенням БР і КПФ у стовбурі водонапірної башти, що дає можливість створювати необхідні регулюючі об'єми води та забезпечувати подачу розрахункових витрат очищеної води під необхідним напором.

Для удосконалення технології знезалізнення підземних вод запропоновано автоматизовані водознезалізнювальні установки, управління роботою яких ведеться залежно від втрат напору на фільтрі (при фільтруванні води) та часу промивки фільтра з певною інтенсивністю.

Нормативний вміст заліза у фільтрованій воді забезпечується в межах питомої брудомісткості фільтра від G_{\min} до G_{\max} , величини яких залежать від показників якості вихідної

води $C_{\text{в}}$, конструктивних параметрів фільтра ($d_{\text{с}}$, $K_{\text{н}}$, і $H_{\text{ф}}$) та швидкості висхідного фільтрування $V_{\text{ф}}$.

Щоб не «заряджати» фільтр під час наступного фільтроциклу його промивку необхідно виконувати з вибраною інтенсивністю $q_{\text{пр}}$, тільки протягом розрахункового часу $t_{\text{пр}}$, зменшуючи питому брудомісткість фільтру від G_{\max} до G_{\min} , на величину ΔG . Розрахункові параметри КПФ і мінімальний $h_{\text{ф.min}}$ та максимальний $h_{\text{ф.max}}$ втрати напору на фільтрі, що контролюються дифманометром, та час промивки фільтра $t_{\text{пр}}$ з вибраною інтенсивністю $q_{\text{пр}}$, необхідно визначати для конкретних умов при пусконаладжувальних операціях побудованої водознезалізнювальної станції.

Перспективи використання результатів дослідження. Застосування біологічних методів очистки підземних вод у баштових автоматизованих водознезалізнювальних установках дасть можливість надійно забезпечувати сільських споживачів якісною питною водою в локальних водопроводах при мінімальних капітальних та експлуатаційних витратах.

Бібліографія

1. Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні у 2018 р. Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. 2019. 351 с. URL: <http://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2019/11/Proekt-Nats.-dop.-za-2018.pdf>
2. Водний кодекс України за станом на 21 лютого 2020 року. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80>
3. Про Загальнодержавну цільову програму: Питна вода України на 2011-2020 роки. Закон України №3933-VI від 20.10.2011. ВВР, 2012, № 24, ст. 247. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2455-15>
4. ДБН В.2.5-74:2013 Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. Київ: Мінрегіон 2013. 301 с. URL: <http://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2017/12/101.1.-DBN-V.2.5-742013.-Vodopostachannya.-Zovnishni-merezhi.pdf>
5. Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні у 2017 р. Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. 2018. 407 с. URL: <http://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2017/12/Proekt-Nats.-dop.-za-2016-rik.pdf>
6. Стан підземних вод України. Щорічник. Київ: Державна служба геології та надр України, Державне науково-виробниче підприємство «Державний інформаційний геологічний фонд України». 2018. 121 с. URL: http://geoinf.kiev.ua/wp/wp-content/uploads/2019/07/schorichnyk_stan_pv_2018_1.pdf
7. ДСТУ 7525:2014. Вода питна. Вимоги та методи контролю якості. Київ: Мінекономрозвитку України, 2014 25 с.
8. Державні санітарні норми та правила Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною (ДСанПіН 2.2.4-171-10). Затверджені наказом МОЗ України від 12.05.2010 р № 400 зі змінами. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10>
9. Ankrah D.A., Sogaard E.G. A review of biological iron removal. Thirteenth International Water Technology Conference, Elurghada, Egypt, 2009. – P. 999–1005.
10. Badjo I., Moucher P. Technologies appropriées. L'exemple d'une grande installation de deferrisation biologique au togo. 38, № 3. P 197–206
11. Benz M., Brune A, Schink B. Anaerobic and aerobic oxidation of ferrous iron at neutral pH by chemoheterotrophic nitrate-reducing bacteria. Arch. Microbiol V. – 1998. – 169 (2). – P. 159–165.

12. Dzombak D.A. Surface complexation modeling – Hydrous ferric oxide. F. M. M. Morel. – New York : John Wiley, 1990. – 393 p.
13. Grochmann A., Gollasch R., Chumacher G. Biologische enteisenung und entmanganung eines methanhaltigen grundwasser in Speyir. GWF, Wasser, Abwasser. 1989, 9. S. 441–447.
14. Hofmann Dr J., Hantzschel Dr. L. Abbau von organischen schadstoffen in grundwassern durch katalytische oxidation. Chem.-Ing.-Techn, 2002. – № 2. – P. 3–5
1. Kappler A., Straub K. L. Geomicrobiological cycling of iron. Rev. Mineral. Geochem, 2005. V. 59. P. 85–108.
15. Lavanya R.S., Ulavi S., Lokesh K.S., Water softening and de-ironing of ground water using sulfonated polystyrene beads. M. Tech Scholar. International journal of engineering research & technology. 2014. V 3. P. 2124–2127.
16. Martin S.T. Precipitation and Dissolution of Iron and Manganese Oxides. Chapter 4 of Environmental Catalysis / Editor Vicki H. Grassian., September 2003
17. Mikhnevich E.I., Propolsky D.E. Methods of deironing of water, analysis and condition of their use. Melioration. – 2017. – № 2(80). – P. 59–65.
18. Ocinski D., Jacukowicz-Sobala I., Mazur P., Raczek J., Kociolek-Balawejder E. Water treatment residuals containing iron and manganese oxides for arsenic removal from water. Characterization of physicochemical properties and adsorption studies. Chemical Engineering Journal 294. 2016. P. 210–221.
19. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 19th edition, American Public Health Association. American Water Works Association. Water Environment Federation, Washington DC, 1995.
20. Гвоздяк П.И. Микробиология и биотехнология очистки воды: Quo vadit? // Химия и технология воды. 1989. № 9. С. 854–858.
21. Хоружий П.Д., Хомуцька Т.П., Хоружий В.П. Ресурсозберігаючі технології водопостачання. Київ: Аграрна наука, 2008. 534 с.
22. Гвоздяк П.И. Біохімія води. Біотехнологія води (автомонографія). Київ: Видавничий дім «Києво-Могилянська академія». 2019. 228 с.
23. Орлов В.О., Мартинов С.Ю. Аераційні методи знезалізнення води. Вода і водоочисні технології. 2011, № 2. С.42–52.
24. Нор В.В., Хомуцька Т.П. Забезпечення економічної та надійної роботи систем сільськогосподарського водопостачання (на прикладі системи водопостачання села Тарасівка Київської області) // Меліорація і водне господарство. 2019. № 2. С. 175–185.
25. Стасюк С.Р. Лабораторні дослідження процесів знезалізнення підземних вод біологічним методом // Вісник НУВГП «Технічні науки» м. Рівне, № 4 (80), 2017. С. 42–51

References

1. Natsionalna dopovid pro yakist pytnoyi vody ta stan pytnoho vodopostachannya v Ukraini u 2018 r. [National Drinking Water Quality Report and Potable Water Supply Status in Ukraine in 2018]. (2018). Kyiv: Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Services of Ukraine. Retrieved from: <http://www.minregion.gov.ua/wpcontent/uploads/2017/12/Proekt-Nats.-dop.-za-2016-rik.pdf>. [In Ukrainian].
2. Vodnyy kodex Ukrainy (zi zminamy) [Water Code of Ukraine. (with changes)]. (n.d.). Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80> [In Ukrainian].
3. Zakon Ukrainy “Pro Zahalnodержavnu tsilovu programmu Pytna voda Ukrainy na 2011–2020 roky” [Law of Ukraine. National Target Program: Drinking Water of Ukraine for 2011–2020.]: pryiniaty 20 oct. 2011 roku №3933-VI. (2011, October 20). Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy. Kyiv: Parlam. vyd-vo. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2455-15> [In Ukrainian].
4. Vodopostachannya. Zovnishni merezhi ta sporudy. Osnovni polozhennya proektuvannya [Text engl]. (2013). DBN V.2.5-74:2013. State building codes. Kyiv: Minrehion. Retrieved from: <http://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2017/12/101.1.-DBN-V.2.5-742013.-Vodopostachannya.-Zovnishni-merezhi.pdf>. [In Ukrainian].
5. Natsionalna dopovid pro yakist pytnoyi vody ta stan pytnoho vodopostachannya v Ukraini u 2017 r. [National report on drinking water quality and drinking water supply in Ukraine in 2017]. (2017). Kyiv: Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Services of Ukraine. Retrieved from: <http://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2019/11/Proekt-Nats.-dop.-za-2018.pdf>. [In Ukrainian].

6. Stan pidzemnykh vod Ukrayiny. Shchorichnyk [Groundwater status of Ukraine. Yearbook.]. (2018). Kyiv: State Service of Geology and Subsoil of Ukraine, State Scientific and Production Enterprise "State Information Geological Fund of Ukraine". Retrieved from: http://geoinf.kiev.ua/wp/wp-content/uploads/2019/07/schorichnyk_stan_pv_2018_1.pdf. [In Ukrainian].
7. Voda pytna. Vymohy ta metody kontrolyu yakosti [Drinking water. Quality control requirements and methods]. (2014). DSTU 7525:2014. Natsionalnyi standart Ukrainy. Kyiv: Minekonomrozvytku Ukrayiny. [In Ukrainian].
8. Hihiyenichni vymohy do vody pytnoyi, pryznachenoï dlya spozhyvannya lyudynoyu [Hygienic requirements for drinking water intended for human consumption]. (2010). DSanPiN 2.2.4-171-10. Derzhavni sanitarni normy ta pravyla. Kyiv: Ministry of Health of Ukraine. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10>. [In Ukrainian].
9. Ankrah, D.A., & Sogaard, E.G. (2009). A review of biological iron removal. Thirteenth International Water Technology Conference, Elurghada, Egyp, 999–1005.
10. Badjo, I., & Moucher, P. L'exemple d'une grande installation de deferrisation biologique au togo. Technologies appropriées, 38, 3, 197–206.
11. Benz, M., Brune, A., & Schink, B. (1998). Anaerobic and aerobic oxidation of ferrous iron at neutral pH by chemoheterotrophic nitrate-reducing bacteria. Arch. Microbiol., V. 169 (2), 159–165.
12. Dzombak, D. A. (1990). Surface complexation modeling Hydrous ferric oxide. New York: John Wiley.
13. Grochmann, A., Gollasch, R., & Chumacher, G. (1989). Biologische enteisenung und entmanganung eines methanhaltigen grundwasser in Speyer. GWF, Wasser, Abwasser., 9, 441–447.
14. Hofmann, Dr J., & Hantzschel, Dr. L. (2002). Abbau von organischen schadstoffen in grundwassern durch katalytische oxidation. Chem.-Ing.-Techn, 2, 3–5.
15. Kappler, A., & Straub, K. L. (2005). Geomicrobiological cycling of iron. Rev. Mineral. Geochem, V. 59, 85–108.
16. Lavanya, R. S., Ulavi, S., & Lokesh, K. S. (2014). Water softening and de-ironing of ground water using sulfonated polystyrene beads. International journal of engineering research & technology, V 3, 2124–2127.
17. Martin, S.T. (2003). Precipitation and Dissolution of Iron and Manganese Oxides. Environmental Catalysis, Chapter 4. (Ed.). Vicki H. Grassian.
18. Mikhnevich, E.I., & Propolsky, D.E. (2017). Methods of deironing of water, analysis and condition of their use. Melioration, 2(80), 59–65.
19. Ocinski, D., Jacukowicz-Sobala, I., Mazur, P., Raczky, J., & Kociolek-Balawejder, E. (2016). Water treatment residuals containing iron and manganese oxides for arsenic removal from water. Characterization of physicochemical properties and adsorption studies. Chemical Engineering Journal 294, 210–221.
20. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1995). 19th edition, American Public Health Association. American Water Works Association. Water Environment Federation, Washington DC.
21. Gvozdyak, P.I. (1989). Mikrobiologiya i biotekhnologiya ochistki vody: Quo vadit? [Microbiology and biotechnology of water purification: Quo vadit?]. Khimiya i tekhnologiya vody, 9, 854–858. [In Russian].
22. Khoruzhyy, P.D., Khomutetska, T.P., & Khoruzhyy V.P. (2008). Resursozberihayuchi tekhnolohiyi vodopostachannya [Resource-saving technologies of water supply]. Kyiv: Agrarian Science. [In Ukrainian].
23. Hvozdyak, P.I. (2019). Biokhimiya vody. Biotekhnolohiya vody. [Water biochemistry. Water biotechnology.]. Kyiv: Vydavnychyy dim Kyievo-Mohylyanska akademiya. [In Ukrainian].
24. Orlov, V.O., & Martynov, S.Yu. (2011). Aeratsiyni metody znezaliznennya vody. [Aeration Methods for Water De-Ironing]. Voda i vodoochysni tekhnolohiyi, 2, 42–52. [In Ukrainian].
25. Nor, V.V., & Khomutetska, T.P. (2019). Zabezpechennya ekonomichnoyi ta nadiynoyi roboty system silskohospodarskoho vodopostachannya (na prykladi systemy vodopostachannya sela Tarasivka Kyivskoyi oblasti). [Provision of economical and reliable operation of agricultural water supply systems (for example, the water supply system of Tarasivka village, Kyiv region)]. Melioratsiya i vodne hospodarstvo, 2, 175–185. [In Ukrainian].
26. Stasyuk, S.R. (2017). Laboratorni doslidzhennya protsesiv znezaliznennya pidzemnykh vod biolohichnym metodom [Laboratory studies of the processes of groundwater ironation by biological method]. Visnyk NUVHP Tekhnichni nauky, 4(80), 42–51. [In Ukrainian].

П.Д. Хоружий, В.Д. Левицкая, С.Р. Стасюк,
В.В. Нор, Т.П. Хомуцкая

**Совершенствование технологий обезжелезивания и подачи подземных вод
в автоматизированных системах сельскохозяйственного водоснабжения**

Аннотация. Отмечено, что в Украине остро стоит проблема снабжения питьевой водой надлежащего качества, особенно в сельской местности. Основными источниками водоснабжения в локальных сельскохозяйственных водопроводах являются подземные воды. Однако, такие воды в Украине часто имеют повышенное содержание железа, иногда в десятки раз превышающие современные нормативные требования $C_n = 0,2 \text{ мг/дм}^3$. Показано, что для интенсификации процессов обезжелезивания подземных вод следует применять биологические методы с размещением очистных сооружений в корпусе водонапорной башни (ВБ), что позволяет значительно уменьшить капитальные и эксплуатационные расходы. При нисходящем движении аэрированной исходной воды через биореактор (БР) происходит переход двухвалентного железа в трехвалентную форму с помощью железобактерий, иммобилизованных на волокнистой загрузке, а при восходящем движении воды через плавающую пенополистирольную загрузку контактного осветлительного фильтра (КОФ) осуществляется ее прояснение от коллоидных частиц гидроксида железа благодаря сжатою их оседанию в подфильтровом пространстве КПФ. Приведены результаты лабораторных исследований снижения уровня железа в процессе обезжелезивания воды за определенный промежуток времени, предложено технологическое решение оптимизации конструктивных и технологических параметров БР и КОФ при отсутствии повторной «зарядки» биофильтра путем уменьшения времени его промывки. Во время промывки контактно-осветлительного фильтра рекомендуется оставлять часть осадка G_{min} , который будет служить катализатором во время следующего цикла обезжелезивания воды. На конкретном примере показано, что качество очищенной воды зависит от множества конструктивных и технологических параметров установки обезжелезивания воды и предложены основные принципы ее автоматизации для обеспечения оптимальной работы и методика расчета сооружений при минимизации капитальных и эксплуатационных затрат. Преимуществом такой установки является обеспечение высокой эффективности обезжелезивания воды биологическим методом при полной автоматизации процессов фильтрации воды и промывки фильтра одновременно с уменьшением затрат на ее строительство и эксплуатацию.

Ключевые слова: аэрация, биореактор, обезжелезивание воды, железобактерия, контактно-осветлительный фильтр.

P.D. Khoruzhyi, V.D. Levytska, S.R. Stasyuk,
V.V. Nor, T.P. Khomutetska

**Improving the technology of deferrization and ground water supply
in the automated agricultural water supply systems**

Abstract. Ukraine has an urgent problem of supplying adequate quality drinking water, especially in rural areas. Only 30% Ukrainian rural areas are equipped with water supply systems. The main sources of water supply in local agricultural water pipelines are groundwater. However, in Ukraine groundwater is often characterized with a rather high iron content, which is sometimes ten times higher than the current regulatory requirements $C_n = 0.2 \text{ mg / dm}^3$. It is shown that to intensify the processes of groundwater deferrization, biological methods should be used with the placement of treatment facilities in the body of the water tower (WT), which can significantly reduce capital and operating costs. When the downward movement of aerated source groundwater through the bioreactor (BR) a transition of divalent iron into a ferric iron form occurs with the help of iron bacteria, immobilized on fibrous media, and when the ascending movement of water through floating polystyrene foam media of the contact clarification filter (CCF), it is clarified from colloidal particles of iron hydroxide due to their compressed sedimentation in the subfilter space of the CCF. The results of laboratory research on iron reduction when water deferrization for a certain period of time are given, the technological solution for the optimization of constructive and technological parameters of WT and CCF in the absence of repeated «charging» of the filter is offered. When a contact-clarifying filter is flushed it is recommended to leave a part of the G_{min} residue, which will serve as a catalyst during the next water deferrization cycle. A specific example shows that the quality of treated water depends on many design and technological parameters of the water treatment plant and the basic principles of its automation to ensure optimal operation and methods of calculating structures while minimizing capital and operating costs are proposed. The advantage of such an installation is the provision of high efficiency of water deferrization by biological method with full automation of water filtration and filter flushing while reducing the cost of its construction and operation.

Key words: aeration, bioreactor, water deferrization, iron bacteria, contact and clarification filter.

ЗМІСТ

ВОДНІ РЕСУРСИ

Ромашенко М.І., Гусєв Ю.В., Шатковський А.П., Сайдак Р.В., Яцюк М.В., Шевченко А.М., Матяш Т.В. Вплив сучасних кліматичних змін на водні ресурси та сільськогосподарське виробництво	5
Воропай Г.В., Молеца Н.Б., Мозоль Н.В. Узагальнення наукового досвіду та сучасні аспекти його використання для забезпечення ефективного функціонування водорегулюючих систем у зоні Лівобережного Лісостепу України	23
Адїаха М.С., Оку Е.Е. Оцінювання вологостійкості ґрунтів: стратегія управління для боротьби з катастрофічними повеннями 21-го століття	32
Ковальчук П.І., Коваленко Р.Ю., Яцюк М.В., Ковальчук В.П., Демчук О.С., Балихіна Г.А. Системна модель інтегрованого управління водними ресурсами р. Інгулець за басейновим принципом.....	37
Чарний Д.В., Мацелюк Є.М., Онанко Ю.А. Особливості дослідження фізико-хімічного очищення стічних вод зі значним вмістом синтетичних миючих засобів на фосфатній основі.....	49

ЗРОШЕННЯ – ОСУШЕННЯ

Ромашенко М.І., Дехтяр О.О., Гусєв Ю.В., Яцюк М.В., Сайдак Р.В., Матяш Т.В., Шатковський А.П., Воропай Г.В., Войтович І.В., Музика О.П., Усатий С.В. Проблеми та основні напрями розвитку зрошення та дренажу в Україні в умовах змін клімату.....	56
Приведенюк Н.В., Шатковський А.П. Вплив площі живлення на продуктивність рослин материнки звичайної (<i>Origanum vulgare</i> L.) в умовах краплинного зрошення.....	68
Рокочинський А.М., Волк П.П., Коптюк Р.М., Приходько Н.В. Формування водопотреби осушуваних земель щодо змінних кліматичних та агроеліоративних умов.....	76
Мельничук Ф.С., Алексєєва С.А., Гордієнко О.В., Мельничук Л.М., Шатковська К.Б. Контроль чисельності ґрунтових шкідників кукурудзи за умов краплинного зрошення та дощування.....	86
Макарова Т.К., Максимова Н.М., Гапіч Г.В., Чушкіна І.В. Перерозподіл гранулометричних фракцій в чорноземі звичайному під впливом тривалого зрошення та хімічної меліорації фосфогіпсом.....	95
Рокочинський А.М., Турченко В.О., Волк П.П., Коптюк Р.М., Приходько Н.В., Ричко Д.М. Водопотреба супутніх культур на рисових зрошувальних системах.....	102

АГРОРЕСУРСИ

Мороз В.В., Никитюк Ю.А. Зниження вуглецепоглиняльної здатності деревостанів Житомирського Полісся через загибель соснових насаджень.....	112
---	-----

Голобородько С.П., Іутинська Г.О., Титова Л.В., Дубинська О.Д.
 Продуктивність сортів сої за інокуляції насіння бульбочковими й ендofітними бактеріями в умовах зрошення Півдня України.....122

Чуде В.О., Оку Е.Е., Нвака Г.І.С., Адіаха М.С.
 Оцінка ущільнення ґрунтів як маніпулятивна стратегія для покращення їх біорізноманіття: підхід до виконання Цілей Сталого Розвитку (SDG) два та шість.....131

ГІДРОЛОГІЯ

**Ромашенко М.І., Яцюк М.В., Шевченко А.М., Шевчук С.А.,
 Козицький О.М., Боженко Р.П., Лютницький С.М., Забуга А.О.**
 Проблеми та перспективи використання меліорованої заплави р. Ірпінь за сучасних соціально-економічних і кліматичних трансформацій.....144

Андрєєв В.Г., Гапіч Г.В.
 Вплив будівництва ставків і водосховищ на екологічну безпеку басейнів малих річок степової зони України (на прикладі Дніпропетровської області).....158

Шевчук С.А., Козицький О.М., Вишневський В.І.
 Зниклі та збережені озера на Позняках у Києві.....167

ГІДРОТЕХНІКА

Коваленко О.В.
 Сучасні гідроізоляційні матеріали на цементній основі для захисту гідротехнічних споруд.....175

**Хоружий П.Д., Левицька В.Д., Стасюк С.Р.,
 Нор В.В., Хомуцька Т.П.**
 Удосконалення технологій знезалізнення та подачі підземних вод в автоматизованих системах сільськогосподарського водопостачання.....186

CONTENTS

WATER RESOURCES

Romashchenko M.I., Husyev Yu.V., Shatkovskiy A.P., Saidak R.V., Yatsyuk M.V., Shevchenko A.M., Matiash T.V. Impact of climate change on water resources and agricultural production.....	5
Voropay G.V., Molescha N.B., Mozol N.V. Generalization of scientific experience and modern aspects of its use to ensure the effective functioning of water-regulating systems in the Left Bank Forest Steppe of Ukraine.....	23
Adiaha M.S., Oku E.E. Evaluating hydraulic properties of soils: a management strategy towards fighting the 21 st century flood disaster.....	32
Kovalchuk P. I., Kovalenko R.Yu., Yatsyuk M.V., Kovalchuk V.P., Demchuk O.S., Balykhina H.A. System model of integrated management of the water resources of the Ingulets River by a basin principal	37
Charnyi D.V., Matseliuk E.M., Onanko Yu.A. Specificities of the study of physical and chemical treatment of wastewater with a significant content of synthetic phosphate-based detergents.....	49

IRRIGATION-DRAINAGE

Romashchenko M.I., Dekhtiar O.O., Husyev Yu.V., Yatsiuk M.V., Saydak R.V., Matyash T.V., Shatkovskiy A.P., Voropay G.V., Voitovich I.V., Muzyka O.P., Usatyi S.V. Problems and main areas of irrigation and drainage development in Ukraine in a changing climate.....	56
Pryvedeniuk N.V., Shatkovskiy A.P. Effect of plant's alimentation area on productivity of oregano plants (<i>Origanum vulgare</i> L.) under conditions of a drip irrigation.....	68
Rokochinskiy A.M., Volk P.P., Koptyuk R.M., Prykhodko N.V. Water need formation on the drained lands in the variable climatic, agricultural and ameliorative conditions.....	76
Melnychuk F.S., Alekseeva S.A., Hordiienko O.V., Melnychuk L.M., Shatkovska K.B. Soil pest control for maize when applying drip and sprinkler irrigation.....	86
Makarova T.K., Maksymova N.N., Hapich G.V., Chushkina I.V. Redistribution of particle-size fractions in ordinary chernozem affected by long-term irrigation and chemical melioration with phosphogypsum.....	95
A.M. Rokochinskiy, V.O. Turcheniuk, P.P. Volk, R.M. Koptyuk, N.V. Prykhodko, D.M. Rychko Water needs of interplanted crops on rice irrigation systems.....	102

AGRO RESOURCES

Moroz V.V., Nykytiuk Y.A. Reduction of carbon absorption capacity of forest stands in Zhytomyr Polissya due to the pine stands mortality.....	112
Goloborodko S.P., Iutynskaya G.A., Tytova L.V., Dubinska O.D. Productivity of soybean varieties in the inoculation of seeds by nodules and endophytic bacteria in the conditions of irrigation of South of Ukraine.....	122

Chude V.O., Oku E.E., Nwaka G.I.C., Adiaha M.S.

Soil compaction assessment as a manipulative strategy to improve soil biodiversity:
an approach for meeting SDG two and six131

HYDROLOGY

Romashchenko M.I., Yatsyuk M.V., Shevchenko A.M., Shevchuk S.A.,

Kozytsky O.M., Bozhenko R.P., Lyutnitsky S.M., Zabuga A.O.

Problems and prospects of the reclaimed floodplain' of the Irpin' river usage
under the modern socio-economic and climatic transformations.....144

Andrieiev V.G., Hapich H.V.

Impact of ponds and reservoirs construction on the environmental safety
of small river basins of the steppe zone of Ukraine (the case of Dnipropetrovsk region).....158

Shevchuk S.A., Kozytskyi O.M., Vyshnevskiy V.I.

Vanished and preserved lakes in Pozniaky area in Kyiv city167

HYDRAULIC ENGINEERING

Kovalenko O.V.

Modern cement-based waterproofings for hydraulic structures protection175

Khoruzhyi P.D., Levytska V.D., Stasyuk S.R.,

Nor V.V., Khomutetska T.P.

Improving the technology of deferrization and ground water supply
in the automated agricultural water supply systems.....186

НОТАТКИ

Наукове видання

Меліорація
і водне господарство

№ 1 • 2020

Журнал
Заснований у 1965 році

(випуск 111)

Виконавчі редактори – Т.І. Трошина, Н.В. Логунова, К.Б. Шатковська, О.П. Войтович

Підписано до друку 15.06.2020 року.
Формат 60x84/8. Гарнітура Times New Roman.
Папір офсет. Цифровий друк.
Ум.-друк. арк. 23,25. Обл. вид. арк. 17,98.
Замов. № ____ . Наклад 100 прим.

Видавництво та друк: «ОЛДІ-ПЛЮС»
вул. Паровозна, 46-А, м. Херсон, 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