

Міністерство освіти і науки України
Херсонський державний аграрно-економічний університет

ВОДНІ БІОРЕСУРСИ ТА АКВАКУЛЬТУРА

Water bioresources and aquaculture

Науковий

журнал

2(14)/2023



Видавничий дім
«Гельветика»
2023

Рекомендовано до друку та поширення через мережу Internet
Вченою радою Херсонського державного аграрно-економічного університету
(протокол № 5 від 28.12.2023 року).

Головний редактор – Пічура В.І. – доктор сільськогосподарських наук, професор.
Відповідальний редактор – Дюдяєва О.А. – старша викладачка кафедри екології та сталого розвитку імені професора Ю.В. Пилипенка.

Члени редакційної колегії:

Бех В.В. – доктор сільськогосподарських наук, професор;
Бойко М.Ф. – доктор біологічних наук, професор;
Бойко П.М. – кандидат біологічних наук, доцент;
Бузевич І.Ю. – доктор біологічних наук, старший науковий співробітник;
Бургаз М.І. – кандидат біологічних наук, доцент;
Вовк Н.І. – доктор сільськогосподарських наук, професор;
Волох А.М. – доктор біологічних наук, професор;
Дементьєва О.І. – кандидат сільськогосподарських наук, доцент;
Домарацький Є.О. – кандидат сільськогосподарських наук, доцент;
Зубков О. – доктор-хабілітат біологічних наук, професор (Республіка Молдова);
Клименко О.М. – доктор сільськогосподарських наук, професор;
Кутіщев П.С. – кандидат біологічних наук, доцент;
Наконечний І.В. – доктор біологічних наук, професор;
Харитонов М.М. – доктор сільськогосподарських наук, професор;
Шевченко В.Ю. – кандидат сільськогосподарських наук, доцент;
Шевченко П.Г. – кандидат біологічних наук, доцент, старший науковий співробітник;
Шекк П.В. – доктор сільськогосподарських наук, професор;
Шкуте А. – доктор біологічних наук, професор (Латвія).

Електронна сторінка видання – www.wra-journal.ksauniv.ks.ua

*На підставі наказу Міністерства освіти і науки України № 409 від 17.03.2020 р. (додаток 1)
журнал внесений до Переліку наукових фахових видань України (категорія «Б»)
у галузі сільськогосподарських наук (101 – Екологія, 207 – Водні біоресурси та аквакультура)*

Науковий журнал «Водні біоресурси та аквакультура»
зареєстровано Міністерством юстиції України
(Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації,
серія КВ № 24811-14751ПР від 12.04.2021 року)

Статті у виданні перевірені на наявність плагіату за допомогою
програмного забезпечення StrikePlagiarism.com від польської компанії Plagiat.pl

ЗМІСТ

ВОДНІ БІОРЕСУРСИ.....	7
<i>Бургаз М.І., Бургаз О.А.</i> Перспективні шляхи вирішення проблеми чужорідних видів іхтіофауни в р. Південний Буг на території НПП «Бузький Гард».....	7
<i>Мельниченко С. Г.</i> Рибництво на малих водосховищах Півдня України: аналіз динаміки вилову, проблем та перспектив розвитку.....	19
<i>Olifirenko V.V., Rutta O.V., Olifirenko P.V.</i> The state of study of parasites and symbionts of crayfish.....	29
 АКВАКУЛЬТУРА.....	 40
<i>Валерко Р.А., Герасимчук Л.О., Пацева І.Г.</i> Екологічна безпека питного водопостачання Черняхівської громади Житомирського району.....	40
<i>Dyudiyayeva O.A.</i> Use of fish and fish products for to ensure food security and the transition to a balanced and healthy diet.....	51
<i>Кутіщев П.С., Гончарова О.В.</i> Кормова база вирощувальних ставів Херсонського виробничо-експериментального заводу по розведенню молоді частикових риб.....	65
 ГІДРОЕКОЛОГІЯ.....	 86
<i>Бєдункова О.О., Яхнюк А.О.</i> Фізіологічні реакції <i>Poecilia reticulata</i> на присутність мікропластику в водному середовищі.....	86
<i>Іванець О.Р.</i> Фауна і таксономічна характеристика нових для Галичини видів коловерток (<i>Rotifera: Rotatoria</i>) за матеріалами Людвіга Козара.....	98
<i>Marenkov O.M., Nesterenko O.S., Shmyhol N.V., Reshetniak D.S., Zamalin B.Yu., Yerukh M.M.</i> The impact of the planned activities of the “Ternivska” mine on the Saksagan river ichthyofauna (Kryvyi Rih, Ukraine).....	110
<i>Пічуря В.І., Потравка Л.О.</i> Просторово-часова диференціація водного сліду вирощування сільськогосподарських культур на водозбірній території річки Случ в умовах змін клімату	123

МЕТОДИ І МЕТОДИКИ.....	160
<i>Ковальов М.М., Савченко К.М., Янковська Я.І.</i> Продуктивність тюльпану при вирощуванні в ґрунтовому середовищі та гідропонних системах періодичного затоплення <i>Flood & Drain</i>	160
<i>Ботонд Геза Калман, Вікторія Франц.</i> Біологічне значення екзосом і мікрочастинок.....	171

CONTENTS

WATER BIORESOURCES.....	7
<i>Burhaz M.I., Burhaz O.A.</i> Promising ways to solve the problem of ichthyofauna alien species in the Southern Bug River on the territory of the National Natural Park “Buzkyy Gard”.....	7
<i>Melnysenko S.H.</i> Fish farming in small reservoirs of Southern Ukraine: analysis of catch dynamics, problems and development prospects.....	19
<i>Olifirenko V.V., Rutta O.V., Olifirenko P.V.</i> The state of study of parasites and symbionts of crayfish.....	29
AQUACULTURE.....	40
<i>Valerko R.A., Herasymchuk L.O., Patseva I.H.</i> Environmental safety of drinking water supply of Chernyahiriv community of Zhytomyr district.....	40
<i>Dyudyayeva O.A.</i> Use of fish and fish products for to ensure food security and the transition to a balanced and healthy diet.....	51
<i>Kutishchev P.S., Honcharova O.V.</i> Natural feed base of the growing ponds of the Kherson production and experimental plant for breeding of the ordinary fish.....	65
GYDROECOLOGY.....	86
<i>Biedunkova O.O., Yakhniuk A.O.</i> Physiological reactions of <i>Poecilia reticulata</i> to the presence of microplastics in the aquatic environment.....	86
<i>Ivanets O.R.</i> Fauna and taxonomic characteristics of rotifers (<i>Rotifera : Rotatoria</i>) species new to Galicia, according to the materials of Ludwig Kozar.....	98
<i>Marenkov O.M., Nesterenko O.S., Shmyhol N.V., Reshetniak D.S., Zamalin B.Yu., Yerukh M.M.</i> The impact of the planned activities of the “Ternivska” mine on the Saksagan river ichthyofauna (Kryvyi Rih, Ukraine).....	110
<i>Pichura V.I., Potravka L.O.</i> Spatial-temporal differentiation of the water footprint of agricultural crop growing in the Sluch river catchment area under the conditions of climate change.....	123

METHODS AND TECHNIQUES.....	160
<i>Kovalov M.M., Savchenko K.M., Yankovska Ya.I.</i> Productivity of tulip when grown in a soil environment and hydroponic systems of periodic <i>Flood & Drain</i>	160
<i>Botond Géza Kálmán, Frants V.</i> Biological significance of exosomes and microparticles.....	171

ВОДНІ БІОРЕСУРСИ

УДК 597.583.1

DOI <https://doi.org/10.32782/wba.2023.2.1>

ПЕРСПЕКТИВНІ ШЛЯХИ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ ЧУЖОРІДНИХ ВИДІВ ІХТІОФАУНИ В Р. ПІВДЕННИЙ БУГ НА ТЕРИТОРІЇ НПП «БУЗЬКИЙ ГАРД»

Бургаз М.І. – к.б.н., доцент,

Бургаз О.А. – к.геогр.н., доцент,

*Одеський державний екологічний університет,
marynaburhaz@gmail.com, alexburgaz84@gmail.com*

Сучасний господарський розвиток людства наразі є джерелом небезпеки негативних змін та трансформацій екосистем у глобальному виміру. Одним з чинником таких змін є біологічні інвазії. Проблема біологічних інвазій в наш час набула глобальних масштабів і її вирішення є актуальним завданням фахівців різних галузей.

Інвазійні чужорідні види, як рослини так і тварини та інші організми, визнані однією із головних прямих загроз і причин глобальних змін природних екосистем. Вони призводять до виснаження майже усіх типів ресурсів і є чинником біологічного забруднення. Непрямий вплив біологічних інвазій не завжди очевидний. Він є предметом численних наукових досліджень, й розроблення методів його виявлення та оцінювання. Метою цього є формування уявлення про масштаби збитків і вироблення управлінських рішень їх запобігання.

Метою статті є пошук перспективних шляхів вирішення проблеми інвазійних видів риб річки Південний Буг в межах національного природного парку «Бузький гард».

Об'єкт дослідження – інвазійні види риб річки Південний Буг в межах національного природного парку «Бузький гард».

Предмет дослідження – пошук можливих шляхів суттєвого скорочення чисельності інвазійних видів риб річки Південний Буг в межах національного природного парку «Бузький гард».

Згідно чинного законодавства, національні природні парки є природоохоронними, рекреаційними, культурно-освітніми, науково-дослідними установами загальнодержавного значення. Метою їх створення є збереження, відтворення і ефективне використання природних комплексів та об'єктів, що мають особливу цінність. Одним з головних завдань національних природних парків є створення умов для рекреаційної діяльності в природних умовах, проведення наукових досліджень природних комплексів та їх змін, проведення екологічної освітньо-виховної роботи.

Однім з видів рекреаційної діяльності національного природного парку «Бузький гард» є любительське та спортивне рибальство. Його розвиток може

стати суттєвим чинником зменшення чисельності інвазійних видів риби Південного Бугу. Цей поступальний розвиток потребує розробки спеціальної стратегії територіального розвитку. При цьому слід пам'ятати, що любительське та спортивне рибальство – потужний фактор впливу на природне середовище та водні біоресурси. Саме тому, існує необхідність супроводження даного виду рекреаційної діяльності постійним моніторингом екосистем, освітньо-виховною роботою з відвідувачами парку та місцевим населенням.

Комплекс вищезначених дій дозволить значно зменшити ризики від інвазійних видів риби, вихованню свідомого дбайливого ставлення до природи, до її біологічного і ландшафтного різноманіття, поліпшити якість рекреаційних послуг, підвищити економічну привабливість регіону.

Ключові слова: «Бузький Гард», інвазійні види риби, любительське рибальство, спортивне рибальство.

Постановка проблеми. Інтенсифікація світового господарства, стрімка глобалізація суспільства на сьогодні є глобальними чинниками перетворень природних екосистем. Біологічні інвазії є одним з основних факторів таких перетворень. За даними [1], на сьогодні у великих Європейських річках та їх басейнах нараховується близько 60 інвазійних видів риби. Дослідження [2] свідчать, що в басейні річки Дніпро нараховується 36 видів риби, що можуть розглядатися як чужорідні. Не виключенням є і басейн Південного Бугу. При цьому значна екологічна пластичність чужорідних видів призводить до значних і, часто, негативних трансформацій гідроекосистем.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблемі біологічних інвазій в науковій літературі присвячено значна кількість наукових публікацій. Серед останніх можна виділити [3, 4] Така увага пояснюється її глобальними масштабами. Інвазійні чужорідні види визнані однією із п'яти головних прямих загроз і рушійних сил глобальних змін природних екосистем, що спричиняють виснаження майже усіх типів ресурсів і є чинником біологічного забруднення [5]. Відповідно до [6], встановлено понад 37 тис. видів чужорідних організмів, що були переміщені або й інтродуковані в усі регіони та біоми Землі. Швидкість їх реєстрації – близько 200 щорічно. Для понад 3,5 тис. таксонів наявні дослідження з доказами їхнього негативного впливу, на підставі чого їх класифікують як інвазійні чужорідні види. Частка інвазійних серед чужорідних видів варіює залежно від таксономічних груп організмів: від 6 % усіх чужорідних рослин до 22 % усіх чужорідних безхребетних. Найбільше задокументованих негативних впливів інвазійних чужорідних видів зареєстровано в наземних екосистемах, близько чверті – у водних екосистемах [7].

Постановка завдання. Завданням даної роботи є формулювання шляхів вирішення проблеми чужорідних видів іхтіофауни в річці Південний Буг в межах території національного природного парку (НПП) «Бузький Гард».

Результати досліджень. Відповідно до Положення про національний природний парк «Бузький Гард» (далі – Парк) [8], основними завданнями, що на нього покладаються, є:

- збереження та відтворення цінних природних та історико-культурних комплексів та природних об'єктів басейну Південного Бугу;

- створення умов для організованого туризму, відпочинку та інших видів рекреаційної діяльності в природних умовах з додержанням режиму охорони заповідних комплексів та об'єктів;

- організація та здійснення наукових, науково-дослідних робіт, розроблення та впровадження наукових рекомендацій з питань охорони фауни, відновлення порушених екосистем, управління та ефективного використання природних ресурсів, організації та проведення моніторингу ландшафтного та біологічного різноманіття;

- проведення екологічної освітньо-виховної роботи [8].

Парк у своїй діяльності керується Конституцією України [9], законами України «Про охорону навколишнього природного середовища» [10], «Про природно-заповідний фонд України» [11], «Про Червону книгу України» [12], «Про рослинний світ» [13], «Про тваринний світ» [14], Земельним [15], Лісовим [16] та Водним кодексами України [17], міжнародними договорами, іншими нормативно-правовими актами, Проектом організації території Парку, охорони, відтворення та рекреаційного використання його природних комплексів та об'єктів (далі – Проект організації території), а також Положенням про національний природний парк «Бузький Гард» (далі – Положення).

За даними [18], іхтіофауна території багата і різноманітна. Поряд з рибами, що мають широке розповсюдження, такими як плітка (*Rutilus rutilus*), тараня (*R. r. heckeli*), головень (*Leuciscus cephalus*), сом (*Silurus glanis*), верховодка (*Alburnus alburnus*), лящ (*Abramis brama*), густірка (*Blicca bjoerkna*), лин (*Tinca tinca*), білізна (*Aspius aspius*), рибець (*Vimba vimba*), короп (*Cyprinus carpio*), карась сріблястий (*C. auratus*), щука (*Esox lucius*), бички кругляк (*Gobius fluviatilis*) та цуцик (*Proterorhinus marmoratus*), судак звичайний (*Lucioperca lucioperca*), окунь звичайний (*Perca fluviatilis*) тощо, іхтіофауна Гранітно-степового Побужжя містить велику кількість рідкісних видів. Чотири з них занесені до Червоної книги України. Це марена дніпровська (*Barbus barbus borysthenticus*), ялець звичайний (*Leuciscus leuciscus*), бистрянкa руська (*Alburnoides rossicus*), карась звичайний (*Carassius carassius*). Дев'ять видів риб входять до регіонального списку охорони Миколаївської області. Серед них ялець звичайний (*Leuciscus leuciscus*), в'язь (*Leuciscus idus*), синець (*Abramis ballerus*), чехоня (*Pelecus cultratus*), бистрянкa руська (*Alburnoides bipunctatus rossicus*), голец звичайний (*Noemacheilus barbatulus*), миньок звичайний

(*Lota lota*), берш (*Lucioperca volgensis*), йорж-носар (*Acerina acerina*). Найцікавішим об'єктом іхтіофауни є найбільша з тих, що залишилися в світі, популяція марени дніпровської [18].

В 2019 році шляхом опитування рибалок-аматорів та місцевого населення території Мигійського та Богданівського природоохоронних науково-дослідних відділень (ПНДВ) було отримано інформацію про часті вилови окуня сонячного (*Lepomis gibbosus*), карася сріблястого (*Carassius auratus*), амуру білого (*Stenopharyngodon idella*), амуру чорного (*Mylopharyngodon piceus*), чебачку амурського (*Pseudorasbora parva*).

Амур білий (*Stenopharyngodon idella*) – батьківщина Східна Азія. В умовах України білий амур не нереститься, а його мальок завозять з Молдови. В Україні та, зокрема, в регіоні Парку мальок поміщають у ставки для вирощування, звідки риба потрапляє в р. Південний Буг. Водна рослинність є основною їжею цієї риби [25].

Амур чорний (*Mylopharyngodon piceus*) – у кінці XX сторіччя успішно акліматизований в Україні. Є стенофагом – живиться майже виключно молюсками, черепашки яких легко розчавлює масивними глотковими зубами. Доросла особина може з'їсти до 1,5 кг молюсків за день. Також може живитись рачками та личинками комах.

Карась сріблястий (*Carassius auratus*) – завезений до Північної Америки, в ставкові господарства Західної Європи, Таїланду, Індії. В Україні він прекрасно прижився і став промисловою рибою. Всеїдний, харчується водоростями, коловертками, детритом, насінням та іншими частинами вищих рослин, планктонними ракоподібними.

Окунь сонячний (*Lepomis gibbosus*) – батьківщина Центральна і Північна Америка. На початку 2000-х рр. *L. gibbosus* потрапляє у Дніпровське водосховище внаслідок навмисного вселення [25], а потім розселяється по всіх водоймах України. Живиться ікрою та молоддю інших водних мешканців. *L. gibbosus* відзначається значною трофічною пластичністю. У складі його харчової грудки відзначені 11 кормових компонентів. Крім безхребетних і молоді риб, хижак у природних водоймах активно споживає водяну рослинність.

Товстолобик білий (*Hypophthalmichthys molitrix*) – його батьківщиною вважається Китай. В Українські водойми були заселені в 60-х роках минулого століття. Метою такої біологічної інтродукції була очистка водойм від мікрowodоростей. Товстолоб славиться своєю здатністю харчуватися фітопланктоном, при цьому він чистить воду і ефективно позбавляє її від надлишку дендритів. Харчуються переважно дрібними водоростями на мілководді.

Чебачок амурський (*Pseudorasbora parva*) – вид має дуже високу екологічну пластичність, здатний пристосовуватись до несприятливих умов

існування. Типовий бентофаг. Живиться детритом, ікромією, водними рослинами. У водоймах України є шкідливою рибою через те, що швидко збільшує свою чисельність у водоймах, активно знищує ікру інших видів риби та конкурує з молоддю промислових видів риби за кормову базу.

Перспективним шляхом вирішення питання негативного впливу інвазивної іхтіофауни є розвиток та стимулювання любительського та спортивного рибальства.

Згідно з [18], спортивний лов в межах Парку не організовувався та не проводився понад три десятиліття. При цьому існує нагальна потреба оновлення даних щодо видового складу іхтіофауни в межах НПП «Бузький Гард» оскільки такі дослідження проводились ще на початку 1990-х років.

Відповідно до Проекту організації території Парку, усі водойми в його межах є внутрішніми рибогосподарськими водоймами загального користування, де любительське та спортивне рибальство здійснюється без надання спеціальних дозволів на право здійснення любительського і спортивного рибальства та без закріплення цих водних об'єктів за окремими особами.

Слід відмітити, що в межах об'єктів природно-заповідного фонду спортивне та любительське рибальство чинною нормативно-правовою базою не регулюються. В межах територій Парку, спортивне та любительське рибальство здійснюється відповідно до вимог Проекту організації території та Положення про національний природний парк «Бузький Гард».

Згідно Проекту організації території, любительський лов риби дозволяється в літній період, у строки від скресання криги і до льодоставу (за винятком забороненого нерестового періоду) з берега або з човна, вудками всіх видів із загальною кількістю гачків не більше п'яти на рибалку, та спінінгом. Забороняється лов вирезуба (*Rutilus frisii*), шемаї (*Alburnus chalcoides*), рибиця звичайного (*Vimba vimba*), марени (*Barbus barbus borysthenticus*), бистрянки (*Alburnoides rossicus*), яльця (*Leuciscus leuciscus*), а також інших видів, занесених до Червоної книги України.

Спортивний лов риби в межах Парку здійснюється з установами певних вимог за умовами проведення спортивних змагань або кваліфікаційних нормативів виключно за погодженням з адміністрацією Парку.

У зимовий період (від льодоставу до скресання криги) любительський лов риби дозволяється зимовими вудками з блешнею вертикального блесніння з гачком не більше № 10, мормишкою, наживкою і живцевою снастями із загальною кількістю гачків – не більше п'яти на рибалку.

В період нерестової заборони любительське рибальство може бути дозволено адміністрацією Парку на спеціально визначених ділянках водойм однією поплавковою або донною вудкою із одним гачком і спінінгом з берега.

Усі вищезначені умови стосуються зон регульованої рекреації, стаціонарної рекреації та господарської зони. В межах заповідних зон Парку на річці Південний Буг спортивне та любительське рибальство заборонене.

Проектом організації території встановлені також мінімальні розміри риб дозволених до вилову рибалками-любителями в межах НПП «Бузький Гард» (таблиця 1).

Зазначені дані, створюють передумови для активного розвитку любительського та спортивного рибальства на територіях НПП. З одного боку це сприятиме покладені на Парк завдання зі створення умов для різноманітних видів рекреаційної діяльності в природних умовах з додержанням режиму охорони заповідних комплексів та об'єктів. З іншого боку, розвиток любительського та спортивного рибальства є досить ефективним інструментом скорочення чисельності інвазивних видів іхтіофауни. Особливо це стосується окуня сонячного (*Lepomis gibbosus*) та чебачка амурського (*Pseudorasbora parva*).

Таблиця 1. Мінімальні розміри риб і водних безхребетних, дозволених до вилову рибалками-любителями в межах НПП «Бузький Гард»

Види риб	Розмір, см
Бичок (<i>Gobius fluviatilis</i> та <i>Proterorhinus marmoratus</i>)	11
Білий амур (<i>Ctenopharyngodon idella</i>)	40
Білизна (<i>Aspius aspius</i>)	30
Головень (<i>Squalius cephalus</i>)	24
Карась сріблястий (<i>Carassius auratus</i>)	15
Короп (<i>Cyprinus carpio carpio</i>)	25
Лин (<i>Tinca tinca</i>)	20
Лящ (<i>Abramis brama</i>)	32
Підуст (<i>Chondrostoma nasus</i>)	25
Плітка (<i>Rutilus rutilus</i>)	18
Сазан (<i>Cyprinus carpio</i>)	35
Синець (<i>Abramis ballerus</i>)	22
Сом (<i>Silurus glanis</i>)	70
Судак (<i>Lucioperca lucioperca</i>)	42
Щука (<i>Esox lucius</i>)	35

Незважаючи на часті зустрічі зазначених видів у виловах рибалок-аматорів, сонячний окунь та чебачок амурський не користуються особливою «популярністю» і, як правило, відпускаються рибалками. Цьому сприяють їх біологічні особливості, а саме невеликі максимальні розміри (до 10 см).

Вирішенню проблеми інвазії (*Lepomis gibbosus*) та (*Pseudorasbora parva*) сприятиме системна та постійна роз'яснювальна робота серед рибалок-аматорів, щодо необхідності видалення сонячного окуня та чебачка

амурського з водойм. Ефективність подібних заходів може бути суттєво збільшена при одночасній просвітницькій роботі з учнівською молоддю: проведення зустрічей з працівниками Парку у школах, організація екскурсій школярів територіями НПП.

Інформаційна та еколого-пропагандистська робота з місцевими рибалками-аматорами дає можливість раннього виявлення нових інвазійних видів риби в екосистемах Південного Бугу.

Організація спортивного рибальства також є суттєвим важелем розвитку НПП «Бузький Гард» з точки зору надання рекреаційних послуг. При цьому, непрямим шляхом вирішується завдання збереження цінних природних комплексів басейну Південного Бугу.

Проведення рибальських фестивалів та турнірів серед рибалок-спортсменів та школярів по вилову представників інвазійної іхтіофауни, суттєвим чином впливатиме на скорочення інвазійних видів, сприятиме поширенню екологічних знань та популяризації екологоорієнтованого відпочинку громадян.

Беззаперечним фактом є те, що ведення подібної діяльності повинно супроводжуватися системним і всебічним моніторингом екосистем Парку на усіх етапах діяльності – від її планування до практичної реалізації проєктів. Дослідження рекреаційних ресурсів передбачає оцінку інтенсивності їх рекреаційного використання, а тому важливо врахувати і рекреаційний потенціал природних систем. Це є вкрай необхідним для обґрунтування шляхів отримання максимального ефекту, при якому не будуть відбуватися негативні зміни стану довкілля.

Вирішення проблеми чужорідних видів іхтіофауни Південного Бугу в межах НПП «Бузький Гард» через розвиток спортивного та любительського рибальства додатково матиме низку сприятливих соціально-економічних ефектів: дозволить розширити перелік рекреаційних послуг, створити вигідні умови економічного розвитку регіону розташування НПП, спонукатиме покращенню екологічної свідомості та обізнаності громадян, намітить шляхи взаємовигідних (в усіх аспектах) відносин між НПП та користувачами природних ресурсів.

Висновки. В межах національного природного парку «Бузький Гард» на основі інформації, отриманого від місцевого населення виявлено ряд інвазивних видів іхтіофауни: окунь сонячний (*Lepomis gibbosus*), карась сріблястий (*Carassius auratus*), амур білий (*Ctenopharyngodon idella*), амур чорний (*Mylopharyngodon piceus*), чебачок амурський (*Pseudorasbora parva*).

Вирішенню питання скорочення чисельності інвазійної іхтіофауни, на нашу думку, сприятиме розвиток спортивного та любительського рибальства на територіях Парку. Даний вид діяльності на території НПП повинен супроводжуватися широкою та системною роз'яснювальною

роботою з місцевим населенням усіх вікових груп щодо необхідності видалення інвазійних видів з водних екосистем Парку. Безперервне співробітництво з місцевим населенням дасть змогу раннього виявлення нових інвазійних видів.

Розвиток спортивного рибальства (проведення рибальських фестивалів, турнірів тощо) також ініціюватиме скорочення інвазійної іхтіофауни та допоможе привернути увагу до даної проблеми більш широких верств суспільства.

Стимулювання спортивного та любительського рибальства на територіях НПП матиме низку додаткових соціально-економічних наслідків: розширення кола рекреантів на території НПП, розвитку екологічного туризму в регіоні, залучення додаткових коштів до Парку, у комплексі з веденням просвітницької діяльності, виховання свідомого дбайливого ставлення до природи, до її біологічного і ландшафтного різноманіття, впровадження обов'язкового та безперервного екологічного, економічного та соціального моніторингу на території НПП та регіону його розташування.

PROMISING WAYS TO SOLVE THE PROBLEM OF ICHTHYOFAUNA ALIEN SPECIES IN THE SOUTHERN BUG RIVER ON THE TERRITORY OF THE NATIONAL NATURAL PARK "BUZKYI GARD"

*Burhaz M.I. – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor;
Burhaz O.A. – Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor,
Odesa State Environmental University,
marynaburhaz@gmail.com, alexburgaz84@gmail.com*

The modern mankind economic development is currently a source of danger of ecosystems negative changes and transformations on a global scale. Biological invasions are one of the factors behind such changes. The problem of biological invasions has now become a global one, and its solution is an urgent task for specialists in various fields.

Invasive alien species, both plants and animals and other organisms, are recognized as one of the main direct threats and causes of global changes in natural ecosystems. They lead to the depletion of almost all types of resources and are a factor of biological pollution. The indirect impact of biological invasions is not always obvious. It is the subject of numerous scientific studies, and methods for its detection and assessment are being developed. The purpose of this is to form an idea of the damage scale and develop management solutions to prevent it.

The purpose of the article is to find promising ways to solve the problem of invasive fish species in the Southern Bug River within National Nature Park "Buzkyi Gard".

The object of the study is invasive fish species of the Southern Bug River within the National Nature Park "Buzkyi Gard".

The subject of the study is the search for possible ways to significantly reduce the number of invasive fish species in the Southern Bug River within the National Nature Park “Buzkyi Gard”.

According to the current legislation, national nature parks are nature protection, recreational, cultural, educational, scientific and research institutions of national importance. The purpose of their creation is to preserve, restore and effectively use natural complexes and objects of special value. One of the national nature parks main tasks is to create conditions for recreational activities in natural conditions, conduct scientific research of natural complexes and their changes, and conduct environmental education and training.

One of the types of recreational activities of the National Nature Park “Buzkyi Gard” is amateur and sport fishing. Its development can be a significant factor in reducing the number of invasive fish species in the Southern Bug. This potential development will require the elaboration of a special strategy for territorial development. It should be remembered that recreational and sport fishing is a powerful factor of influence on the natural environment and aquatic bioresources. That is why there is a need to accompany this type of recreational activity with constant monitoring of ecosystems, educational work with park visitors and local residents.

The complex of the above actions will significantly reduce the risks from invasive fish species, foster a conscious careful attitude to nature, its biological and landscape diversity, improve the quality of recreational services, and increase the economic attractiveness of the region.

Key words: “Buzkyi Gard”, invasive fish species, recreational fishing, sport fishing.

ЛІТЕРАТУРА

1. Slyenko Yu. V., Korneva I. G., Rivier I. K., Papchenkov V. G., Scherbina G. H., Orlova M. I., Therriault T. W. The Caspian-Volga-Baltic invasion corridor. In book: Invasive aquatic species of Europe – distribution, impact and management. Kluwer academic publishers. Dordrecht hardbound, the Netherlands, 2002. 600 p.
2. Булахов В. Л., Новіцький Р. О., Пахомов О. Є., Христов О. О. Біологічне різноманіття України. Дніпропетровська область. Круглороті (Cyclostomata). Риби (Pisces). Дніпропетровськ: Вид-во Дніпропетр. ун-ту, 2008. 304 с.
3. Новіцький Р. О. Інвазії чужорідних видів риб у дніпровські водосховища: монографія. Дніпро: ЛІРА, 2021. 280 с.
4. Знахідки чужорідних видів рослин та тварин в Україні. Серія: “Conservation Biology in Ukraine”. Вип. 29. Київ; Чернівці: Друк Арт, 2023. 520 с.
5. IPBES (2019): Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services / E. S. Brondizio, J. Settele, S. Díaz, and H. T. Ngo (Eds). IPBES secretariat, Bonn, Germany. 1148. URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.3831673>.

6. IPBES (2023). Summary for policymakers of the thematic assessment of invasive alien species and their control of the Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Roy H. E., Pauchard A., Stoett P., Truong T. R., Bacher S., Galil B. S., Hulme Ph. E., Ikeda T., Kavileveettil S., McGeoch M. A., Meyerson L. A., Nuñez M. A., Ordonez A., Rahlao S. J., Schwindt E., Seebens H., Sheppard A. W., Vandvik V. (Eds.) 2023. IPBES secretariat, Bonn, Germany. URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7430692>.
7. Зав'ялова Л.В., Шевера М.В., Кучер О.О., Двірна Т.С., Протопова В.В. Критерії інвазійності як основа управління видами чужорідних рослин. Матеріали П'ятої Всеукраїнської науково-практичної конференції «Євроінтеграція екологічної політики України». Одеса: Одеський державний екологічний університет, 25–26 жовтня 2023. С. 526–529.
8. Про затвердження Положення про національний природний парк «Бузький Гард»: Наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 31 серпня 2020 № 111. URL: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/04/Polozhennya-Buzkyj-Gard.pdf>.
9. Конституція України: Закон від 28 Червня 1996 р. № 254к/96-ВР URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/254%D0%BA/96%D0%B2%D1%80#Text>.
10. Про охорону навколишнього природного середовища: Закон України від 25 червня 1992 р. № 1264-XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text>.
11. Про природно-заповідний фонд України: Закон України від 16 червня 1992 р. № 2456-XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/2456-12#Text>.
12. Про Червону книгу України: Закон України від 7 лютого 2002 р. № 3055-III. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/3055-14#Text>.
13. Про рослинний світ: Закон України від 9 квітня 1999 р. № 591-XIV. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/591-14#Text>.
14. Про тваринний світ: Закон України від 13 грудня 2001 р. № 2894-III. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2894-14#Text>.
15. Земельний Кодекс України: Закон України від 25 жовтня 2011 р. № 2768-III. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14#Text>.
16. Лісовий Кодекс України: Закон України від 21 січня 1994 р. № 3852-XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3852-12#Text>.
17. Водний Кодекс України: Закон України від 6 червня 1995 р. № 213/95-ВР. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80#Text>.
18. Літопис природи Національного природного парку «Бузький Гард». 2019 р. 351 с.

REFERENCES

1. Slynko Yu. V., Korneva I. G., Rivier I. K., Papchenkov V. G., Scherbina G. H., Orlova M. I., Therriault T. W. (2002). The Caspian-Volga-Baltic invasion corridor. In book: Invasive aquatic species of Europe – distribution, impact and management. Kluwer academic publishers. Dordrecht hardbound, the Netherlands.
2. Bulakhov V. L., Novitskyi R. O., Pakhomov O. Ye., Khrystov O. O. (2008). *Biologichne riznomanittia Ukrainy. Dnipropetrovska oblast. Kruhloroti (Cyclostomata). Ryby (Pisces)* [Biological diversity of Ukraine. Dnipropetrovska oblast. Roundworms (Cyclostomata). Fishes (Pisces)]. Dnipropetrovsk. Dnipropetrovsk University Publishing House. [in Ukrainian].
3. Novitskyi R. O. (2021). *Invazii chuzhoridnykh vydiv ryb u dniprovski vodoskhovyshcha: monohrafiia* [Invasions of alien fish species in the Dnipro reservoirs: a monograph]. Dnipro. LIRA. 280 p. [in Ukrainian].
4. *Znakhidky chuzhoridnykh vydiv roslin ta tvaryn v Ukraini* (2023). [Records of alien plant and animal species in Ukraine]. Series: «Conservation Biology in Ukraine». Vol. 29. Kyiv; Chernivtsi: Druk Art. [in Ukrainian].
5. IPBES (2019). Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services / E. S. Brondizio, J. Settele, S. Díaz, and H. T. Ngo (Eds). IPBES secretariat, Bonn, Germany. 1148. URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.3831673>.
6. IPBES (2023). Summary for policymakers of the thematic assessment of invasive alien species and their control of the Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Roy H. E., Pauchard A., Stoett P., Truong T. R., Bacher S., Galil B. S., Hulme Ph. E., Ikeda T., Kavileveettil S., McGeoch M. A., Meyerson L. A., Nuñez M. A., Ordonez A., Rahlao S. J., Schwindt E., Seebens H., Sheppard A. W., Vandvik V. (Eds.). IPBES secretariat, Bonn, Germany. URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7430692>.
7. Zavialova L. V., Shevera M. V., Kucher O. O., Dvirna T.S., Protopopova V. V. (2023). *Kryterii invaziinosti yak osnova upravlinnia vydamy chuzhoridnykh roslin* [Invasiveness criteria as a basis for managing alien plant species]. Proceedings of the *Fifth All-Ukrainian Scientific and Practical Conference «European Integration of Environmental Policy of Ukraine»*. Odesa: Odesa state environmental university. 526-529. [in Ukrainian].
8. Pro zatverdzhennia Polozhennia pro natsionalnyi pryrodnyi park «Buzkyi Hard»: Nakaz Ministerstva zakhystu dovkilia ta pryrodnykh resursiv Ukrainy № 111. 31.08.2020. URL: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/04/Polozhennya-Buzkyj-Gard.pdf>.

9. Konstytutsiia Ukrainy: Zakon Ukrainy № 254к/96-ВР. 28.06.1996. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/254%D0%BA/96%D0%B2%D1%80#Text>.
10. Pro okhoronu navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha: Zakon Ukrainy № 1264-XII. 25.06.1992. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text>.
11. Pro pryrodno-zapovidnyi fond Ukrainy: Zakon Ukrainy № 2456-XII. 16.06.1992. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/2456-12#Text>.
12. Pro Chervonu knyhu Ukrainy: Zakon Ukrainy № 3055-III. 7.02.2002. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/3055-14#Text>.
13. Pro roslynnyi svit: Zakon Ukrainy № 591-XIV. 9.04.1999. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/591-14#Text>.
14. Pro tvarynniy svit: Zakon Ukrainy № 2894-III. 13.12.2001. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2894-14#Text>.
15. Zemelnyi Kodeks Ukrainy: Zakon Ukrainy № 2768-III. 25.10.2011. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14#Text>.
16. Lisovyi Kodeks Ukrainy: Zakon Ukrainy № 3852-XII. 21.01.1994. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3852-12#Text>.
17. Vodnyi Kodeks Ukrainy: Zakon Ukrainy № 213/95-ВР. 6.06.1995. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80#Text>.
18. National Nature Park «Buzkyi Gard» (2019). The Chronicle of Nature of the National Nature Park Buzkyi Gard». [in Ukrainian].

УДК 556.55:639

DOI <https://doi.org/10.32782/wba.2023.2.2>

РИБНИЦТВО НА МАЛИХ ВОДОСХОВИЩАХ ПІВДНЯ УКРАЇНИ: АНАЛІЗ ДИНАМІКИ ВИЛОВУ, ПРОБЛЕМ ТА ПЕРСПЕКТИВ РОЗВИТКУ

*Мельниченко С.Г. – аспірант, асистент,
Херсонський державний аграрно-економічний університет,
sofiya.melnichenko.98@gmail.com*

Велику частину водного фонду України складають штучні водні об'єкти, зокрема малі водосховища різного цільового призначення. Даного типу штучні водні об'єкти створені цілеспрямованою діяльністю людини задля забезпечення цілої низки народногосподарських потреб. Проте, у зв'язку зі своїми продукційними можливостями, малі водосховища мають значний рибогосподарський потенціал.

У зв'язку з поступовим підвищенням температури протягом останніх декількох десятиків років, у малих водосховищах, особливо південної частини України, спостерігається збільшення кількості планктонних формувань, тобто природної кормової бази, що ще більше підвищує потенціал даних штучних водойм для ведення економічно вигідного рибництва за рахунок природної кормової бази.

З огляду на це, дослідження динаміки вилову риби з малих водосховищ є доволі актуальною темою, оскільки дозволить виявити наявні загальні тенденції та окреслити перспективи подальшого розвитку рибництва на малих водосховищах України.

Метою статті є дослідження динаміки вилову риби на малих водосховищах України.

Об'єкт дослідження – малі водосховища України.

Предмет дослідження – аналіз динаміки вилову риби на малих водосховищах України.

Під час дослідження було використано наступні методи: статистичний, математичний, графічний, порівняння.

Аналіз статистичних матеріалів показав, що упродовж останніх п'яти років був незначний спад у вилові риби з малих водосховищ як по Україні в цілому, так і по південному регіоні зокрема, проте у 2020 році цей показник стабілізувався на рівні 2016 року. Така тенденція є свідченням того, що малі водосховища в межах України мають перспективи для рибництва, проте відсутня достатня кількість їх наукових досліджень та ефективних заходів з боку держави задля їх популяризації гальмує процес нарощення ведення рибництва у штучних водоймах даного типу. Тому розробка заходів на різних територіальних рівнях, які будуть стимулювати ведення рибництва на малих водосховищах значно покращить рибогосподарську галузь України.

Перспективи подальших наукових досліджень полягають у комплексному дослідженні продукційних можливостей малих водосховищ, зокрема півдня України, а також розробці ефективних рішень для ведення рибництва у цих водоймах.

Ключові слова: рибництво, малі водосховища, біопродукційний потенціал, вилов риби, кормова база.

Постановка проблеми. Розгляд малих водосховищ півдня України з точки зору рибогосподарської експлуатації є досить актуальним на сьогоднішній день. Не дивлячись на те, що даного типу штучні водойми мають деякі проблеми та обмеження, що впливають на їх рибогосподарський потенціал – вони все ж таки можуть бути використані для ведення рибного господарства.

Головною причиною високої актуальності рибогосподарської експлуатації малих водосховищ півдня України є те, що ведення рибництва на цих водоймах допоможе вирішити одразу цілу низку проблем. По-перше, забезпечити продовольчу безпеку нашої держави, забезпечивши при цьому населення високоякісною рибною продукцією; вирішить проблему надмірного вилову риби з природних водних об'єктів.

По-друге, ведення рибництва на малих водосховищах, значно допоможе збільшити загальну кількість вирощування риби в Україні, що у майбутньому може мати позитивний економічний ефект для держави. Слід сказати про те, що розвиток рибництва на малих водосховищах у найближчій перспективі може стати однією з важливих складових розвитку рибного господарства на території України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ціла низка наукових праць свідчить про те, що в умовах сьогодення головним принципом ведення рибництва на малих водосховищах України є одержання максимальної кількості рибопродукції за рахунок мінімальних затрат на корми. У цьому контексті слід наголосити на тому, що саме раціональне ведення рибництва на малих водосховищах різного призначення забезпечує їх ефективну експлуатацію. У свою чергу, раціональна рибогосподарська експлуатація малих водосховищ базується саме на основі високорозвиненої природної кормової бази у даному типі штучних водойм [1–3].

Попередні наукові напрацювання та статистичні джерела свідчать про те, що на території України налічується 1047 малих водосховищ, сумарним об'ємом 8,42 км³. У територіальному відношенні малі водосховища різного цільового призначення розміщені на території України вкрай нерівномірно, головним чином пов'язано з рівнем природної водозабезпеченості регіонів України.

У кількісному вимірі, найбільша кількість малих водосховищ припадає саме на південь України, оскільки він, у порівнянні з іншими соціально-економічними регіонами України, забезпечений природними водоймами найменше [4–5].

З огляду на те, що малі водосховища мають високі продукційні можливості, ведення рибництва на цих штучних водоймах є доволі перспективним напрямком. З огляду на це, вивчення сучасного стану розвитку рибництва на малих водосховищах України, а також динаміки вилову риби

у даному типі водойм є доволі актуальним завданням, яке у майбутньому може покращити економічну ефективність рибного господарства України та забезпечити продовольчу безпеку її населення [6].

Постановка завдання. Розглянути малі водосховища України з точки зору ведення в них рибництва, зокрема проаналізувати динаміку вилову риби у даних водоймах, дослідити загальні тенденції у рибництві на малих водосховищах півдня України упродовж останніх п'яти років. Дослідити важливість малих водосховищ України з точки зору рибогосподарської експлуатації.

Матеріали і методи дослідження. У процесі проведення дослідження, було використано статистичні матеріали Державної служби статистики України. Теоретичною основою дослідження стали попередні наукові напрацювання щодо особливостей функціонування малих водосховищ України, зокрема її південного регіону.

За допомогою графічного, статистичного, порівняльного та математичного методів було проведено аналіз динаміки вилову риби на малих водосховищах в цілому по Україні, а також в її південному регіоні зокрема, що дозволило виявити те, що незважаючи на негативну динаміку вилову риби упродовж останніх п'яти років, даного типу штучні водойми є перспективними об'єктами для ведення рибництва.

Результати досліджень. У процесі дослідження було проаналізовано статистичні матеріали Державної служби статистики України щодо динаміки вилову риби у малих водосховищах України з 2016 по 2020 роки (рисунок 1).

З рисунку 1, ми бачимо, що у період з 2016 по 2020 роки вилов риби у малих водосховищах України має нестабільні тенденції: у 2016 році вилов риби становить 3,5 тис. тонн; до 2018 року він знижується до 2,9 тис. тонн;

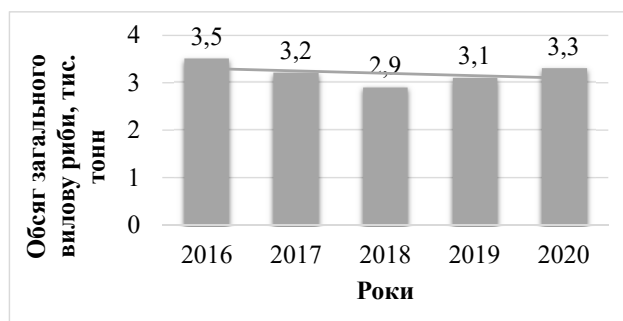


Рис. 1. Динаміка вилову риби у малих водосховищах України з 2016 по 2020 роки

Розроблено автором за [7–8]

починаючи з 2019 року вилов риби у малих водосховищах починає збільшуватись і уже в 2020 році становить 3,3 тис. тонн.

Таким чином, проаналізовані статистичні матеріали свідчать про те, що за останні п'ять років вилов риби на малих водосховищах України має нестабільні тенденції, проте після чималого спаду у 2018 році, все ж таки починає поступово збільшуватись.

Схожу із загальноукраїнською динамікою вилову риби, є динаміка і в південному соціально-економічному регіоні України (рисунок 2).

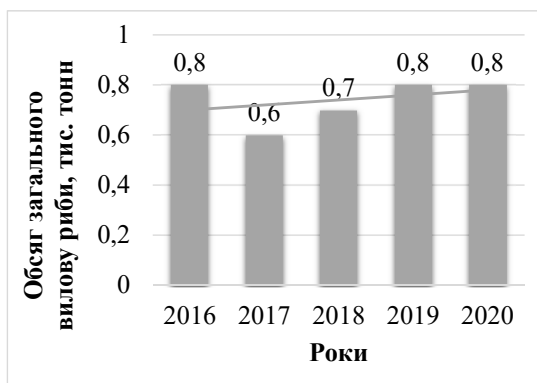


Рис. 2. Динаміка вилову риби у малих водосховищах півдня України з 2015 по 2020 роки

Розроблено автором за [7–8]

Так, виявлено, що протягом 2016–2020 років обсяги вилову риби на малих водосховищах півдня України мають незначні негативні коливання (рисунок 2), проте уже у 2020 році підвищуються до рівня вилову 2016 року.

На південь України, станом на 2020 рік, припадає 124 малих водосховища, що становить 11,6 % від загальної кількості водосховищ на території України. Відомі наукові напрацювання свідчать про те, що малі водосховища півдня України мають найвищий рівень розвитку природної кормової бази порівняно з малими водосховищами інших соціально-економічних регіонів України. Такий рівень розвитку природної кормової бази малих водосховищ півдня України пов'язаний певною мірою з більш високими температурними показниками у порівнянні з іншими регіонами України, що є досить сприятливим для розвитку планктонних формувань у даному типі водойм [9–10].

Слід зазначити, що упродовж останніх років, малі водосховища півдня України стають ще привабливішими для рибогосподарської експлуатації, що пов'язано з глобальними кліматичними змінами. У зв'язку з

поступовим потеплінням клімату, температура повітря на півдні України поступово підвищується, що позитивно впливає на тривалість вегетаційного періоду та розвиток природної кормової бази у малих водосховищах.

З огляду на те, що малі водосховища півдня України мають високий потенціал з точки зору їх рибогосподарської експлуатації, вирощування риби в них потрібно збільшувати. Для цього, необхідно розробити цілу низку заходів на всіх територіальних рівнях: національному, регіональному та локальному. Це мають бути регулятивні, нормативно-правові та природоохоронні заходи. Регулятивні заходи повинні мати на меті на всіх територіальних рівнях здійснювати регулювання рибогосподарської діяльності на малих водосховищах. Нормативно-правові заходи мають базуватися на нормативних показниках вилову риби з даного типу водойм та правовому регулюванню проведення рибогосподарських заходів у малих водосховищах [11].

Рибництво, на малих водосховищах півдня України має бути не лише ефективним, але й безпечним з екологічної точки зору. Ефективне та еколого-безпечне рибництво на малих водосховищах Півдня України потребує дотримання ряду принципів, які спрямовані на збереження природного середовища та забезпечення стійкого розвитку рибальської галузі. До головних принципів еколого-безпечного ведення рибництва на малих водосховищах Півдня України слід віднести наступні [12–13]:

- раціональне використання прилеглих земельних ділянок навколо малих водосховищ. Під цим принципом зазвичай розуміють те, що земельні ділянки поблизу малих водосховищ повинні бути обладнані всією необхідною для ведення рибництва інфраструктурою, зокрема: місця для рибальства, доріжки, парковки тощо. При цьому вся інфраструктура поблизу малих водосховищ має будуватись з урахуванням норм еколого-безпечного природокористування задля того, щоб уникнути забруднень даного типу водойм;

- забезпечення збереження біорізноманіття малих водосховищ. Під цим принципом мається на увазі те, що рибництво на штучних водоймах має проводитись з урахуванням всіх екологічних норм та не шкодити біорізноманіттю малих водосховищ. Тобто, рибне стадо малих водосховищ має підтримуватись на стабільному рівні задля того, щоб уникнути з однієї сторони – перенаселення штучних водойм, а з іншої – відмирання гідробіонтів;

- застосування у процесі ведення рибництва екологічно безпечних технологій. Рибогосподарська діяльність на малих водосховищах повинна вестись з допомогою безпечних методів та технологій, які б одночасно і забезпечували високу якість товарної риби, і мінімізували вплив на водну екосистему;

– забезпечення раціонального використання водних ресурсів. Оскільки екосистема малого водосховища є середовищем існування риби, то її раціональне використання з урахуванням екологічних норм є досить важливим та актуальним у процесі ведення рибництва.

Тому вищенаведені заходи щодо ведення рибництва на малих водосховищах України дозволять не лише налагодити економічно-вигідне вирощування товарної риби, але й значно покращать екологічний стан цих штучних водойм.

Висновки. Таким чином, малі водосховища різного цільового призначення набули на території України значного поширення. Аналіз статистичних матеріалів дозволив виявити, що загальна кількість малих водосховищ на території України складає 1047 водосховищ, на південь України припадає 124 водосховища, що становить 11,6 % від їх загальної кількості по Україні.

Аналіз динаміки вилову риби по малих водосховищах як України в цілому, так і її південного регіону зокрема, показав, що за останні п'ять років було помітним зменшення вилову риби зі штучних водойм даного типу, проте уже у 2020 році стала помітною стабілізація виловів до рівня 2016 року. Такі тенденції свідчать про те, що малі водосховища України дійсно мають потенціал для ведення рибництва.

На даному етапі соціально-економічного розвитку України, ведення рибництва в малих водосховищах не набуло розповсюдження, що пов'язано певною мірою з відсутністю достатньої кількості наукових досліджень даних водойм та відсутністю ефективних державних заходів, які б стимулювали розвиток рибництва на малих водосховищах.

У перспективі, необхідна розробка державних, регулюючих та нормативно-правових механізмів ведення рибогосподарської діяльності на всіх територіальних рівнях – національному, регіональному та локальному. Ці заходи допоможуть покращити стан вітчизняної рибогосподарської галузі за рахунок ведення рибництва в малих водосховищах України та досягти максимального економічного ефекту за рахунок мінімальних затрат.

FISH FARMING IN SMALL RESERVOIRS OF SOUTHERN UKRAINE: ANALYSIS OF CATCH DYNAMICS, PROBLEMS AND DEVELOPMENT PROSPECTS

Melnyshenko S.H. – the third year study postgraduate student for the Ph.D degree, Assistant of the Department of Aquatic Bioresources and Aquaculture, Kherson State Agrarian and Economic University, sofya.melnichenko.98@gmail.com

Most of Ukraine's water resources are made up of artificial water bodies, including small reservoirs for various purposes. This type of artificial water bodies was created by purposeful human activity to meet a number of national economic needs. However, due to their production capacity, small reservoirs have significant fishery potential.

Due to the gradual temperature rise over the past few decades, small reservoirs, especially in the southern part of Ukraine, have seen an increase in the number of planktonic formations, i.e. the natural food base, which further increases the potential of these artificial reservoirs for economically viable fish farming using the natural food base.

Therefore, the study of the dynamics of fish catch from small reservoirs is a rather relevant topic, as it will allow to identify existing general trends and outline the prospects for further development of fish farming in small reservoirs of Ukraine.

The purpose of the article is to study the dynamics of fish catch in small reservoirs of Ukraine.

The object of the study is small reservoirs of Ukraine.

The subject of the study is the analysis of the dynamics of fish catch in small reservoirs of Ukraine.

The following methods were used in the study: statistical, mathematical, graphical, and comparison.

An analysis of statistical data showed that over the past five years, there has been a slight decline in fish catch from small reservoirs both in Ukraine as a whole and in the southern region in particular, but in 2020 this indicator stabilized at the level of 2016. This trend is evidence that small reservoirs within Ukraine have prospects for fish farming, but the lack of sufficient scientific research and effective measures by the state to promote them hinders the process of increasing fish farming in artificial reservoirs of this type. Therefore, the development of measures at different territorial levels that will stimulate fish farming in small reservoirs will significantly improve the fishery industry in Ukraine.

Prospects for further scientific research are a comprehensive study of the productive capacities of small reservoirs, in particular in the south of Ukraine, as well as the development of effective solutions for fish farming in these reservoirs.

Key words: fish farming, small reservoirs, bioproductive potential, fish catch, food base.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кутіщев П. С., Шевченко В. Ю. Рибогосподарське використання малих водосховищ півдня України на прикладі Возсіятського водосховища Миколаївської області. *Водні біоресурси та аквакультура*. 2023. № 1(13). С. 52–63.

2. Шевченко В. Ю., Кутішев П. С. Обґрунтування рибогосподарського використання малих водосховищ Миколаївської області. *Таврійський науковий вісник. Серія «Сільськогосподарські науки»*. 2020. № 115. С. 285–290.
3. Мельниченко С. Г. Огляд малих водосховищ півдня України з точки зору рибогосподарської експлуатації. *Водні біоресурси та аквакультура*. 2023. № 1(13). С. 64–72.
4. Шерман І. М., Краснощок Г. П., Пилипенко Ю. В. Ресурсозберігаюча технологія вирощування риби у малих водосховищах. Миколаїв. Можливості Кімерії. 1996. 41 с.
5. Бабенко І. М., Бойко А. В., Хоменко Ю. М. Особливості вилову риби в малих водосховищах Причорноморського заповідника. *Вісник Харківського національного аграрного університету. Серія: Рибництво*. 2016. № 2(38). С. 53–62.
6. Бойко А. В., Бабенко І. М. Аналіз динаміки вилову риби в малих водосховищах півдня України. *Проблеми зоології та екології*. 2015. № 15(2). С. 167–174.
7. Добування водних біоресурсів. Державна служба статистики України. URL: https://ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2017/rg/rg_u/arh_dvbr_reg_u.html.
8. Інформація про стан та обсяги рибних запасів у водоймах, де ведеться промисловий вилов. Державне агенство меліорації та рибного господарства України. URL: https://darg.gov.ua/_vidkriti_dani_0_1000_menu_0_1.html.
9. Бугайчук В. М. Вирощування риби в малих водоймах. *Вісник аграрної науки*. 2016. № 9. С. 74–77.
10. Гаврилюк В. Г., Краснопольський В. А., Краснопольська Л. В. Технологія вирощування риби в малих водосховищах. *Вісник аграрної науки*. 2018. № 6. С. 19–23.
11. Корост А. О. Особливості вирощування риби в малих водосховищах. *Технології вирощування риби*. 2016. № 4. С. 26–29.
12. Кулик В. І., Коломієць І. І. Оцінка стану рибного господарства малих водосховищ Причорноморського природного заповідника. *Збірник наукових праць Херсонського державного аграрного університету. Серія: рибництво*. 2016. № 19. С. 11–17.
13. Шевчук Ю. І. Основні проблеми вирощування риби в малих водосховищах. *Актуальні проблеми розвитку технологій вирощування риби*. 2017. С. 142–145.

REFERENCES

1. Kutishchev P. S., Shevchenko V. Yu. (2023). *Rybohospodarske vykorystannia malykh vodoskhovyshch pivdnia Ukrainy na prykladi Vozsiatskoho vodoskhovyshcha Mykolaivskoi oblasti* [Fisheries use of small reservoirs in the south of Ukraine as an example of the Vozsiat reservoir in Mykolaiv region]. *Water Bioresources and Aquaculture*, no. 1(13), 52–63. [in Ukrainian].
2. Shevchenko V. Yu., Kutishchev P. S. (2020). *Obhruntuvannia rybohospodarskoho vykorystannia malykh vodoskhovyshch Mykolaivskoi oblasti* [Justification of fisheries use of small reservoirs of Mykolaiv region]. *Taurian Scientific Bulletin. "Agricultural Sciences" Series*, no. 115, 285–290. [in Ukrainian].
3. Melnychenko S. H. (2023). *Ohliad malykh vodoskhovyshch pivdnia Ukrainy z tochky zoru rybohospodarskoi ekspluatatsii* [Overview of small reservoirs of the south of Ukraine from the aspect of fisheries exploitation]. *Water Bioresources and Aquaculture*, no. 1(13), 64–72. [in Ukrainian].
4. Sherman I. M., Krasnoshchok H. P., Pylypenko Yu. V. etc. (1996). *Resur-sozberihaiucha tekhnolohiia vyroshchuvannia ryby u malykh vodoskhovyshchakh* [Resource-saving fish farming technology in small reservoirs]. Mykolaiv: Mozhlyvosti Kimerii. [in Ukrainian].
5. Babenko I. M., Boiko A. V., Khomenko Yu. M. (2016). *Osoblyvosti vylovu ryby v malykh vodoskhovyshchakh Prychornomorskoho zapovidnyka* [Features of fish catching in small reservoirs of the Black Sea Reserve]. *Bulletin of Kharkiv National Agricultural University*, no. 2(38), 53–62. [in Ukrainian].
6. Boiko A. V., Babenko I. M. (2015). *Analiz dynamiky vylovu ryby v malykh vodoskhovyshchakh pivdnia Ukrainy* [Analysis of the fish catch dynamics in small reservoirs of the south of Ukraine]. *Problems of Zoology and Ecology*, no. 15(2), 167–174. [in Ukrainian].
7. Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy (2023). *Dobuvannia vodnykh biore-sursiv* [Extraction of aquatic bioresources]. URL: https://ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2017/rg/rg_u/arh_dvbr_reg_u.html. [in Ukrainian].
8. Derzhavne ahenstvo melioratsii ta rybnoho hospodarstva Ukrainy (2023). *Informatsiia pro stan ta obsiahy rybnykh zapasiv u vodoimakh, de vedetsia promyslovyi vylov* [Information on the status and volumes of fish stocks in water bodies where commercial fishing is conducted]. URL: https://darg.gov.ua/_vidkriti_dani_0_1000_menu_0_1.html. [in Ukrainian].
9. Buhaichuk V. M. (2016). *Vyroshchuvannia ryby v malykh vodoimakh* [Fish farming in small reservoirs]. *Bulletin of Agricultural Science*, no. 9, 74–77. [in Ukrainian].
10. Havryliuk V. H., Krasnopolskyi V. A., Krasnopolska L. V. (2018). *Tekhnolohiia vyroshchuvannia ryby v malykh vodoskhovyshchakh* [Technology

- of fish cultivation in small reservoirs]. *Bulletin of Agricultural Science*, no. 6, 19–23. [in Ukrainian].
11. Korost A. O. (2016). *Osoblyvosti vyroshchuvannia ryby v malykh vodoskhovyshchakh* [Peculiarities of fish rearing in small reservoirs]. *Fish Farming Technologies*, no. 4, 26–29. [in Ukrainian].
 12. Kulyk V. I., Kolomiiets I. I. (2016). *Otsinka stanu rybnoho hospodarstva malykh vodoskhovyshch Prychornomorskoho pryrodnoho zapovidnyka* [Assessment of fisheries condition of the Black Sea Nature Reserve small reservoirs]. *Collection of scientific works of Kherson State Agrarian University*, no. 19, 11–17. [in Ukrainian].
 13. Shevchuk Yu. I. (2017). *Osnovni problemy vyroshchuvannia ryby v malykh vodoskhovyshchakh* [The main problems of fish farming in small reservoirs]. *Current problems of development of fish farming technologies*, 142–145. [in Ukrainian].

THE STATE OF STUDY OF PARASITES AND SYMBIONTS OF CRAYFISH

Olifirenko V.V. – Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor,

Rutta O.V. – Assistant,

Kherson State Agrarian and Economic University,

Olifirenko P.V. – Flekkefjord VGS INAA Blue Nature Use

(Blue Nature Use Branch, Norway, Flekkefjord)

The article analyzes the available literary sources that highlight the issue of studying parasites and symbionts of crayfish in the reservoirs of Ukraine and Europe. Crayfish (of the genus *Astacus*) are an integral part of the Dnieper-Buzka estuary.

These are the only edible invertebrates in the freshwater reservoirs of the region. High taste qualities put them in the category of delicacies and determine a stable demand on the world market.

Until the middle of the 20th century, crayfish were a traditional object of fishing in the reservoirs of Europe. It was concluded that high taste qualities put them in the category of delicacies and determine a stable demand on the world market, but currently many industrial areas have lost their importance due to a significant decrease in the number of these hydrobionts for various reasons.

Crayfish are unstable species, and their numbers can change dramatically over time. For this reason, studies aimed at identifying the factors that determine the dynamics of the number of crayfish in reservoirs, especially under the influence of diseases of various etiologies, are of great importance.

Scientifically based fishing is impossible without a preliminary study of questions about the size of crayfish stocks, the dynamics of its number, features of distribution, distribution among them parasites and symbionts of other aspects of its biology. In this regard, studies of the ecological and morpho-physiological variability of crayfish depending on living conditions, the level of parasitemia, as well as the density, number and size-sex structure of the population are of considerable interest, the study of which has received relatively little attention until now.

Knowledge of the regularities of these relationships will allow, on the basis of relatively simple methods of morpho-physiological and parasitological indicators, to quickly assess the state of the population exposed to any adverse conditions, in particular, intensive fishing.

Based on the study of literature data on the fauna of crayfish parasites and symbionts, morpho-physiological variability and ecology of long-finned crayfish populations, separate scientifically based bases of rational fishing for the region were proposed.

Key words: crayfish, population conditions, pathogens, crayfish symbionts, crayfish diseases, crayfish parasites, microsporidia, pathogen fungi, crayfish bacteria.

Relevance of the task. Crayfish (from the genus *Astacus*) are an integral part of the Dnieper-Bug estuary. These are the only food invertebrates in the freshwater reservoirs of the region.

High palatability puts them in the category of delicacies and determines the stable demand in the agricultural market. Until the middle of the 20th century, crayfish were traditional object of fishing in the waters of Europe.

At present, many industrial areas have lost their importance due to a significant decrease in the number of these hydrobionts. In the lower reaches and the Dnieper there are natural reserves that allow for the extraction of crayfish, but the volume of catches over the years of catfish repeatedly removed.

V. D. Rummyantsev [3], who was engaged in the study of crayfish, noted that they belong to non-stable species, and their number can change significantly over time. The number of crayfish in the water is important.

The solution of this problem is the starting point for the development of measures for the conservation and increase of crayfish stocks in the region, while maintaining the number and population at a level sufficient for fishing.

Long-toed crayfish are valuable objects of fishing due to the exceptionally high taste and nutritional value of meat, which contains up to 16 % protein, 0.5 % fat, all essential amino acids, as well as lipids, biologically active substances and trace elements [4].

The taste of the meat of the crayfish, which includes the long-clawed crayfish, surpasses the taste of the meat of marine crustaceans (lobsters, crabs, lobsters). The hard outer integuments of cancer have a significant amount of calcium salts (46 % calcium carbonate, 1 % calcium phosphate) and can be used for the preparation of fodder meal. Adding this flour to chicken feed increases its egg production by 20 % [5].

In the areas of traditional fisheries: North-Western Europe, Belarus, Ukraine – the production of crayfish in recent years has a downward trend, which is caused by a decrease in stocks as a result and excessively intensive exploitation. individual populations of crayfish, as well as the integrated use of water bodies by industry and agriculture (water intake, discharge of industrial effluents), which leads to their shallowing, pollution and overgrowth. All this necessitated research on the biology of these invertebrates in regions where cancer had not been mined before, and its reserves remained unused [6–8].

Conducting a scientifically based fishery is impossible without a preliminary study of the size of long-clawed crayfish stocks, the dynamics of its numbers and, the peculiarities of the distribution, distribution of parasites and symbionts among them, another aspects of its biology.

Of great interest, in this regard, are the studies of the ecological and morpho-physiological mortality of crayfish depending on the living conditions, the

level of parasitism, as well as the size, number and size of the population. The study of which has received comparatively little attention so far.

Knowledge of the laws of these relationships will allow, on the basis of a relatively simple method of morpho-physiological and parasitological indicators, to quickly assess the state of the population, which is exposed to the influence of any unfavorable conditions, in particular, intensive fishing.

Research analysis. River crayfish have long been a classic object of zoological researchers.

Huxley's monograph [1] "Cancer. Introduction to the Study of Zoology". It contains data on the taxonomy, anatomy, physiology of crayfish, which have not lost their importance at the present time. The taxonomy and classification of crayfish was carried out by outstanding scientists Kassler, Shishkovich, Skorikov.

Detailed studies of the state of crayfish populations as objects of industrial use in the water bodies of Ukraine were carried out 30–40 years ago [32, 33, 35, 37], when crayfish were considered as a separate element of the raw material base of the fishery. More modern, modern studies, since the industrial use of crayfish was de facto carried out in the by-catch mode in fishing, relate mainly to the problems of artificial reproduction and rearing of crayfish in aquaculture [32, 36].

The crustacean plague, which devastated many crustacean reservoirs at the turn of the century, attracted the attention of many researchers both in Ukraine and abroad [12, 13]. In recent years, the problem of the crustacean plague was dealt with: Kamoe K., Karafazlieva R., Kovacheva N. P., Kozlov V. I.

The largest number of studies is devoted to the classification, biology, and distribution of crayfish in various regions of the USSR and abroad. Of the foreign ones, it should be noted the work of André "Crayfish of France", which contains a number of original data [15].

Statement of the task. We have made an attempt to analyze the available literature on parasites and symbionts of freshwater crayfish in the waters of Europe. The analysis is actually a retrospective, since scientific research in this area is currently almost not carried out.

Based on the study of the literature data on the fauna of parasites and symbionts of the crayfish, morphophysiological variability and ecology of long-clawed crayfish populations, separate scientifically grounded bases of rational fishing for the region were proposed.

To achieve this goal, the following tasks were set:

1. To conduct morphometric and morphophysiological from the populations of long-clawed crayfish in the Lower Dnieper region.
2. To carry out an analysis of parasitological studies of cancer in order to determine the species composition of parasites and symbionts.

3. To give proposals and recommendations for the safe development of industrial stocks of crayfishing veterinary and sanitary terms.

Research results. Various diseases of crayfish, primarily fungal, cause epizootics in them, undermining their reserves and leading to complete death. The most dangerous disease of crayfish is the crustacean plague, which causes enormous damage to their population and has completely destroyed crayfish in a number of reservoirs in Western and Eastern Europe.

Crayfish plague entered the territory of Ukraine in the 80s of the nineteenth century (the mouth of the Danube), and in the early 90s, the death of crayfish on the Dnieper, Neman was noted [18].

The second outbreak of plague was observed in the 20s of the last century. In some reservoirs, this disease periodically occurs at the present time. Crayfish plague has been repeatedly recorded in the reservoirs of Lithuania, Estonia, and Latvia.

The plague of crayfish is mentioned by V. O. Mikha, Y. V. Kuchin, I. A. Podyapolskaya, K. N. Budnikov, F. F. Tretyakov, A. V. Ivanov, Y. M. Zuck-erzis, report on the spread of cancer plague in the reservoirs of Western and Eastern Europe, describe the symptoms and course of the disease, precautions related to the prevention of the disease.

The causative agent of crayfish plague is the fungus *Aphanomyces astaci* Sohikora, 1903, which parasitizes the shell, joints of walking legs, and the nervous system of cancer.

Sick crayfish move on characteristically straightened limbs, convulsively twitching them, stand on outstretched legs and abdomen, fall on their sides, roll over on their backs. Penetrating the nervous system, the fungus often grows outward through the eye or other openings of the body. On the eyes and joints of the limbs of the cancer patient, white growths of mycelium appear, visible to the naked eye. About eight days after infection, the cancer dies.

However, despite the enormous damage caused by the plague to the crayfish population, the study of the causative agent of the disease and the development of measures to combat it is still not given enough attention.

Another fungal disease common in many areas of Ukraine is rust-spotted crayfish disease.

For the first time, the causative agent of this disease was isolated – the fungus *oidium astaci* and the rusty-spotted disease in crayfish of water bodies in Estonia was described in detail by scientists E. Gappich and B. Grimm [28].

Järvekülg notes that this disease has been registered in more than 75 % of water bodies in Estonia (the extensiveness of infection ranged from 0.7 to 53.5 %) and indicates that the extensiveness of the invasion depends on the frequency of cancer molts, and the highest infection begins after the transition of crayfish to one or two molts per year [29, 30].

Mazhilis A. A., Šeštukas I. A. register rusty-spot disease in water bodies of Latvia; V. P. Koval, E. G. Boshko, A. S. Pashkevičiūtė – in some reservoirs of the Dnieper basin in Ukraine [7].

The causative agent of rusty-spotted disease is the fungi *Oidium astaci* Happich, 1900; *Septocylindrium eriochier*, Menn et Pieplow, 1938; *Ramularia astaci* Mann et Pieplow, 1938 – y broad-clawed crayfish and *Cephalosporium leptodaotyli*, Menn, 1940, y long-clawed.

Fungal hyphae grow in the thickness of chitin, forming channels in it, and permeate the muscles of the animal.

Externally, the disease manifests itself in the development of rounded, brown or black spots (up to 3 cm) on the carapace, the upper side of the claws, and on the abdomen, often colored red edges, In the center of the spot, chitin softens, collapses and exposes muscles.

According to experts, rusty-spot disease rarely causes mass death of crayfish [17, 21], but A. D. Järvekülg [29, 30] notes the high pathogenicity of the disease for crayfish in Estonian water bodies.

Due to its relatively slow spread, it does not cause rapid and mass death of crayfish in water bodies, but weakens them, causes them serious functional disorders, reduces fertility.

K. M. Budnikov and F. F. Tretyakov, G. K. Petrushevsky [8] describe in detail the clinic of rusty-spotted disease. In addition to plague and rust-spotted disease, cancers are often susceptible to diseases caused by microsporidia *Thelohania contejeeni* Henneguy, 1892.

Microsporidia parasitize the skeletal muscles, heart muscle and ovary of crayfish. The affected muscles and organs acquire a milky white color, due to the fact that the ripe spores of the parasite strongly refract light. Hence, cancer microsporidiosis is often called porcelain disease.

Microsporidiosis, a chronic disease of cancers with obvious signs of disease (white muscles), lives for a long time and sheds, but the disease is constantly progressing and as a result leads to the death of cancers [9].

Porcelain crayfish disease was first diagnosed in Lithuania by I. A. Šeštukas [21], who reports that the average extensiveness of infection of crayfish with microsporidia here was 0.28 %.

V. N. Voronin describes in detail the life cycle of the parasite, its pathogenic effect on the host and the ways of infection with it.

According to V. N. Voronin [10], the extensiveness of invasion of river crayfish by microsporidia in most reservoirs ranged from 0.35 to 2.75 %, depending on the place and year of the study.

L. K. Grapmane, A. J. Brenze, L. D. Kairi, Z. Mazitis [15] register porcelain disease of crayfish in the water bodies of Latvia, and A. A. Mazhilis – in the water bodies of Lithuania.

Methods for diagnosing river crayfish diseases are indicated by L. K. Grapmane and A. Y. Brenze [11].

In addition to the above-mentioned pathogens, a number of parasites and symbionts belonging to systematic groups of invertebrates, the impact of which on the host has not yet been sufficiently clarified or not clarified at all, have been found in river crayfish of water bodies of Ukraine.

In the works of domestic authors, as well as in the world literature, there is most information about the presence of four species of oligochaetes of the family *Branchiobdellidas* in crayfish – *Branchiobdella paraeita* (Braun, 1805, Henle, 1835); *B. astaci* (Odier, 1923); *B. pentodoata* (Whitman, 1882); *B. hexodonta* (Gruber, 1883).

Branchiobdella parasita lives on the shell, limbs, antennae and antennules of crayfish, registered in the water bodies of Estonia, Lithuania, and the western regions of Ukraine [12, 14].

A. Grigialio [12], J. Zuckerzio [19], A. A. Mazhilis [23, 24] register *Branchiobdella astaci* in crayfish of Lithuanian water bodies, and according to A. A. Mazhilis [25, 26], the infestation of crayfish with this oligochaete in different water bodies ranges from 20 to 83 %.

Järviekül [28, 30, 31] reports on *Branchiobdella astaci* in crayfish of water bodies of Estonia, Z. Mazitis, I. Pekarevich, N. Sloka, L. K. Grapmane found this species in crayfish of lakes of Latvia. According to the latest authors, the extensiveness of infection of river crayfish with *Branchiobdella astaci* was 54.9 and 73.0 % with an average infestation intensity of 0.9 to 2.6 per individual.

Branchiobdella astaci has a great pathogenic effect on the body of crayfish. Adult parasites feed on the host's blood; Cocoons, fixed on the gill filaments, cause suppuration of the latter, which often leads to the almost complete destruction of the gills. *Branchiobdella pentodona* usually lives on the shell of crayfish and its limbs, less often in the gill cavity, where it lays cocoons.

In Ukraine, *Branchiobdella pentodona* was found in crayfish of the Kakhovka reservoir and the Southern Bug [3, 7] with an extensiveness of invasion of 75.2 and 46.6 %, respectively. A number of features in the morphological structure of oligochaetes of this species have been noted, which distinguish them from the descriptions available in the literature.

In addition to the species of the genus *Branchiobdella*, oligochaetes of the family *Aeroionomatidae* were found in river crayfish of water bodies of Ukraine, which were assigned to a new species of the genus *Aeroionoma* – *A. markewitschi* Boscbo et Peechkewit, 1975 [3–7].

It has been established that these oligochaetes live in the gill cavity of long-toed crayfish in huge numbers. The maximum number of parasites in one crayfish in the Kakhovka reservoir reached 1241 ind. with an extensiveness of infestation of 91.7 % [6, 7].

The average number of oligochaetes of this species in different water bodies of Ukraine ranged from 16.5 to 255 ind. [3–7].

The pathogenic effect of *A. merkewitachi* on the host organism has been noted [7]. In the literature there is information about the detection of ciliates, spore moths, trematodes, nematodes, rotifers, copepods, ticks, flyfish in crayfish.

In cancer larvae, *A. merkewitachi* covers the antennae, oral appendages, ventral legs, abdomen, caudal fin, and even eyes. On an antenna 5 mm long in one of the larvae, these authors counted 2396 specimens. ciliates.

The strong development of “fouling” with ciliates prevents crustaceans from moving and feeding normally. The molting of crayfish takes place with this disease with a lot of care. In the river crayfish of some water bodies of Ukraine, round-ciliates of the genus *Sothurnie*, Ehrenberg, 1832 [4, 5] and representatives of the genus *Sothurnie* were found *Urceolariidas* [7].

Spore moths *Psorospermium haeckelli*, Hilgendorf in crayfish have been recorded in water bodies of Lithuania [20] and Ukraine [5].

According to A. A. Mazhilis, spore cells are found in the hindgut, antennal glands, muscles, gills, gonads, hepatopancreas, cardiac sac and eye stalks.

In crayfish, trematodes of the genera *Astacotrema*, *Minarorohipedium* u *Meritrema* have been found. These trematodes occur mostly in an encysted state in the gonads, muscles, and connective tissue of the abdomen, cephalothorax, and legs, as well as in the walls of the intestines, stomach, and heart.

The most common species is *Astacotrema tuberoulatum* (Zawedowsky). There is no consensus on the pathogenic effects of aotacotrema on the host.

Trematodes belonging to the genus *Maritrema micoll*, 1907 were registered in river crayfish of water bodies of Ukraine [4, 5]. These trematodes are found in the gill cavity of crayfish in an encysted state.

According to E. G. Boshko nf others [5], 80 % of the studied crayfish of the Sula River (left tributary of the Dnieper) contained *Maritrema metacercariae* in the gills and the average intensity of their invasion was 20.3 ind.

In the above literature, there is information about the presence of nematodes, rotifers, copepods and ticks localized in the gill cavity of crayfish. Nematodes are found in the gill cavity of crayfish quite rarely (the extensiveness of their invasion in different reservoirs ranged from 4 to 13.3 %).

Rotifers of the genus *Lepedella* (Borry de St. Vincent), 1826 were recorded in crayfish of the Kakhovka reservoir [7], the rivers Sluch [4] and Sula [5] (Dnieper basin). In the crayfish of the last two reservoirs, rotifers *Dicranophorus hauerianue*, Wiszniewski, 1939 were found.

Copepods of the genus *Nitocrella*, Chappuls, 1924, which are ubiquitous in the gills of crayfish of the Dnieper basin [3–5, 7]. In 100 % of the studied crayfish, they were found in the Sula River [5]. The number of copepods in one individual of crayfish ranged from 4 to 17 specimens.

In some water bodies of Ukraine, parasitic hydrachnelles at the imaginal stage of development, and those in the nymph stage were found in the gills of crayfish [4].

According to the available literature data of domestic authors, sometimes large colonies of bryozoans develop on crayfish, which are the cause of the weakening and death of old crayfish that do not molt.

Conclusions. In conclusion, it should be noted that the establishment of the species composition of parasites and symbionts of river crayfish of industrial water bodies, in particular in Ukraine, makes a significant theoretical and practical sense. Of great interest should be studies on the study of life expectancy, life cycle, seasonal and age dynamics of the number of branchiobdella and hair, the role of individual species in the pathology of crayfish. Very rich in species that belonged to different taxonomic groups. But there is almost no scientific research in the field, with some exceptions [38].

Taking into account the ever-growing interest in the industrial extraction of crayfish (in 2015 their fishing was resumed in the Kyiv reservoir, since 2017 in the Kremenchuk reservoir), a comprehensive study of the river crayfish as an object of special use of aquatic bioresources is becoming relevant.

СТАН ВИВЧЕНОСТІ ПАРАЗИТІВ ТА СИМБІОНТІВ РАКІВ

Оліфіренко В.В. – к.вет.н., доцент,

Рутта О.В. – асистент,

Херсонський державний аграрно-економічний університет,

*Оліфіренко П.В. – Flekkefjord VGS INAA Blue Nature Use
(Blue Nature Use Branch, Норвегія, Flekkefjord)*

У статті зроблено аналіз доступних літературних джерел, які висвітлюють питання вивчення паразитів та симбіонтів річкових раків у водоймах України та Європи.

Раки (з роду *Astacus*) є невід'ємною частиною Дніпровсько-Бузького естуарію. Це єдині харчові безхребетні в прісноводних водоймах регіону.

Високі смакові якості ставлять їх в розряд делікатесів і визначають стабільний попит на Світовому ринку. До середини 20 століття річкові раки були традиційним об'єктом промислу в водоймах Європи.

Зроблено висновок, що високі смакові якості ставлять їх в розряд делікатесів і визначають стабільний попит на Світовому ринку, але в даний час багато промислових районів втратили своє значення через значне зниження чисельності цих гідробіонтів з різних причин. Раки відносяться до нестабільних видів, і їх чисельність здатна різко змінюватися в часі.

З цього приводу дослідження, спрямовані на виявлення факторів, що визначають динаміку чисельності раків у водоймах, особливо під впливом хвороб різної етіології мають важливе значення.

Ведення науково-обґрунтованого промислу неможливо без попереднього вивчення питань про величину запасів довгопалога раку, динаміці його чисельності, особливостей поширення, розповсюдження серед них паразитів та симбіонтів інших сторін його біології.

Значний інтерес, в зв'язку з цим, представляють дослідження екологічної та морфо-фізіологічної мінливості раків в залежності від умов проживання, рівня паразитоносійства, а також щільності, чисельності та розмірно-статевої структури популяції, дослідження яких до теперішнього часу приділялося порівняно мало уваги.

Знання закономірностей цих зв'язків дозволить, на основі порівняно нескладної методики морфо-фізіологічних та паразитологічних індикаторів оперативної оцінити стан популяції, що піддається впливу будь – яких несприятливих умов, зокрема, інтенсивного промислу.

На підставі вивчення літературних даних що до фауни паразитів і симбіонтів річкового рака, морфо-фізіологічної мінливості та екології популяцій довгопалога раку в були запропоновані окремі науково обґрунтовані основи раціонального промислу для регіону.

Ключові слова: раки, стану популяції, патогени, симбіонти раків, хвороби раків, паразити раків, мікроспоридії, патогенні гриби, бактерії раків,

REFERENCES

1. Boshko E. G. (1975). On the study of parasites of river crayfish of the Southern Bug. Probl. Parasitology. Materials of USH nauch. Conf. parasitologists of the Ukrainian SSR. Part 1. Kyiv. 77–78.
2. Boshko E. G. (1976). On parasites and symbionts of river crayfish of the Sluch River (Dneprovsky basin). *Vestn. Zoology*, no. 5, 91.
3. Boshko O. G., Koval V. P., Marchenkov F. S., Tarnovskyi V. S. (1977). Fauna of gill cavity of river crayfish of the Sula river (Dnieper basin). *Visn. Kyiv. Univ.*, no. 19, 112–114.
4. Boshko E. G., Pashkeviciute A. S. (1975). A new species of the family *Aeoloaomatidae* (*Oligochaste*) from the gill cavity of river crayfish in water bodies of Ukraine. *Vesti zoologii*, no. 5, 75–76.
5. Boshko E. G., Pashkeviciute A.S. (1976). On the study of the fauna of the gill cavity of river crayfish of the Kakhovka reservoir – II All-Union. sympos. on diseases and parasites of aquatic invertebrates. Leningrad. 11–12.
6. Budnikov K. N., Tretyakov F. F. (1972). River crayfish and their fishery. Moscow, Pishche-promizdat Publ.
7. Voronin V. N. (1968). Porcelain Disease of River Crayfish *Astacus astacus*. – At the All-Union Conference. on Diseases and Parasites of Fish and Aquatic Invertebrates. Ref.dokl. Leningrad. 25–26.
8. Voronin V. N. (1971). New data on microsporidiosis of river crayfish *Astacus astacus* (L., 1758). *Parasitology*, no. 5, 86–191.
9. Brodskii S. Ya., Sidorenko A. P., Stavrovskii K. B. (1979). *Metodicheskie rekomendatsii po obucheniyu zhiznostykh larvinok i transportatsii rechnykh*

- crayfish* [Methodological recommendations for obtaining viable larvae and transportation of river crayfish]. Lviv. UkrNIRKh Publishing. 27. [in Russian].
10. Brodskii S. Y., Kononova N. E. (1965). On the Rusty-Spotted Disease of Crayfish (*Astacidae*) in the Reservoirs of the Ukrainian SSR. Tr. CII of pond and lake-river fisheries, no. 10, 153–159.
 11. Happich E. (1990). Preliminary averaging of newly found fluaekrebeen disease, Belt. Wochensahr. f. Lendwiach. Geveb, and Handel. no. 47, 95–97.
 12. Grapmane L. K., Brentse A. Y. (1972). On methods of diagnosing river cancer diseases. I All-Union. Sympos. on diseases and parasites of aquatic invertebrates. Sympos. Lvyv.
 13. Gusev E. E. (1990). Hyperhaline culture. Agropromizdat
 14. Andre M. (1980). French crayfish. Paris.
 15. Brodskii S. Y. (1967). Disease of crayfish caviar (*Astacidae*) II Fisheries. Kyiv. Iss. 4, 113–114.
 16. Brodsky S. Y. (1981). Crayfish. Fauna of Ukraine Kyiv. Scientific opinion. Vol. 26, 210.
 17. Vladovskaya S. A., Mirzoeva L. M., Fedorova 3. C. (1980). Cultivation of shrimp abroad. Overview. Ser. Mariculture.
 18. Zaika V. E. (1972). Specific Production of Aquatic Invertebrate Organisms. Kyiv. Naukov's Thought.
 19. Grapmane L. K., Pekarevich I., Sloka N. (1976). *Branchiobdellidas* are parasites of river crayfish in the lakes of the south-eastern part of the Latvian SSR. 2 All-Union. sympos. on diseases and parasites of aquatic invertebrates. Leningrad.
 20. Aquatic Oligochaetes tried to water Litovsk SSR, their ecology and economic importance. Aruref. Kand. dis. Vilnius, 1973.
 21. Zimnioki W. (1965). O raku i rakostania Zlami Wilenskie J. Wilno.
 22. Kupchinskaya O. S. (1970). Aquatic Small-Bristle Worms and Their Parasites of the Fauna of the Western Regions of Ukraine. Autoref. Cand. dis. Lvyv. [in Russian].
 23. Kuchin I. V. (1970). Protection and breeding of crayfish in lakes and rivers. Moscow, Selkhozgiz Publ.
 24. Mazhilis A. A. (1973). On the infestation of broad-clawed crayfish with branchiobdella and measures to combat them. Tr. AN Lit. Soviet socialist republic. 107–113.
 25. Mazhilis A. A., Shyashtokas I. A. (1968). Plague of crayfish in a natural reservoir. Riga : Limnology. 63–66.
 26. Mazitis Z. (1971). Selekyoya and rude sudzesana. Riga.
 27. Järvekülg A. A. (1957). Diseases and parasites of broad-clawed crayfish (*Astacus astacus* L.). Ist Scientific and Coordinating Conference on

- Parasitological Problems of the LitSSR, LatSSR, ESSR and BSSR, Vilnius. 49–50.
28. Järvekülg A. A. (1958). Spotted disease of broad-clawed crayfish (*Astacus astacus* L.) in the Estonian SSR. Tartu : Hidrobiol.issledovdovaniya. no. 1, 24.
29. Jarvekulg A. (1958). Joevenk Eastis. Tartu.
30. Järvekülg A. A. (1966). Study of Diseases of Broad-Fingered Cancer in the Estonian SSR and Issues of Eradication of Crayfish Plague in the Baltics. Sympos. on Parasites and Diseases of Fish and Aquatic Invertebrates. Leningrad. 34–35.
32. Bezusyi O. L. (2004). On the issue of studying some physiological characteristics of river crayfish. *Fisheries*, Iss. 63, 21–23.
33. Brodskiy S. Y., Balashova M. N., Suprunovich A. V. (1977). Biological Foundations of the Rational Use of River Cancer Reserves in the Kakhovskoe Reservoir. *Rybnoe khozyajstvo*, Iss. 25, 33–36.
34. Brodskiy S. Y. (1980). *Issledovanie po biologii, vosпроизводство i razvedenie rechnogo crayfish v vnutrennykh vodoemakh Ukrainskoy SSR* [Research on biology, reproduction and breeding of river crayfish in internal water bodies of the Ukrainian SSR]. *Fisheries*, Iss. 31, 59–63. [in Russian].
35. Brodskiy S. Y. (1967). *Promysel rechnogo raki i perspektivy ego razvitiya na Ukraina* [Fishing of river crayfish and prospects of its development in Ukraine]. *Rybnoe khozyajstvo*, Iss. 5, 87–96. [in Russian].
36. Monchenko V. I., Bezusy A. L. (2000). *Nauchno-issledovatel'skie razrabotki po biologii, promyslu i vosпроизводство rechnykh rakov v Ukrainy* [Scientific research developments in biology, promyslu and vosпроизводство rechnykh rakov v Ukraina]. *Ribne gospodarstvo*, Iss. 56–57, 125–132. [in Russian].
37. Stavrovsky K. B. (1983). *Proizvodstvo rechnykh rakov (Astacus leptodactylus (Eschscholtz, 1823) pri naturalnom i iskusstvennom vosпроизvodstve* [Production of crayfish (*Astacus leptodactylus* (Eschscholtz, 1823) during natural and artificial reproduction]: avtoref. diss. na soiskanie uch. poleniya kand. biol. sci. Kyiv: Institute of Hydrobiology of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR. [in Russian].
38. Olifirenko V. V., Kozychar M. V., Olifirenko A. A. (2020). Parasites and symbionts of river crayfish *Astacus (Pontastacus) leptodactylus* Esch. Lower reaches of the Dnieper. Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference “Environmental Problems of the Environment and Rational Nature Management in the Context of Sustainable Development”: collection of materials. Kherson: Oldi-plus. 734–738.

АКВАКУЛЬТУРА

УДК 504:658

DOI <https://doi.org/10.32782/wba.2023.2.4>

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ПИТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ ЧЕРНЯХІВСЬКОЇ ГРОМАДИ ЖИТОМИРСЬКОГО РАЙОНУ

*Валерко Р.А. – к.с.-г.н., доцент,
Герасимчук Л.О. – к.с.-г.н., доцент,
Пацева І.Г. – д.т.н., професор,*

*Державний університет «Житомирська політехніка»,
valerko_ruslana@ukr.net, gerasym4uk@ukr.net, rig@ztu.edu.ua*

Дослідження та оцінка екологічної безпеки питного водопостачання у межах сільських селітебних територіях є першочерговим завданням для органів місцевого самоврядування, оскільки від якості питної води безпосередньо залежить стан здоров'я сільського населення. Дослідження проходили у межах Черняхівської громади Житомирської області. Зразки питної води відбирались із приватних і громадських колодязів та свердловин і аналізувались за показником рН, вмістом нітратів, заліза загального та жорсткості. Оцінку ризику для здоров'я сільського населення громади різних вікових груп здійснювали за модифікованою методикою оцінки ризику USEPA.

На основі проведених досліджень встановлено, що у 60 % відібраних зразків у середньому зафіксовано перевищення середнього вмісту нітратів, яке становило від 8,5 рази у м. Черняхів до 1,5 рази у с. Селянщина. Найбільш критичною ситуація виявилась у колодязі смт Черняхів. Цілком безпечною щодо вмісту нітратів була вода із джерел нецентралізованого водопостачання сіл Ганнопіль, Клітище, Коростелівка і Сали. При розрахунку величини неканцерогенного ризику було встановлено критичний рівень ризику для дітей смт Черняхів, оскільки його величина становила 12,7. Цікавою виявилась ситуація для дитячого населення сіл Коростелівка та Сали: не зважаючи на те, що середній вміст нітратів у воді становив 34,1 та 37,2 мг/дм³ відповідно, що відповідає нормативу, величина ризику становила 1,02 для с. Коростелівка та 1,2 для села Сали. Загалом доведено, що найбільш чутливою категорією населення до дії нітратів є діти віком від 0 до 6 років, оскільки рівень ризику у дітей у середньому перевищує рівень ризику у підлітків на 37 %. Серед дорослого населення найбільш чутливими до вмісту нітратів є жінки, оскільки величина ризику для жінок у середньому вища ніж у чоловіків на 5 %.

Ключові слова: питна вода, джерела нецентралізованого водопостачання, рН, нітрати, залізо загальне, твердість загальна, оцінка ризику.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими або практичними завданнями. Екологічна безпека

питного водопостачання сільських населених пунктів є надзвичайно важливою для забезпечення здоров'я і добробуту місцевого населення. Це пов'язано з тим, що в сільській місцевості, як правило, відсутні централізовані системи водопостачання та водовідведення. Існуючі приватні та громадські колодязі, свердловини та каптажі, якими користуються сільські жителі, часто погано обладнані і сприяють потраплянню різних шкідливих для здоров'я населення речовин.

Тому, важливо постійно моніторити і оцінювати якість питної води та вживати заходи для її покращення у разі необхідності, що має бути одним із пріоритетних напрямів управління екологічною безпекою у секторі питного водопостачання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням екологічної безпеки питного водопостачання сільських населених пунктів присвячено велику кількість досліджень вітчизняних та зарубіжних учених. Зокрема, модель оцінки ризику для здоров'я населення, пов'язаного з впливом нітратів, що надходять із питною водою, використовували дослідники Індії [1], Ірану [2], Китаю [3], Америки [4], Європи [5], України [6, 7], у тому числі й Житомирської області [8, 9]. У результаті таких досліджень було встановлено, що найбільші величини ризику виявлено при пероральному надходженні нітратів, ніж при нашкірному [1]. Доведено, що немовлята і діти є найбільш чутливою категорією населення до дії нітратів, оскільки у більшості випадків величина індексу небезпеки для них не лише перевищувала 1, а й сягала критичних значень [1, 2, 8, 9]. Також було виявлено, що дорослі жінки були більш чутливі до нітратів, ніж чоловіки, але різниця не була значущою [3].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, яким присвячується означена стаття. Екологічна безпека питного водопостачання сільських селітебних територій не втрачає своєї актуальності, оскільки від якості питної води безпосередньо залежить стан здоров'я населення. Таким чином, оцінка ризику для здоров'я сільського населення від споживання недоброякісної питної води потребує все більших досліджень.

Дослідження проводилися в рамках науково-дослідної теми «Еколого-соціальна оцінка стану сільських селітебних територій у контексті сталого розвитку» (державний реєстраційний №: 0120U104233), результати якого можуть бути використані представниками сільських, селищних рад та об'єднаних територіальних громад для прийняття управлінських рішень у сфері забезпечення екологічної безпеки питного водопостачання.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Таким чином метою є дослідження взаємозв'язку між появою неканцерогенних проявів внаслідок споживання питної води та оцінка екологічних ризиків для насе-

лення Черняхівської територіальної громади нового укрупненого Житомирського району Житомирської області.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Дослідження проходили у сільських населених пунктах Черняхівської селищної громади. Зразки питної води відбирали із джерел нецентралізованого водопостачання – колодязів та свердловин у таких населених пунктах: смт Черняхів, с. Андріївка, с. Браженка, с. Видибор, с. Ганнопіль, с. Клітище, с. Коростелівка, с. Очеретянка, с. Сали, с. Селянщина. Дослідження якості питної води здійснювали за такими показниками: рівень рН, вміст нітратів та заліза загального, твердість. Отримані результати порівнювали із стандартом, що діє на території України – ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до якості води, призначеної до споживання людиною» [10].

Оцінку ризику для здоров'я сільського населення громади різних вікових груп здійснювали за модифікованою методикою оцінки ризику USEPA [11]. Для встановлення можливих неканцерогенних ризиків для здоров'я людини від постійного споживання води, що містить нітрати, використовували середньодобову дозу надходження нітратів до організму людини (ADD) та коефіцієнт небезпеки (HQ).

Параметри, за якими проводили оцінку ризику для здоров'я населення різних категорій наведено в таблиці 1.

Таблиця 1. Параметри, які використовували при оцінці ризику [11]

Параметри	Діти	Підлітки	Чоловіки	Жінки
IR – величина споживання води, л × добу ⁻¹	1,0	1,7	2,4	2,3
BW – маса тіла людини, кг	20	54	75	69

Погіршення якості питної води з нецентралізованих джерел у сільській місцевості пов'язане з низькою екологічною культурою селян, інтенсивним веденням сільського господарства, недотриманням місцевим населенням правил утримання тварин та відстаней між господарськими будівлями і джерелом води. Більше того, враховуючи сучасний стан, спричинений військовим вторгненням на територію України, існує високий ризик знищення приватних колодязів та свердловин у сільській місцевості, що, безумовно, знизить якість питної води. Також існує ризик потрапляння військових снарядів у цивільні та фермерські сховища мінеральних добрив та засобів захисту рослин, які потраплять у поверхневі та підземні води і стануть непридатними для споживання [12].

Проведений лабораторний аналіз показав, що у 80 % відібраних зразків у середньому не зафіксовано невідповідності стану питної води рівню рН, який варіював у його нормативних межах – 6,5–8,5 одиниць

pH. Невелике зниження середнього рівня pH було характерним для питної води селища Черняхів та села Клітище, що свідчить про деяке підкислення води (рисунок 1).

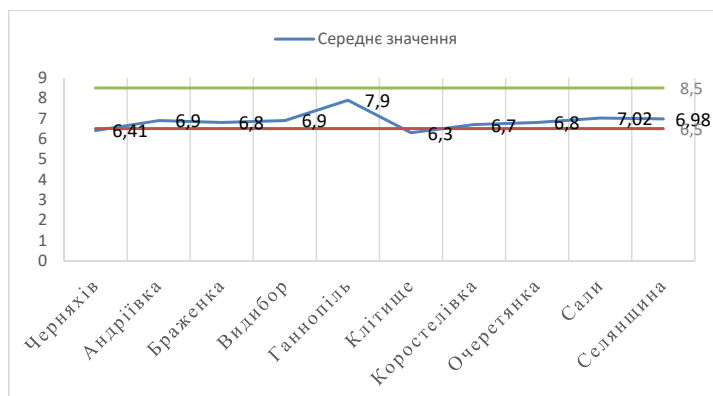


Рис. 1. Середній рівень pH у питній воді Черняхівської громади

Середній вміст нітратів у питній воді Черняхівської громади встановлено на рівні 134 мг/дм³, що перевищує встановлений норматив у 2,7 рази. У розрізі окремих населених пунктів вміст нітратів був таким: у 60 % досліджуваних населених пунктах виявлено перевищення середнього вмісту нітратів, які становило від 8,5 рази у м. Черняхів до 1,5 рази у с. Селянщина. Найбільш критичною ситуація виявилась у колодязі смт Черняхів. Цілком безпечною щодо вмісту нітратів була вода із джерел нецентралізованого водопостачання сіл Ганнопіль, Клітище, Коростелівка і Сали (рисунок 2).

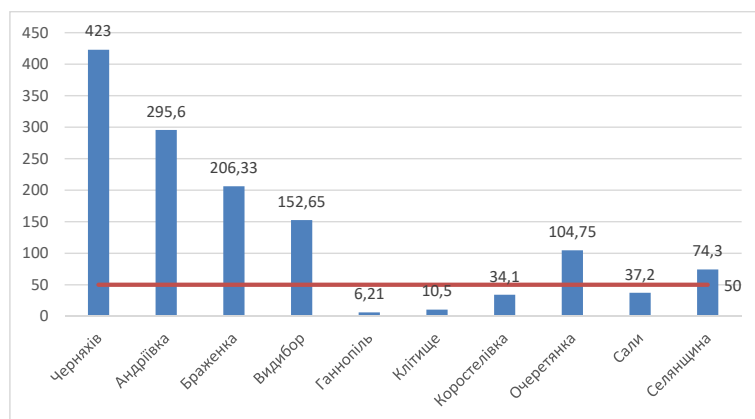


Рис. 2. Середній вміст нітратів у питній воді джерел нецентралізованого водопостачання Черняхівської громади, мг/дм³

Середній вміст заліза загального у питній воді джерел нецентралізованого водопостачання сільських населених пунктів громади в жодному випадку не перевищував норматив, який визначено на рівні 1 мг/дм³ (рисунок 3).

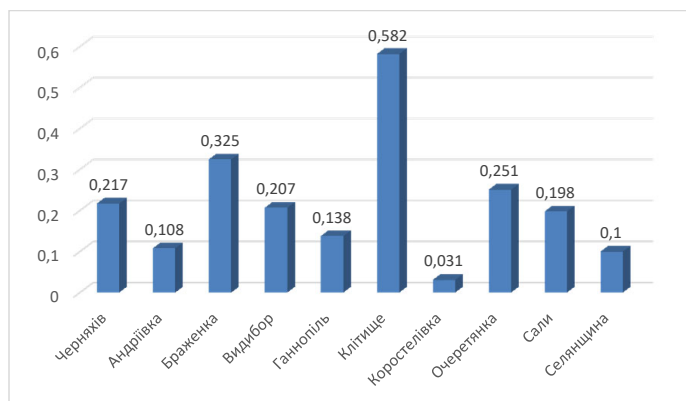


Рис. 3. Середній вміст заліза загального у питній воді Черняхівської громади, мг/дм³

Середній рівень показнику загальної твердості у розрізі населених пунктів варіював у межах від 2,85 у с. Клітище до 12,6 ммоль/дм³ у с. Браженка. Перевищення нормативного вмісту твердості загальної, який для питної води джерел нецентралізованого водопостачання встановлено на рівні 10 ммоль/дм³, встановлено у с. Андріївка у 1,03 рази, с. Браженка – 1,3, с. Очеретянка – 1,01 рази (рисунок 4).

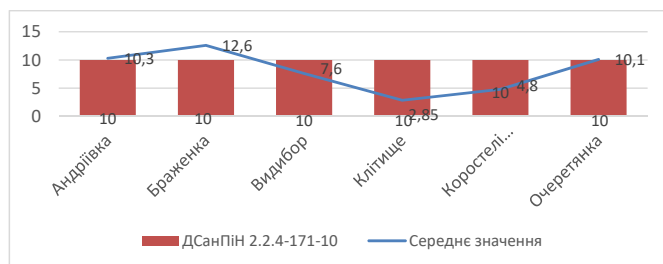


Рис. 4. Загальна твердість у питній воді джерел нецентралізованого водопостачання Черняхівської громади, ммоль/дм³

Наступним етапом наших досліджень стала оцінка ризику для здоров'я населення Черняхівської громади при хронічному споживанні питної води, що містить нітрати. Ризик оцінювали для дітей (0–10 років), підлітків (11–18 років) та дорослих чоловіків і жінок.

Розрахована величина середньодобової дози (ADD) надходження нітратів з питною водою до організму дітей, підлітків та дорослого населення населених пунктів Черняхівської громади коливається у межах від 20,3 – для дітей смт. Черняхів, до 0,2 – для підлітків та дорослих села Ганнопіль (рисунок 5).

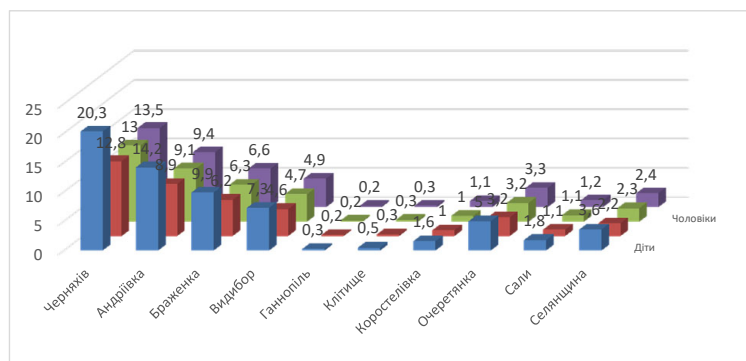


Рис. 5. Середньодобова доза надходження нітратів до організму мешканців Черняхівської громади, мг × кг/добу

Зокрема, встановлено, що у всіх населених пунктах, де виявлено перевищення вмісту нітратів у питній воді, величина середньодобової дози надходження нітратів перевищує референту дозу, яка встановлена на рівні 1,6 мг/кг на добу.

У результаті розрахунку величини неканцерогенного ризику було встановлено критичний рівень ризику для дітей смт Черняхів, оскільки його величина становила 12,7, що може викликати виникнення хронічних захворювань. Для підлітків та дорослого населення Черняхова рівень ризику характеризується як високий, що може спричинити ризик розвитку несприятливих ефектів у більшості населення. Для усіх категорій населення с. Андріївка рівень ризику є високий і варіює у межах від 8,9 для дітей до 5,6 для підлітків (рисунок 6).

Для села Браженка високий рівень ризику був характерним для дітей, оскільки встановлений на рівні 6,2. Решта населення Браженки підпадає під категорію середнього ризику, що може викликати шкідливі ефекти у особливо чутливих групах населення. У селі Видибор для усіх категорій населення виявлено також середній рівень ризику. Для сіл Ганнопіль та Клітище є характерним низький рівень ризику, при якому ймовірність виникнення шкідливих ефектів для здоров'я людини є мало ймовірною (рисунок 6).

Цікавою виявилась ситуація для дитячого населення сіл Коростелівка та Сали: не зважаючи на те, що середній вміст нітратів у воді ста-

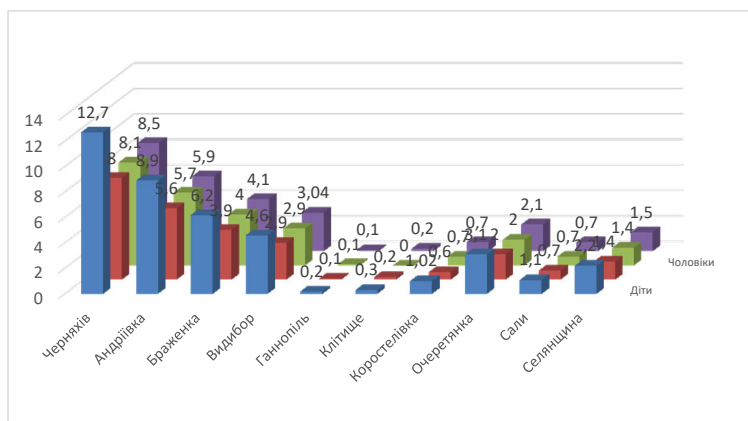


Рис. 6. Ризик для здоров'я мешканців громади від споживання питної води

новив 34,1 та 37,2 мг/дм² відповідно, що відповідає нормативу, величина ризику становила 1,02 для с. Коростелівка та 1,2 для села Сали, що характерно для середнього рівня ризику. Отже, для дітей такий рівень вмісту нітратів може бути небезпечним. Проте, для інших категорій населення величина ризику варіює у межах 0,6–0,7, що свідчить про низький рівень ризику (рисунок 6).

Середній рівень ризику був характерним для мешканців сіл Очеретянка та Селянщина, що є очевидним, оскільки середній вміст нітратів у питній воді досліджуваних населених пунктів перевищував встановлений норматив (рисунок 6).

Загалом доведено, що найбільш чутливою категорією населення до дії нітратів є діти віком від 0 до 6 років, оскільки рівень ризику у дітей у середньому перевищує рівень ризику у підлітків на 37 %.

Серед дорослого населення найбільш чутливими до вмісту нітратів є жінки, оскільки величина ризику для жінок у середньому вища ніж у чоловіків на 5 %.

Висновки з даного дослідження та перспективи подальшого розвитку в цьому напрямі. Таким чином, доведено, що питна вода джерел нецентралізованого водопостачання сільських населених пунктів Черняхівської громади не є цілком безпечною для здоров'я місцевого населення. Перевищення вмісту нітратів у воді може спричинити виникнення хронічних захворювань серед дитячого населення, ризику розвитку несприятливих ефектів у більшості частини населення та розвиток шкідливих ефектів у особливо чутливих групах, а саме: дітей, жінок та людей похилого віку. У перспективі подальших досліджень планується оцінити рівні ризику для різних категорій населення інших територіальних громад Житомирської області.

ENVIRONMENTAL SAFETY OF DRINKING WATER SUPPLY OF CHERNYAHIV COMMUNITY OF ZHYTOMYR DISTRICT

*Valerko R.A. – Candidate of Agricultural Sciences,
Herasymchuk L.O. – Candidate of Agricultural Sciences,
Patseva I.H. – Doctor of Technical Sciences,
Zhytomyr Polytechnic State University,
valerko_ruslana@ukr.net, gerasym4uk@ukr.net, rig@ztu.edu.ua*

Research and assessment of the ecological safety of drinking water supply within rural settlement areas is a priority task for local self-government bodies, since the health of the rural population directly depends on the quality of drinking water. The research took place within the Chernyakhiv community of the Zhytomyr region. Drinking water samples were taken from private and public wells and boreholes and analyzed for pH, nitrate content, total iron and hardness. The risk assessment for the health of the rural population of the community of different age groups was carried out according to the modified USEPA risk assessment method.

On the basis of the conducted research, it was established that in 60 % of the selected samples, on average, an excess of the average nitrate content was recorded, which ranged from 8.5 times in the city of Chernyakhiv to 1.5 times in the village of The peasantry. The most critical situation was in the well of Chernyakhiv. The water from the sources of non-centralized water supply in the villages of Hannopil, Klitishche, Korostelivka and Saly was quite safe in terms of nitrate content. When calculating the amount of non-carcinogenic risk, a critical level of risk was established for children of Chernyakhiv, as its value was 12.7. The situation for children in the villages of Korostelivka and Sala turned out to be interesting: despite the fact that the average nitrate content in the water was 34.1 and 37.2 mg/dm³, respectively, which corresponds to the standard, the risk value was 1.02 for the village of Korostelivka and 1.2 for the village of Saly. In general, it has been proven that the most sensitive category of the population to the effects of nitrates are children aged 0 to 6 years, since the risk level in children exceeds the risk level in teenagers by 37 % on average. Among the adult population, women are the most sensitive to nitrates, as the risk for women is on average 5 % higher than for men.

Keywords: drinking water, sources of non-centralized water supply, pH, nitrates, total iron, total hardness, risk assessment.

ЛІТЕРАТУРА

1. Karunanidhi D., Aravinthasamy P., Subramani T., Kumar M. Human health risks associated with multipath exposure of groundwater nitrate and environmental friendly actions for quality improvement and sustainable management: A case study from Texvalley (Tiruppur region) of India. *Chemosphere*. 2021. Vol. 265. URL: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129083>.
2. Qasemi M., Farhang M., Biglari H. et al. Health risk assessments due to nitrate levels in drinking water in villages of Azadshahr, northeastern Iran. *Environ Earth Sci*. 2018. 77. 782. URL: <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7973-6>.

3. Yu G., Wang J., Liu L. et al. The analysis of groundwater nitrate pollution and health risk assessment in rural areas of Yantai, China. *BMC Public Health*. 2020. 20. 437. URL: <https://doi.org/10.1186/s12889-020-08583-y>.
4. Ward M. H., Jones R. R., Brender J. D., de Kok T. M., Weyer P. J., Nolan B. T., Villanueva C. M., van Breda S. G. Drinking Water Nitrate and Human Health: An Updated Review. *International journal of environmental research and public health*. 2018. 15(7). 1557. URL: <https://doi.org/10.3390/ijerph15071557>.
5. Moldovan A., Hoaghia M. A., Kovacs E., Mirea I. C., Kenesz M., Arghir R. A., Petculescu A., Levei E. A., Moldovan O. T. Quality and Health Risk Assessment Associated with Water Consumption—A Case Study on Karstic Springs. *Water*. 2020. 12. 3510. URL: <https://doi.org/10.3390/w12123510>.
6. Крупко Г., Суходольська І., Лико С., Логвиненко І. Оцінка нітратного забруднення питної води сільських населених пунктів Рівненської області. *Науковий вісник Вінницької академії безперервної освіти. Серія «Екологія. Публічне управління та адміністрування»*. 2023. Вип. 3. С. 119–128. DOI <https://doi.org/10.32782/2786-5681-2023-3.16>.
7. Лотоцька О. В., Прокопов В. О. Оцінка ризику споживання питної води з підвищеним вмістом нітратів на здоров'я населення Тернопільської області. *Environment & Health*. 2018. № 4. С. 20–24. URL: <https://doi.org/10.32402/dovkil2018.04.020>.
8. Валерко Р. А., Герасимчук Л. О. Оцінка перорального надходження нітратів з питною водою для різних верств населення Житомирської області. *Довкілля та здоров'я*. 2021. № 4 (101). С. 68–76. URL: <https://doi.org/10.32402/dovkil2021.04.068>.
9. Валерко Р. А., Герасимчук Л. О., Касумова В. Ю. Оцінка потенційного ризику для здоров'я сільського населення внаслідок споживання питної води. *Таврійський науковий вісник*. 2022. № 125. С. 218–224. DOI <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2022.125.30>.
10. Про затвердження Державних санітарних норм та правил «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (ДСан-ПіН 2.2.4-171-10: МОЗ України; Наказ, Норми, Правила від 12.05.2010 № 400 / МОЗ України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10>.
11. US Environmental Protection Agency. Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories. US EPA; Washington, DC, USA: 2012. pp. 2–6.
12. Валерко Р. А., Романчук Л. Д., Герасимчук Л. О. Оцінка екологічної безпеки питної води за сумарним показником якості. *Водні біоресурси та аквакультура*. 2022. № 1. С. 96–106. DOI <https://doi.org/10.32851/wba.2022.1.8>.

13. Коцюба І. Г., Коробійчук А. О., Радченко Л. М. Дослідження сучасного стану забруднення вод гідрографічної мережі Житомирського району. *Екологічні науки*. 2014. № 6. С. 96–102.
14. Kotsiuba, I., Lukianova, V., Anpilova, Y., Yelnikova, T., Herasymchuk, O., Spasichenko, O. (2022). The features of eutrophication processes in the water of Uzh river. *Ecol. Eng. Environ. Technol.* 2022. 23(2), 9–15. URL: <http://doi.org/10.12912/27197050/145613>.

REFERENCES

1. Karunanidhi D., Aravinthasamy P., Subramani T., Kumar M. (2021). Human health risks associated with multipath exposure of groundwater nitrate and environmental friendly actions for quality improvement and sustainable management: A case study from Texvalley (Tiruppur region) of India. *Chemosphere*, Vol. 265. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129083>.
2. Qasemi M., Farhang M., Biglari H. et al. (2018). Health risk assessments due to nitrate levels in drinking water in villages of Azadshahr, north-eastern Iran. *Environ Earth Sci*, 77, 782. URL: <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7973-6>.
3. Yu G., Wang J., Liu L. et al. (2020). The analysis of groundwater nitrate pollution and health risk assessment in rural areas of Yantai, China. *BMC Public Health*, 20, 437. URL: <https://doi.org/10.1186/s12889-020-08583-y>.
4. Ward M. H., Jones R. R., Brender J. D., de Kok T. M., Weyer P. J., Nolan B. T., Villanueva C. M., van Breda S. G. (2018). Drinking Water Nitrate and Human Health: An Updated Review. *International journal of environmental research and public health*, 15(7), 1557. URL: <https://doi.org/10.3390/ijerph15071557>.
5. Moldovan A., Hoaghia M. A., Kovacs E., Mirea I. C., Kenesz M., Arghir R. A., Petculescu A., Levei E. A., Moldovan O. T. (2020). Quality and Health Risk Assessment Associated with Water Consumption – A Case Study on Karstic Springs. *Water*, 12, 3510. URL: <https://doi.org/10.3390/w12123510>.
6. Krupko H., Sukhodolska I., Lyko S., Logvynenko I. (2023). *Otsinka nitrato-noho zabrudnennya pytnoyi vody sil's'kykh naselenykh punktiv Rivnens'koyi oblasti* [Assessment of nitrate pollution of drinking water in rural settlements of the Rivne region]. *Naukovyy visnyk Vinnyts'koyi akademiyi bez-perervnoyi osvity. Seriya «Ekolohiya. Publichne upravlinnya ta administruvannya»*, Issue 3, 119–128. DOI <https://doi.org/10.32782/2786-5681-2023-3.16>. [in Ukrainian].
7. Lotots'ka O. V., Prokopov V. O. (2018). *Otsinka ryzyku spozhyvannya pytnoyi vody z pidvyshchenym vmistom nitrativ na zdorov'ya naselennya Ternopil's'koyi oblasti* [Assessment of the risk of consumption of drinking

- water with high nitrate content on the health of the population of Ternopil region]. *Environment & Health*, no. 4, 20–24. <https://doi.org/10.32402/dovkil2018.04.020>. [in Ukrainian].
8. Valerko R. A., Herasymchuk L. O. (2021). *Ocinka peroral'nogo nadhodzhennja nitrativ z pytnoju vodoju dlja riznyh verstv naseleennja Zhytomyrs'koi oblasti* [Estimation of oral intake of nitrates with drinking water for different segments of the population of Zhytomyr region]. *Dovkillja ta zdorov'ja*, no. 4(101), 68–76. URL: <https://doi.org/10.32402/dovkil2021.04.068>. [in Ukrainian].
 9. Valerko R. A., Herasymchuk L. O., Kasumova V. Yu. (2022). *Otsinka potentsiynoho ryzyku dlya zdorov'ja sil's'koho naseleennja vnaslidok spozhyvannya pytnoyi vody* [Assessment of the potential risk to the health of the rural population as a result of drinking water consumption]. *Tavriys'kyi naukovy visnyk*, no. 125, 218–224. DOI <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2022.125.30>. [in Ukrainian].
 10. *Pro zatverdzhennja Derzhavnyh sanitarnyh norm ta pravyl «Gigijenichni vymogy do vody pytnoi, pryznachenoj dlja spozhyvannja ljudynuju»* (2010). [About the statement of the State sanitary norms and rules «Hygienic requirements to drinking water intended for human consumption»]. DСан-ПiН 2.2.4-171-10: Ministry of Health of Ukraine; Order, Norms, Rules of the 12 th of May 2010, no. 400. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10>. [in Ukrainian].
 11. US Environmental Protection Agency. Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories. US EPA; Washington, DC, USA: 2012. pp. 2–6.
 12. Valerko R. A., Romanchuk L. D., Herasymchuk L. O. (2022). *Otsinka ekolohichnoyi bezpeky pytnoyi vody za sumarnym pokaznykom yakosti* [Assessment of the ecological safety of drinking water by the total quality indicator]. *Vodni bioresursy ta akvakul'tura*, no. 1, 96-106. DOI <https://doi.org/10.32851/wba.2022.1.8>. [in Ukrainian].
 13. Kotsiuba I. G., Korobiichuk A. O., Radchenko L. M. (2014). *Doslidzhennya suchasnoho stanu zabrudnennja vod hidrografichnoyi merezhi Zhytomyrs'koho rayonu* [Study of the current state of water pollution in the hydrographic network of the Zhytomyr region]. *Ekolohichni nauky*, no. 96–102. [in Ukrainian].
 14. Kotsiuba I., Lukianova V., Anpilova Y., Yelnikova T., Herasymchuk O., Spasichenko O. (2022). The features of eutrophication processes in the water of Uzh river. *Ecol. Eng. Environ. Technol*, 23(2), 9–15. URL: <http://doi.org/10.12912/27197050/145613>.

UDC 338.439:639.2/.3

DOI <https://doi.org/10.32782/wba.2023.2.5>

USE OF FISH AND FISH PRODUCTS FOR TO ENSURE FOOD SECURITY AND THE TRANSITION TO A BALANCED AND HEALTHY DIET

*Dyudyaeva O.A. – Senior Lecturer, Export Expert to the EU,
Kherson State Agrarian and Economic University,
dyudyaeva.olga@gmail.com*

According to the Food and Agriculture Organisation of the United Nations (FAO), more than 800 million people around the world were food insecure as of early 2020. The COVID-19 pandemic has only worsened the state of food supply and food security in the global world. The effects of climate change and Russia's military invasion of Ukraine became further challenges to global food security. This confirmed the imperfection and vulnerability of agri-food chains.

However, food security is also a country's ability to ensure access to quality and healthy food for its population. Thus, according to the Rome Declaration on World Food Security, each country must ensure the human right to adequate food and physical access to it, regardless of climate challenges and weather fluctuations, the state and dynamics of production development.

Therefore, when making appropriate decisions, it is necessary to take into account factors such as an increasing global population, climate change affecting agricultural production, inefficient food systems and the growing demand for healthy and safe food.

Since the discovery of nutrients, society has sought to provide advice on how to avoid nutrient deficiencies and protect human health and well-being.

The results of scientific recommendations based on studies of the impact of food on human health confirm the need to move to new consumption models and change the content of the food basket, taking into account the impact of food chains on the environment.

The article considers fish and fish products as a component of the consumer basket of a new model of healthy, high-quality and safe food.

Global fish consumption dynamics show that the trend towards a healthy lifestyle is gaining momentum, leading consumers to increasingly prefer fish and seafood. In addition, fish is better absorbed by the body. Due to the high energy and biological value of fish products, a number of issues related to food security can be addressed today.

Key words: food security, agri-food chains, fish and fish products, public health, model of healthy, high-quality and safe food.

Introduction. Food is an integral part of our life. This is especially important when one of the main tasks facing humanity is ensuring food security.

According to estimates of the Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO), as of the beginning of the COVID-19 pandemic (the beginning of 2020), according to various data, more than 800 million inhabit-

ants of the planet suffered from insufficient food supply. The COVID-19 pandemic has only worsened the state of food security and, as a result, food security in the global world. In 2020, a rapid increase in the scale of hunger was observed, the consequences of which were a further increase in the number of hungry people in the world in 2021. Consequences of climate change, Russia's military invasion of the territory of Ukraine became the next challenges for food security. The current situation has confirmed that agri-food chains are imperfect and vulnerable.

2023 was not a year of improvement. Due to the disruption of food chains at all stages (production, logistics, supply, transportation, etc.), pandemic restrictions, rising global food prices, low productivity of food systems in a number of countries around the world, food supply to the global population has become even worse, thereby intensifying the problems of hunger [1–4].

But food security is also the country's ability to provide the population with access to high-quality and useful food. Thus, according to the Rome Declaration on World Food Security [5], every country must ensure the human right to adequate food, physical access to it, regardless of climatic challenges and weather fluctuations, the state and dynamics of production development.

Therefore, factors such as the increase in the global population, climate change affecting the volume of agricultural production, the inefficiency of food systems and the growing demand for healthy and safe food must be taken into account when making relevant decisions.

The results of scientific recommendations made on the basis of research on the impact of food products on human health confirm the need to switch to new consumption models, change the contents of the food basket, taking into account the impact of food chains on the environment.

The right to adequate and affordable food is a human right that most countries today strive to ensure for their citizens. Moreover, for many countries, food is a part of their culture and traditions, a link to their ancestors and their roots. Therefore, it is simply impossible to overestimate the importance of food for human life, health and well-being.

Materials and methods. The research was based on the learning of global reports and statistical data of the Food and Agriculture Organization of the United Nations, statistical data of the State Statistics Service of Ukraine, State Customs Service of Ukraine, national and regional reports.

Results and discussion. Ever since nutrients such as vitamins were discovered in the 1910s and 1950s, society has sought to provide advice on how to avoid deficiencies and protect human health and well-being. Nutrient recommendations were based on an assessment of the biochemical and physiological role of nutrients and the needs of the human body. Such studies were conducted by internationally recognized institutions, including: expert committees of the

countries of Northern Europe (Iceland, Denmark, Finland, Norway, Sweden), the Council on Food and Nutrition of the National Academy of Sciences of the United States of America (IOM), the British Committee on the Medical Aspects of Food Policy, the World Health Organization (WHO). In recent years, the Food Safety Authority of the European Commission (EFSA) has joined these studies.

Recent studies (IOM, NASEM, EFSA reports) have been based on the use of harmonized criteria established for 22 nutrients (EFSA) and 3 nutrients (IOM/NASEM) for different age groups, from infants 6 months to older adults 70 years old (Figure 1).

Fluid and water balance	Vitamin C
Energy	Calcium
Fat and fatty acids	Phosphorus
Carbohydrate	Magnesium
Dietary fibre	Sodium
Protein	Potassium
Vitamin A	Iron
Vitamin D	Zinc
Vitamin E	Iodine
Vitamin K	Selenium
Thiamin (vitamin B1)	Copper
Riboflavin (vitamin B2)	Chromium
Niacin (vitamin B3)	Manganese
Pantothenic acid (vitamin B5)	Molybdenum
Vitamin B6	Fluoride
Biotin (vitamin B7)	Choline
Folate (vitamin B9)	Antioxidants and phytochemicals
Vitamin B12	

Fig. 1. Essential nutrients for a healthy diet

Both excessive and insufficient energy intake in relation to energy needs can lead to negative health consequences in the long term. An active lifestyle is considered desirable for good health. Moreover, the level of activity that corresponds to the population that leads an ordinary lifestyle with sedentary work and some increase in the level of physical activity in free time was considered the most acceptable.

Macronutrients are nutrients that are needed in relatively large amounts to provide energy and support various body functions and overall health. These include proteins, fats, carbohydrates, and fibre, which typically provide about 17, 37, 17, and 8 kJ/g, respectively. Macronutrients can to some extent replace

each other to meet the body's energy needs. Thus, an increase in the proportion of one macronutrient leads to the need to decrease the proportion of other macronutrients.

Macronutrient ranges [6] are defined as intake ranges (expressed as a percentage of total caloric intake) that are associated with a low risk of chronic diseases and also provide adequate intake of essential nutrients. The ranges are also based on sufficient energy intake and physical activity to maintain energy balance. If a person consumes food below or above these ranges, there is a potential for an increased risk of chronic disease, as well as an increased risk of inadequate intake of essential nutrients.

In addition to the ratio of proteins, fats and carbohydrates, the importance of the balance of their subcomponents (for example, unsaturated fatty acids, fibre, amino acids) is obvious.

Partial replacement of saturated fatty acids with poly- and monounsaturated fatty acids is an effective way to reduce cholesterol concentration. A decrease in this indicator is also observed when replacing trans fatty acids with poly- or monounsaturated fatty acids and reduces the risk of cardiovascular diseases (Table 1).

Table 1. Recommended macronutrient intake ranges for adults

Total fat		25–40 E%
Monounsaturated fat	10–20 E%	
Polyunsaturated fat	5–10 E%	
Saturated fat	<10 E%	
Tras fat	As low as possible	
Carbohydrates		45–60 E%
Dietary fiber	≥25–35 g/day	
Added and free sugars	<10 E%	
Proteins		10–20 E%

The health effects of dietary carbohydrates depend on the type of carbohydrates and the food source. Total carbohydrate intake in studies of healthy eating patterns associated with reduced chronic disease risk is in the range of 45–60 E%. The range of total carbohydrate intake depends on several factors, such as the quality of dietary sources of carbohydrates and the amount and quality of fatty acids in the diet.

Adequate consumption of dietary fibre reduces the risk of other chronic diseases, such as gastrointestinal tract, cardiovascular, type 2 diabetes, and contributes to reducing the risk of some types of cancer.

In addition, foods rich in fibre help maintain a healthy body weight. Consuming adequate amounts of dietary fibre from a variety of foods is also important for children.

To achieve optimal consumption in a healthy diet, taking into account the specifics and traditions of nutrition in individual countries, a reasonable range of protein intake is 10–20 %. Such protein consumption should adequately meet the needs of essential amino acids.

The optimal level of sodium intake (healthy nutrition) for adults has been set at 1.5 g/day. If daily intake exceeds 2.3 g/day, it is recommended to eliminate it (NASEM, 2019). Such a decrease will contribute to reducing the risk of chronic diseases of the population as a whole.

Food security research in recent decades has shown that foods contribute to overall health rather than simply providing the right amount of essential nutrients. The effects of food on health extend the effects of known essential nutrients, especially when it comes to chronic diseases.

In addition, it is important to note that the studies evaluated the impact of food on the environment. It is noted with a “high degree of certainty” that human activity has definitely caused global warming. Today, the global surface temperature is 1.15 °C higher than in the pre-industrial period. Global greenhouse gas emissions continue to rise due to unsustainable energy use, land use and land-use change, lifestyles, and patterns of consumption and production across regions, as well as between and within countries. Climate change is a threat to human well-being and the health of the planet, livable conditions and a sustainable future. Therefore, rapid and far-reaching transformations are needed in all sectors and systems, including the food chain.

The development of recommendations for healthy and adequate nutrition by leading experts was carried out on the basis of the integration of environmental sustainability and public health. Certain groups of food products have been identified, between which there are few contradictions in terms of healthy and ecologically safe nutrition. These are grains, vegetables, fruits and berries, nuts, red meat and fish, fats, oils, etc. Recommendations for fish and fish products concerned increasing their consumption from sustainably managed stocks. This will contribute both to the improvement of the state of health and to the improvement of the impact on the environment (Table 2).

Fatty fish, nuts, seeds, vegetable oils, and spreads based on vegetable oils high in unsaturated fats should largely replace butter, high-fat meats and meat products.

Analysing the biochemical and physiological indicators of fish products, it should be noted that they contain a large number of chemicals, among which proteins, lipids (fats), water and some minerals are of primary importance.

These substances are the main material from which the tissues and organs of fish are built. In addition to them, fish tissues contain substances that are products of protein and lipid metabolism in the body, as well as other substances that act as regulators of vital processes – vitamins, enzymes and hormones.

Table 2. Scientific recommendations on the “fish and fish products” food group for adults

Food group	Health effects of foods on chronic diseases not related to specific nutrients	Health effects of foods based on nutritional adequacy and the effects of specific nutrients	Impact of consumed products on the environment	Recommendations [6]
Fish	Consuming 300–450 grams per week (including at least 200 grams of oily fish per week) reduces the risk of cardiovascular disease, Alzheimer's disease, cognitive decline and premature mortality	Promote the formation of n-3 fatty acids and essential nutrients such as protein, vitamin D, vitamin B 12 and iodine	Fish and seafood from sustainably managed farms and wild stocks should be prioritized, and consumption of species with high environmental impacts should be limited	It is recommended to consume 300–450 grams per week (ready or cooked), of which at least 200 grams per week should be oily fish. It is recommended to consume fish from sustainably managed fish stocks

Carbohydrates (glycogen) are also present in small amounts. In addition, there are substances that perform the role of dyes or pigments and determine the various colours of individual tissues and organs of fish.

According to research, about 60 chemical elements have been found in water bioresources. Among the most important: calcium (1.2–1.5 %), phosphorus (0.6–0.8 %) and other elements, albeit in small quantities.

The molecular chemical composition shows the content of certain chemical compounds in fish that have food, fodder or technical significance. Information about the molecular chemical composition of fish makes it possible to evaluate its nutritional benefits and make a choice about the most rational and useful way of using it.

The data of numerous analyses indicate the presence of significant differences in the chemical composition of fish of various species. In addition, the chemical composition of fish of the same species is not constant and can change depending on the age and sex of the fish, its place of residence and the season (fishing season).

Content and distribution of individual substances in the fish body:

- nitrogen substances – 12–20 %;
- fat – 2–30 %;
- water – 50–84 %;
- mineral substances – 2.0–4.5 %.

Meat is the main edible part of fish, which makes up half of the total body weight on average.

The chemical composition of fish meat is characterized by the content of water, lipids (fats), the total amount of all nitrogenous substances (proteins)

and minerals. For a correct assessment of the nutritional benefits of fish meat, data on the content of complete muscle proteins in it, that is, proteins that are part of muscle fibres and proteins of connective tissue, non-protein nitrogenous compounds of various types, are also important substances related to lipids, as well as vitamins and certain physiologically important mineral elements (potassium, phosphorus, iodine, cobalt, copper, etc.).

The water contained in fish meat is very important, as it participates in biochemical reactions, as well as in physical and chemical processes that occur in fish tissues during various technological processes (freezing, heat treatment, salting, etc.).

In the composition of fish meat, nitrogenous substances are represented mainly by proteins. Along with proteins, non-protein nitrogenous substances belonging to different groups of organic compounds are present in fish tissues.

The ratio of the number of proteins and non-protein nitrogenous substances in the total content of fish meat differs depending on the class – bony or cartilaginous. Bony fish meat contains from 2.0 % to 3.6 % of nitrogen, and most of it (from 80 % to 92 %) is in proteins (protein nitrogen), and the remaining 8–20% is non-protein connections in cartilaginous fish, the total amount of nitrogen in the meat is greater and reaches 3.5–4.0 % (sometimes up to 5 %). But only 60–65 % of all nitrogen is accounted for by proteins, and 35–40 % (sometimes up to 50 %) – by non-protein substances.

Various types of proteins, which are part of fish meat, have different structures, physical-chemical and biological properties, but their elemental composition does not differ much.

Non-protein nitrogenous substances include extractive compounds that are intermediate products of the breakdown of proteins and amino acids. The organoleptic characteristics of finished fish products depend on their quantity and composition.

Lipids are water-insoluble substances that can dissolve only in organic solvents. The main part of fat consists of monoglycerides, diglycerides, triglycerides, which are derivatives of glycerol alcohol and fatty acids.

According to the fat content, fish are divided into 4 groups:

- lean – up to 2 % (cod, hake, whiting);
- medium-fat – 2–8 % (sea bass, horse mackerel, catfish);
- fatty – 8–15 % (mackerel, sardine, sardinella);
- high fat – more than 15 % (herring, halibut, eel).

The composition of fatty acids contained in the fat of different types of fish is not identical and differs greatly. The number of saturated acids in the fat of the meat of various fish is from 17 to 30 %, and unsaturated – 70–83 % of the total weight of all fatty acids. Sea fish fat contains the highest content of certain important acids.

Fish raw materials contain vitamins belonging to two groups:

- water-soluble (soluble in water);
- fat-soluble (soluble in organic solvents).

Vitamins are unevenly distributed in the body of fish. There are much more of them in internal organs than in muscle tissue, especially fat-soluble vitamins, including vitamins A, D, E. The highest content of these vitamins was found in fish liver.

Fish raw materials contain a large group of very important water-soluble vitamins such as: B1 (0.03–0.86 mg%), B2 (0.02–0.36 mg%), B6 (0.10–0.80 mg%), RR (0.40–8.20 mg%), C (0.4–3.2 mg%).

Vitamins are biologically active substances that are important in the normalization of metabolic processes. Combining with specific proteins, vitamins form biocatalysts – enzymes. Being in tissues in rather small quantities, vitamins contribute to the reaction of decomposition and synthesis of amino acids, proteins, carbohydrates, and nucleic acids.

Fish is a rich source of minerals. Their content in muscle tissue is, as a rule, stable and ranges from 1 % to 3 %. Mineral substances included in fish raw materials include macro- (from tenths to hundredths of a percent) and microelements (less than 0.01 %).

Macronutrients include sodium, potassium (90–100 mg%), calcium, phosphorus (up to 700 mg%), magnesium (25–70 mg%). Microelements include iron, copper, manganese, zinc, mercury, lead, cadmium and others. Microelements are part of biologically active substances, such as enzymes, vitamins, hormones.

The content of mineral elements in the muscle and other tissues of fish depends on the composition and concentration of salt in the water environment. The meat of sea fish contains much more mineral elements than the meat of freshwater fish. Another difference between marine and freshwater fish is the complete absence or small amount of iodine and bromine in the meat of the latter.

Potassium, sodium, phosphorus, sulfur, chlorine, calcium, magnesium, iron, zinc, copper, as a rule, are present in the meat of all types of fish, but with different quantitative content.

Carbohydrates contained in small amounts in fish muscles in the form of animal starch (glycogen) are a source of energy.

Fish tissues contain a large number of enzymes in small quantities, which act as biological catalysts for the chemical transformation of substances in protein, lipid and carbohydrate metabolism, which is the basis of life processes. By their chemical nature, enzymes are proteins (simple and complex).

The nutritional value of fish, taking into account the entire list of nutrients included in its composition, is extremely high. The value of fish products for

high-quality and healthy nutrition is determined, first of all, by the presence in its composition of a large number of complete proteins, as the basis of vital amino acids, as well as lipids, vitamins, macro- and microelements.

Proteins have a high biological value for fish products.

The biological value of lipids is assessed by their fatty acid composition, especially the content of polyunsaturated fatty acids, which play an important role in regulating cardiovascular activity.

Nitrogenous substances present in fish meat play an important role in the process of gastrointestinal digestion.

Vitamins present in fish are used by the human body as a regulator of metabolic processes. Group A and B vitamins are especially important, as they are almost absent in meat and vegetable foods.

Mineral substances are important for the condition of bones, nerves, muscle and covering tissue of a person. Their insufficient content in food causes serious metabolic disorders.

When transitioning to new models of high-quality and useful nutrition, when evaluating the nutritional value of fish and fish products, it is also necessary to note its high energy value (EV) [7]. The energy value is characterized by the total amount of energy released during the biological oxidation of nutrients contained in 100 g. product and is used to support the physiological functions of the body.

It is known that when burning 1 g of proteins 4.0 kcal (16.7 kJ) is released, 1 g of fats – 9 kcal (37.7 kJ), 1 g of absorbed carbohydrates – 3.75 kcal (15.7 kJ) of energy. According to the principles of rational nutrition, the daily energy requirement of an adult is 2800-3000 kcal. Of course, the amount of energy needed for consumption depends on a person's age, sex, physiology, condition, place of residence, etc.

Depending on the energy value, fish and fish products are conventionally divided into three groups, presented in Table 3.

Table 3. Classification of fish and fish products based on energy value

Name of group and EC, kcal/100 g	Product group
High in calories, 200–300 and more	Fish: sea bass, saury, Atlantic fat herring, ivory, mackerel, tuna. Fish products: Pacific herring, salmon, tuna, salted hamsa, sturgeon caviar, cod liver, Atlantic mackerel, etc. [7]
Medium calorie, 100–199	Fish: catfish, abalone, pollock, halibut, halibut, carp, Pacific herring, Atlantic mackerel Fish products: pollock caviar; hot-smoked flounder, cold-smoked Atlantic mackerel, dried sturgeon, etc. Non-fish products of water fishing: squid meat [7]
Low in calories, 30–90	Fish: Azov-Black Sea flounder, crucian carp, icefish, bream, spring marble capelin, fragile Azov carp, pike perch, cod, etc. Fish products: canned tuna, crabs and shrimps, etc. Non-fishery products: seaweed, mussels, etc. [7]

The energy value of fish and fish products varies depending on the method of processing and depends on its composition, content and food additives.

Digestibility of food products is an important indicator that characterizes the extent to which the product (its part or the product as a whole) is used by the body. With mixed nutrition, the digestibility of various food substances is accepted at the following levels: proteins – 84.5 %, fats – 94 %, carbohydrates – 95.5 %. For fish products, the rate of assimilation by the human body is 85–90 % for proteins, 84–96 % for fats.

Such a high level of digestibility ensures the normal functioning of the human body and determines the completeness of this product.

According to the materials of the Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO, 2022), today the world consumes six times more products from aquatic biological resources than almost 60 years ago. According to observations conducted since 1961, the world consumption of fish products has increased from 28 million tons to almost 176 million tons (2022) [8]. Moreover, 72 % of this volume was in Asia, where 60 % of the world's population lived. For comparison, in 1961, Asia consumed 48 % of the fish products available for consumption. For Europe and the USA, this indicator decreased from 32 % and 9 % to 10 % and 5 %, respectively, during the same period.

The increase in the consumption of products from aquatic bioresources in Asian countries was the result of a number of factors. In 1993, Asia took first place in the world in the production of products from aquatic biological resources thanks to the development of aquaculture. In the same period, significant economic development of the region, growth of population incomes, increased migration of the rural population to urban agglomerations, access to food products from aquatic bioresources took place. The reorientation of the export market to the domestic market contributed to increasing access to products from aquatic biological resources, expanding their range and increasing consumption.

At the beginning of 1961, Japan, the USSR, China, the United States, and Great Britain accounted for fifty percent of the total consumption of fish products. In 2022, China, Indonesia, India, the USA and Japan (the countries with the largest consumption) accounted for 60 % of the total consumption of fish products, with China accounting for 37 %.

Since the 60s of the last century, the consumption of food products from aquatic bioresources per capita in the world has been constantly increasing: in the 60s – 9.9 kg; 1970s – 11.4 kg; in the 1980s – 12.5 kg; in the 1990s – 14.4 kg; in the 2000s – 17.0 kg; in the 2010s – 19.6 kg. And although in 2019 consumption reached a record level of 20.5 kg, the next three years saw a slight decrease to 20.2 kg. The main reason for this was the COVID-19 pandemic and its consequences.

In the period 1961–2022, consumption of food products from aquatic bioresources per capita increased in almost all countries except Japan, although the dynamics of growth differed in different countries. In different countries, not only different rates of growth of consumption of food products from aquatic bioresources were noted, but also differences in the consumption of these products per capita. This is explained by different physical availability of these products and other types of food, differences in prices and income levels, different levels of consciousness about nutrition, as well as different food traditions, etc.

In 2022, FAO estimated the consumption of food products from aquatic bioresources per capita in 227 countries. In 133 of them, it did not reach the world average level, and in 94 it exceeded this level. Moreover, the world average level of consumption per capita was 20.2 kg. The average in low-income countries was 5.4 kg, in lower-middle-income countries 15.2 kg, in upper-middle-income countries 28.1 kg, and in high-income countries 26.5 kg.

The largest amount of food products from aquatic bioresources per capita in 2022 was consumed in Asia – 24.5 kg, 23.1 kg was consumed in Oceania, 21.4 kg in Europe, 14.5 kg in North and South America, and 10.1 kg in Africa.

The fairly low consumption volumes in African countries are explained by the high rates of population growth, which in most countries outpace the rate of increase in the production of industrial fishing products, the small scale of the aquaculture sector, which limits the opportunities for increasing production in the near future, and the unsatisfactory state of transport and market infrastructure. According to FAO forecasts, the consumption of fish products per capita in Africa is expected to decrease in the next 10 years. Considering the high prevalence of malnutrition and hunger, as well as the important role of food products from aquatic biological resources as a source of proteins, this can worsen the state of food security in the region [9].

Nutrition experts recommend one or two servings of fish per week, as it is a valuable source of protein, vitamin D and iodine. Sea fish with a high content of fats and omega-3 fatty acids is especially useful.

The demand for fish continues to increase, but ensuring a sustainable fish supply is a challenge that requires an integrated approach. The development of aquaculture and the consumption of local fish, together with strategies for effective management of fish stocks, can help provide fish to the population, preserve biodiversity and preserve the value of the oceans for future generations.

In most developed countries, they realized that the resource of the world's oceans is not limitless and that this fishery needs clear regulation and control.

In Ukraine, over the past five years, there has been a constant fluctuation in the per capita consumption of fish products. And if before the pandemic it was 11.1 kg/year, and in 2020 – 12.4 kg/year, today instead of the world average consumption of 20.2 kg/year per person, we have only 9.9 kg/year, which is less

even than in African countries. In addition, over the past 25 years, Ukraine has reduced the extraction and production of its fish products by 56 times.

Unfortunately, the culture of fish consumption in Ukraine in the pre-war period was still at the stage of formation. Ukrainians consumed both imported fish and their own fish.

Among the TOP exporters of fish to Ukraine were Norway, Iceland and the USA.

Virtually all fish imported to Ukraine were not subject to any duties, except for the standard VAT for all imports, and there were no additional barriers that could artificially increase the price of the product for the final consumer.

The situation with local Ukrainian products was more complicated, most producers worked outside the legal field. Unfortunately, first the annexation of Crimea (2014), then the COVID-19 pandemic and the full-scale military invasion of russia in Ukraine added negative effects on the development of the industry and the state of the consumer market.

Conclusion. The global dynamics of fish consumption indicates that the trend of a healthy lifestyle is gaining momentum, as a result of which consumers increasingly prefer fish and seafood. In addition, fish is better absorbed by the body. Thanks to the high energy and biological value of fish products, a number of issues related to food security can be solved today.

Global growth in fish consumption is driven by the development of aquaculture. Fish farming technologies have taken a step forward. According to experts in the field of aquatic bioresources and aquaculture, by 2030, 70 % of all fish will be grown on farms in closed water supply systems. And today, when the world society is looking for possible ways to improve food security by changing the content of the food basket, redistributing available food resources, and introducing new innovative technologies, aquaculture can meet the ever-growing demand for fish and seafood, and the wild fish segment will become a premium, rare commodity.

The added value of fish products comes from processing and processing of fish. The main global trend, which is gradually becoming a standard, is to make products as convenient as possible for the end consumer and save time, minimising the effort required to prepare them.

In the future, these trends will determine the development of the Ukrainian fish market. After all, solvent consumers are already willing to pay more today, choosing a high-quality and practically ready-to-eat healthy product.

ВИКОРИСТАННЯ РИБИ ТА РИБНОЇ ПРОДУКЦІЇ З МЕТОЮ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОДОВОЛЬНОЇ БЕЗПЕКИ ТА ПЕРЕХОДУ НА ЗБАЛАНСОВАНЕ ТА ЗДОРОВЕ ХАРЧУВАННЯ

*Дюдяєва О.А. – старший викладач, експерт з експорту в ЄС,
Херсонський державний аграрно-економічний університет,
dyudyaeva.olga@gmail.com*

За оцінками Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН (FAO), станом на початок 2020 року понад 800 мільйонів жителів планети страждали від нестачі продовольства. Пандемія COVID-19 лише погіршила стан продовольчого забезпечення та продовольчої безпеки в глобальному світі. Наступними викликами глобальній продовольчій безпеці стали наслідки зміни клімату та військове вторгнення росії в Україну. Це підтвердило недосконалість і вразливість агропродовольчих ланцюгів.

Але продовольча безпека – це ще й здатність країни забезпечити доступ населення до якісних і корисних продуктів харчування. Так, відповідно до Римської декларації про всесвітню продовольчу безпеку, кожна країна повинна забезпечити право людини на достатнє харчування, фізичний доступ до нього, незалежно від кліматичних викликів і погодних коливань, стану та динаміки розвитку виробництва.

Тому при прийнятті відповідних рішень необхідно враховувати такі фактори, як збільшення населення планети, зміна клімату, що впливає на обсяг сільськогосподарського виробництва, неефективність продовольчих систем і зростаючий попит на здорову та безпечну їжу.

З тих пір, як були відкриті поживні речовини, суспільство намагалося надати поради щодо того, як уникнути дефіциту поживних речовин і захистити здоров'я та благополуччя людей.

Результати наукових рекомендацій, складених на основі досліджень впливу харчових продуктів на здоров'я людини, підтверджують необхідність переходу до нових моделей споживання, зміни вмісту продуктового кошика з урахуванням впливу харчових ланцюгів на навколишнє середовище.

У статті риба та рибні продукти розглядаються як складова споживчого кошика нової моделі корисного, якісного та безпечного харчування.

Світова динаміка споживання риби свідчить про те, що тенденція до здорового способу життя набирає обертів, внаслідок чого споживачі все більше віддають перевагу рибі та морепродуктам. Крім того, риба краще засвоюється організмом. Завдяки високій енергетичній та біологічній цінності рибних продуктів сьогодні можна вирішити низку питань, пов'язаних із забезпеченням продовольчої безпеки.

Ключові слова: продовольча безпека, агропродовольчі ланцюги, риба та рибні продукти, охорона здоров'я людей, модель корисного, якісного та безпечного харчування.

REFERENCES

1. The State of Food Security and Nutrition in the World 2022. Repurposing food and agricultural policies to make healthy diets more affordable. FAO; IFAD; UNICEF; WFP; WHO. Rome, Italy. 2022. URL: <https://www.fao.org/documents/card/en/c/CC0639en>
2. FAO. 2022. The world's food supply. Rome. URL: www.fao.org/worldfoodsituation
3. State of Food Security and Nutrition in the World 2020. Transforming food systems for affordable healthy diets. FAO, IFAD, UNICEF, WFP та WHO. 2020. Rome, FAO. URL: <https://doi.org/10.4060/ca9692en>.
4. 4 FAO, IFAD, UNICEF, WFP and WHO. 2019. The State of Food Security and Nutrition in the World 2019. Safeguarding against economic slowdowns and downturns. Rome, FAO. <https://www.fao.org/3/ca5162en/ca5162en.pdf>
5. Rome Declaration on World Food Security and World Food Summit Plan of Action : World Food Summit, 13–17 November 1996, Rome, Italy. URL: http://www.rau.su/observer/N3-4_97/019.htm
6. Blomhoff R., Andersen R., Arnesen E.K., Christensen J.J., Eneroth H., Erkkola M. et al. (2023). Nordic Nutrition Recommendations 2023. Copenhagen: Nordic Council of Ministers, 2023.
7. Composition and nutritional value of fish and fish products. URL: <https://government.com.ua/zdorovia/sklad-ta-kharchova-tsinnist-ribi-ta-riboproduktiv.html>
8. Consumption of fish products (according to the materials of FAO 2022) (Part 1). 13.02.2023. URL: <https://fishindustry.com.ua/spozhivannya-riboprodukcii%D1%97-po-materialax-fao-2022-r/>
9. World fish consumption has reached a record level – more than 20 kg per person. June 12, 2023. URL: <https://landlord.ua/news/svitove-spozhyvannia-ryby-dosiahlo-rekordnoho-rivnia-ponad-20-kh-na-osobu/>

УДК 639.31

DOI <https://doi.org/10.32782/wba.2023.2.6>

КОРМОВА БАЗА ВИРОЩУВАЛЬНИХ СТАВІВ ХЕРСОНСЬКОГО ВИРОБНИЧО- ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ЗАВОДУ ПО РОЗВЕДЕННЮ МОЛОДІ ЧАСТИКОВИХ РИБ

Кутіщев П.С. – к.б.н., доцент,

Гончарова О.В. – к.с.-г.н., доцент,

Херсонський державний аграрно-економічний університет,

kutishev_p@ukr.net

Проведенні дослідження на базі вирощувальних ставів Херсонського виробничо-експериментального заводу по розведенню молоді частикових риб вказують на не типову динаміку розвитку компонентів природної кормової бази. Такі аспекти формують низький кормовий потенціал, як наслідок створюють загрозу для забезпечення отримання високоякісного рибопосадкового матеріалу для інтродукції в пониззя Дніпра, що є головним критерієм для адаптаційного періоду у нових умовах існування.

Аналіз результатів рівня розвитку кормових ресурсів протягом вегетаційного періоду свідчить про низькі біомаси фітопланктону по ставам у весняно-літній період, відповідно 0,517 – 2,257 г/м³ і 4,14 – 14,43 г/м³. Восени відзначені надмірні величини більше 60 г/м³ досягаючи максимальних значень 102,54 г/м³. Результати практичних досліджень демонструють, що біомаси зоопланктону вирощувальних ставів дуже різнились, у весняний період інтенсивної вегетації біомаси зоопланктону коливались від 7,83 до 96,37 г/м³. Наприкінці вегетаційного періоду рівень розвитку зоопланктону мав найнижчі показники біомас в порівнянні з весняно-літнім періодом, знизившись до 1,23–14,08 г/м³. Середньосезонна біомаса зообентосу змінювалася в межах від 1,9 г/м² до 5,0 г/м² характеризуючи рівномірну динаміку бентичних організмів на відміну від планктонних, які мали нетипові показники динаміки біомас як протягом вегетаційного періоду так і по ставам.

Результати проведених досліджень свідчать про необхідність стимулювання природної кормової бази за рахунок внесення у низькопродуктивні стави органо-мінеральних добрив у весняно-літній період, зміни стратегії формування складу полікультури у відповідності до продуктивності вирощувальних ставів за рівнем розвитку кормових гідробіонтів.

Основними кормовими об'єктами в рибогосподарських вирощувальних ставах являються макрофіти, фітопланктон, зоопланктон і зообентос. Вони є основними кормовими об'єктами для рослиноїдних коропових видів риб. Життєстійкість личинок і молодших вікових груп визначається рівнем обміну речовин, який відображає умови мешкання і рівень забезпечення кормовою базою риб. Природна кормова база ставів є частиною кормових ресурсів та представляє собою сукупність гідробіонтів, продуктів їх розпаду (детриту), які знаходяться у водоймі і використовуються безпосередньо в якості їжі для гідробіонтів. Враховуючи отриманні результати, відмічено, що основною задачею спеціалістів рибогос-

подарських підприємств є оптимально та невиснажливо використовувати кормові ресурси з метою трансформації їх у кормову базу ставів шляхом одночасного вирощування різних видів риби – полікультури, використання ущільнених посадок, інтенсифікаційних заходів.

Ключові слова: гідробіологічний режим, рибничі стави, коропові, рибопосадковий матеріал, кормова база ставів.

Постановка проблеми. Харчова забезпеченість молоді коропових видів риби у вирощувальних ставах в значному ступені залежить від якісного і кількісного складу кормових гідробіонтів, які утворюючи харчовий ланцюг забезпечують трансформацію енергії на кожному трофічному рівні.

В сучасних умовах Херсонський виробничо-експериментальний завод по розведенню частикових риби має різні категорії ставів, в яких сумісно вирощуються коропові види риби. Забезпечення відновлення чисельності частикових видів риби (короп, білий амур, білий та строкатий товстолобики) здійснюється з метою стримування евтрофікації, поповнення запасів водних біоресурсів, збільшення промислу і отримання високоякісної рибної продукції в умовах трансформованого стоку Дніпра.

Херсонський виробничо-експериментальний завод по розведенню молоді частикових риби призначений для виробництва рибопосадкового матеріалу рослинних риби і коропа для зариблення Дніпровсько-Бузької естуарної системи. Розташований на межі V і VI зон рибництва. Загальна ставова площа господарства складає 473,93 га, з них вирощувальної площі 424,3 га. Серед експлуатованих ставів найбільшу площу мають вирощувальні стави 1-го порядку, які складають 45,95 %, та вирощувальні стави 2-го порядку – 44,69 %. Але кількість і категорія ставів в залежності від планових потреб господарства може змінюватись. Головною задачею господарства являється отримання планової кількості високоякісного рибопосадкового матеріалу при використанні напівінтенсивної технології вирощування, за рахунок природної кормової бази, внесення органо-мінеральних добрив, без застосування годівлі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останні дослідження присвячені визначенню рівня розвитку природної кормової бази у ставах Херсонського виробничо-експериментального заводу з розведення молоді частикових риби проведені у 2008–2012 рр. В розрізі років середньосезонний рівень біомаси фітопланктону в експериментальних ставах складав 17,1–32,7 г/м³, зоопланктону від 0,78 до 2,17 г/м³, та зообентосу – 0,07–2,85 г/м³, що у цілому можна вважати задовільним при вирощуванні рибопосадкового матеріалу коропових видів риби за умов дефіциту органо-мінеральних добрив [1, 2].

Динаміка біомас харчових гідробіонтів протягом вегетаційного періоду вирощувальних ставів ХВЕЗ свідчить про достатній рівень

забезпечення рибопосадкового матеріалу природною кормовою базою, рівень розвитку фітопланктону складав від 18,1 до 31,9 г/м³, зоопланктону від 0,6 до 2,1 г/м³, зообентосу від 0,9 до 5,1 г/м² [3]. Рівень розвитку біомаси фітопланктону протягом 2008–2010 рр. коливався у різних ставах від 9,0 до 24,3 г/м³ при середньосезонному показнику 15,2–18,7 г/м³. Біомаса зоопланктону була у межах від 1,0–34,8 г/м³, зообентосу від 0,01–13,83 г/м³, середньосезонний показник відповідно складав 3,8–16,8 г/м³ та 0,12–2,09 г/м³ [4, 5].

Природня кормова база ставів має прямо пропорційний вплив на продуктивність вирощувальних ставів. Серед компонентів кормової бази важливе значення відіграє зоопланктон, його видовий склад, кількісні та якісні показники. У досліджуваних вирощувальних ставах рибгоспу «Рудники» відзначено домінуюче положення гіллястовусих ракоподібних, які переважали як за чисельністю так і за біомасою, особливо на початку вегетаційного періоду. Мінімальні показники біомас зоопланктону не зменшувались нижче 3,35 г/м³. Середньосезонна біомаса зоопланктону за вегетаційний сезон складала 9,14 г/м³ [6]. Одним з дієвих заходів стимулювання розвитку природної кормової бази є внесення органо-мінеральних добрив, які передусім впливають на автотрофний компонент – фітопланктон, що комплексно формує умови для активного розвитку практично всіх компонентів трофічного ланцюга природної кормової бази риб [7].

Методика проведення досліджень. Відбір гідробіологічних проб води здійснювався впродовж вегетаційного періоду 2021–2022 рр. використовуючи загальноприйняті методики [8, 9]. Проби фітопланктону відбирались в районі джерела водопостачання, водоскиду, прибережної частини ставу і центральній його частині з поверхні води ($h - 0,5$ м), проби зливались в одну ємкість з якої відбиралась інтегрована проба об'ємом 1 дм³, фіксація проводилась розчином формальдегіду. Згущення проб проводили методом відстоювання у темному місці протягом 15–20 діб шляхом відсифонування середнього шару води, після чого остаточно замірювали і переносили у менший посуд [10]. Видовий склад визначали за допомогою загальноприйнятих визначників [11–20]. Камеральна обробка проб проводилась за допомогою світлового мікроскопа на лічильній пластині. Біомаса визначалась розрахунково-об'ємним методом [8, 21].

Матеріал для вивчення розвитку зоопланктону здійснювався шляхом проціджування води (50 л) через сітку Джедді з діаметром вхідного кільця – 25 см. Після цього відібраний матеріал фіксувався, а камеральна обробка проб проводилась за допомогою біокуляра на лічильній пластині. Біомаса визначалась розрахунково-об'ємним методом за середніми об'ємами і встановлених індивідуальних біомас зоопланктонних організмів в залежності від розмірних характеристик з літературних джерел [8,

22]. Якісний склад зоопланктону визначався за допомогою спеціальних визначників [23–28].

Зообентос відбирали за допомогою середньої моделі дночерпача Петерсена з площею захоплення 0,025 м². Організми розбирали на таксономічні групи і визначали видову приналежність [29, 30]. М'який бентос зважували на торсіонних терезах ВТ-500.

Роботи виконувались в межах науково-дослідної держбюджетної тематики «Інноваційна ресурсозберігаюча технологія товарного рибництва як складова продовольчої безпеки України», номер державної реєстрації 0121U109533 (2021–2023 рр.); «Розробка і впровадження інноваційних методів, технологій виробництва продукції рибництва» Державний реєстраційний номер: 0120U101914 (2023–2025).

Виклад основного матеріалу. Важливу роль в житті водойм відіграють такі компоненти біоти як фітопланктон, зоопланктон і зообентос. Розвиток природної кормової бази, її видовий склад, динаміка чисельності і біомаси, здатність задовольнити утворюваною органічною речовиною харчові потреби консументів на кожному трофічному рівні – основні умови отримання високоякісного рибопосадкового матеріалу у ставових рибних господарствах.

Фітопланктон вирощувальних ставів характеризувався значним видовим багатством, загальна кількість видів визначених протягом вегетаційного періоду складала 246 представників. Фітопланктон у ставах являється первинною ланкою трофічного ланцюга і являється кормом як для зоопланктону так і для рослиноїдних риб. У вирощувальних ставах розвиток фітопланктону дуже специфічний і має широкі коливання кількісних і якісних показників. Видовий склад планктонних водоростей насамперед зумовлений комплексом факторів середовища, що переважають у даний час в водоймі – температурними умовами, інтенсифікаційними заходами, інтенсивністю радіації, швидкістю водообміну, одночасного вирощування різних видів риб, використання ущільнених посадок. Але, розвиток планктонних водоростей суттєвим чином залежить від ефективності їх споживання білим і строкатим товстолобиком. Таксономічне різноманіття водоростей свідчить про найбільшу частку представників *Chlorophyta* протягом всього періоду досліджень відповідно до періоду вегетаційного сезону (таблиця 1).

Весняний фітопланктон характеризувався більшою часткою в кількісному відношенні представників зелених водоростей, коливаючись по ставам від 31 до 50 %. Серед домінуючих видів найбільше зустрічались *Pediastrum duplex* Meyen, *Scenedesmus ellipticus* Corda, *Scenedesmus obtusus* Meyen, *Schroederia setigera* (Schröder) Lemmermann, *Pseudopediastrum boryanum* (Turpin) E. Hegewald, *Pandorina morum* (O. F. Müller)

Bory, *Oocystis lacustris* Chodat, *Oedogonium* sp., *Monoraphidium irregulare* (G. M. Smith) Komárková-Legnerová.

На другому місці кількісну частку займали представники відділу синьозелених водоростей (Cyanobacteria), коливаючись по ставам від 3 до 11 %. Найбільше зустрічались і мали кількісне домінування *Anabaena sphaerica* Bornet & Flahault, *Merismopedia convolute* Brébisson ex Kützing, *Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing, *Microcystis pulvere*a (H. C. Wood) Forti, *Planktothrix agardhii* (Gomont) Anagnostidis & Komárek.

Діатомові водорості (*Bacillariophyta*) мали другорядне значення коливаючись по ставам від 1 до 3 %, окрім ставу № 5 де за кількісними показниками вони займали домінуюче місце – 17 %. Серед видового складу за кількістю домінували *Achnanthes minutissimum* (Kützing) Czarnecki, *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen, *Melosira varians* C. Agardh, *Navicula radiosa* Kützing, *Nitzschia intermedia* Hantzsch.

Літній фітопланктон характеризувався інтенсивним розвитком всіх відділів водоростей. Домінуюче значення становили зелені водорості (*Chlorophyta*) складаючи кількісну частку від 28 до 50 %, на другому місці відзначенні діатомові водорості (*Bacillariophyta*) коливаючись від 10 до 52 %, третє місце займали представники синьозелених водоростей (*Cyanobacteria*) складаючи протягом вегетаційного періоду по різних ставах від 10 до 20 %. Слід зазначити, що в літній період у ставах інтенсивно починають розвиватись евгленові водорості (*Euglenozoa*), кількість представників досягала до 25 видів, займаючи кількісну частку серед інших відділів водоростей від 5 до 10 %. Серед видового різноманіття евгленових водоростей найбільше зустрічались *Euglena clara* Skuja, *Euglena granulata* (G. A. Klebs) F. Schmitz, *Euglena korshikovi* Gojdic, *Euglena viridis* (O. F. Müller) Ehrenberg, *Lepocinclis fusiformis* (H. J. Carter) Lemmermann, *Phacus caudata* var. *minor* Drezepolski, *Trachelomonas volvocina* (Ehrenberg) Ehrenberg.

В осінньому фітопланктоні збільшилось значення синьозелених водоростей (19–30 %) і зелених водоростей (35–51 %). Натомість різко зменшилась присутність діатомових водоростей, коливання по ставам за кількістю складало від 10 до 15 %. Евгленові водорості мали коливання від 3 до 15 %. Загалом оцінюючи кількісне домінування різних груп водоростей по ставам протягом вегетаційного періоду встановлено, що домінуюче положення належить зеленим водоростям (*Chlorophyta*) – 91 %, друге місце належить діатомовим водоростям (*Bacillariophyta*) – 67 %, на третьому місці кількісну частку займають синьозелені водорості (*Cyanobacteria*) – 34 %, в меншому ступені зустрічались евгленові водорості (*Euglenozoa*) – 25 %. Інші відділи водоростей (*Cryptophyta*, *Miozoa*, *Ochrophyta*, *Charophyta*) займали мінімальну частку за кількістю коливаючись від 3 до 14 %.

Таблиця 1. Видове і таксономічне різноманіття фітопланктону досліджуваних ставів

Відділи	Весна						Літо						Осінь				Всього видів у всіх ставках	
	№4	№5	№9	№10	№11	№16	№2	№9	№10	№11	№12	№15	№16	№1	№3	№14		№15
Cyanobacteria	$\frac{3}{21}$	$\frac{3}{9}$	$\frac{5}{28}$	$\frac{2}{12}$	$\frac{11}{46}$	$\frac{7}{33}$	$\frac{2}{10}$	$\frac{7}{18}$	$\frac{7}{15}$	$\frac{5}{12}$	$\frac{4}{15}$	$\frac{8}{20}$	$\frac{6}{10}$	$\frac{14}{30}$	$\frac{10}{20}$	$\frac{11}{28}$	$\frac{9}{19}$	$\frac{32}{15}$
Bacillariophyta	$\frac{1}{7}$	$\frac{17}{49}$	$\frac{3}{17}$	$\frac{3}{18}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{14}$	$\frac{2}{10}$	$\frac{9}{23}$	$\frac{11}{23}$	$\frac{12}{29}$	$\frac{6}{23}$	$\frac{13}{33}$	$\frac{31}{52}$	$\frac{6}{13}$	$\frac{7}{14}$	$\frac{6}{15}$	$\frac{5}{10}$	$\frac{62}{28}$
Cryptophyta	$\frac{1}{7}$	—	$\frac{2}{11}$	$\frac{2}{12}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{2}{10}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{2}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{12}$	$\frac{2}{5}$	—	—	—	—	$\frac{1}{2}$	$\frac{4}{2}$
Miozoa	—	—	—	—	—	—	—	$\frac{1}{3}$	—	—	—	—	$\frac{2}{3}$	$\frac{1}{2}$	—	—	—	$\frac{3}{1}$
Ochromophyta	—	$\frac{3}{9}$	$\frac{2}{11}$	$\frac{3}{18}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{2}{10}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{2}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{2}{8}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{2}{3}$	—	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{3}{6}$	$\frac{12}{6}$
Charophyta	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{3}$	—	—	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{5}$	—	$\frac{2}{5}$	—	—	—	—	—	—	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{7}{3}$
Chlorophyta	$\frac{7}{50}$	$\frac{11}{31}$	$\frac{6}{33}$	$\frac{7}{41}$	$\frac{9}{38}$	$\frac{8}{38}$	$\frac{10}{50}$	$\frac{11}{28}$	$\frac{21}{45}$	$\frac{19}{45}$	$\frac{11}{42}$	$\frac{14}{35}$	$\frac{18}{30}$	$\frac{20}{43}$	$\frac{25}{51}$	$\frac{18}{45}$	$\frac{22}{46}$	$\frac{77}{35}$
Euglenozoa	$\frac{1}{7}$	—	—	—	—	—	$\frac{2}{10}$	$\frac{5}{13}$	$\frac{4}{9}$	$\frac{4}{10}$	—	$\frac{2}{5}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{5}{11}$	$\frac{5}{10}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{7}{15}$	$\frac{21}{10}$
Сума	$\frac{14}{100}$	$\frac{35}{100}$	$\frac{18}{100}$	$\frac{17}{100}$	$\frac{24}{100}$	$\frac{21}{100}$	$\frac{20}{100}$	$\frac{39}{100}$	$\frac{47}{100}$	$\frac{42}{100}$	$\frac{26}{100}$	$\frac{40}{100}$	$\frac{60}{100}$	$\frac{46}{100}$	$\frac{49}{100}$	$\frac{40}{100}$	$\frac{48}{100}$	$\frac{246}{100}$

Над рискою – кількість видів і внутрішньовидових таксонів даного відділу, під рискою – % від загальної кількості

Оцінюючи динаміку біомас фітопланктону протягом вегетаційного періоду, найбільші показники відзначенні в осінній період (таблиця 2).

Таблиця 2. Динаміка фітопланктону протягом вегетаційного періоду

Станції від- бору проб	Біомаса фітоп- ланктону, г/м ³	Тип фітопланктону	Структура (%) і біомаса відділів
1	2	3	4
Весна (11–12.05.2021 р.)			
Став № 4	0,899	<i>Chlorophyta</i> <i>Cyanobacteria</i> Інші	54 % (0,482) 39 % (0,355) 7 % (0,062)
Став № 5	1,128	<i>Bacillariophyta</i> <i>Chlorophyta</i> Інші	60 % (0,674) 30 % (0,339) 10 % (0,115)
Став № 9	1,467	<i>Cyanobacteria</i> Інші	85 % (1,244) 15 % (0,223)
Став № 10	0,517	<i>Chlorophyta</i> <i>Cyanobacteria</i> Інші	58 % (0,300) 22 % (0,116) 20 % (0,101)
Став № 11	2,257	<i>Chlorophyta</i> Інші	87 % (1,967) 13 % (0,290)
Став № 16	0,818	<i>Chlorophyta</i> Інші	67 % (0,548) 33 % (0,270)
Літо (24.06.2021 р.)			
Став № 2	0,649	<i>Chlorophyta</i> Інші	75 % (0,487) 25 % (0,162)
Став № 9	9,960	<i>Cyanobacteria</i> Інші	71 % (7,119) 29 % (2,841)
Став № 10	9,251	<i>Euglenozoa</i> <i>Chlorophyta</i> Інші	44 % (4,047) 31 % (2,897) 25 % (2,307)
Став № 11	14,430	<i>Chlorophyta</i> Інші	64 % (9,253) 36 % (5,175)
Став № 12	0,797	<i>Chlorophyta</i> Інші	77 % (0,612) 23 % (0,185)
Став № 15	1,680	<i>Bacillariophyta</i> <i>Cyanobacteria</i> Інші	44 % (0,741) 33 % (0,556) 23 % (0,383)
Став № 16	4,140	<i>Chlorophyta</i> <i>Bacillariophyta</i> Інші	39 % (1,625) 38 % (1,565) 23 % (0,953)
Осінь (03.09.2021 р.)			
Став № 1	63,227	<i>Cyanobacteria</i> Інші	61 % (38,476) 39 % (24,751)
Став № 3	23,846	<i>Chlorophyta</i> <i>Cyanobacteria</i> Інші	40 % (9,618) 27 % (6,444) 33 % (7,784)

Продовження таблиці 2

1	2	3	4
Став № 14	20,031	<i>Bacillariophyta</i> <i>Cyanobacteria</i> <i>Euglenozoa</i> Інші	35 % (6,968) 32 % (6,380) 28 % (5,571) 5 % (1,112)
Став № 16	102,542	<i>Chlorophyta</i> <i>Cyanobacteria</i> Інші	42 % (43,226) 30 % (30,597) 28 % (28,719)

У ставі № 3 і № 4 були найменші показники, складаючи відповідно 20,03–23,85 г/м³. Найбільші біомаси фітопланктону відзначені у ставі № 16, становлячи 102,54 г/м³. Такі високі біомаси забезпечувались інтенсивним розвитком в цей період зелених і синьозелених водоростей, частка яких відповідно складала 30–42 %. Основними домінуючими видами, які формували високі показники, були *Aphanizomenon flosaquae* Ralfs ex Borynet & Flahault, *Microcystis aeruginosa* (Kützinger) Kützinger, *Merismopedia convolute* Brébisson ex Kützinger, *Oscillatoria planctonica* Woloszyńska, *Oscillatoria tenuis* C. Agardh ex Gomont, *Oocystis lacustris* Chodat, *Pandorina morum* (O.F. Müller) Bory, *Pediastrum duplex* Meyen, *Pseudopediastrum boryanum* (Turpin) E. Hegewald, *Scenedesmus ellipticus* Corda, *Scenedesmus obtusus* Meyen. Зважаючи на високі біомаси водоростей в осінній період на фоні інтенсивного розвитку відповідних фітопланктонних угруповань, існує проблема значного невикористаного кормового ресурсу для вирощуємо рибопосадкового матеріалу, що може бути пов'язано з анатомічною будовою зябрового апарату товстолобиків в цей період з огляду на їх відціджувальні властивості і розмірним рядом домінуючих видів планктонних водоростей, які ефективно не використовуються в живленні рибопосадковим матеріалом, що вимагає додаткових досліджень і уточнень.

Весняний фітопланктон за біомасами по ставам коливався в незначному ступені від 0,81 до 2,26 г/м³.

Найбільша частка за біомасою в цей період належить зеленим водоростям коливаючись від 30 до 87 %, другорядне значення завжди мали синьо-зелені водорості, складаючи відповідно від 22 до 85 %. В окремих випадках домінуюче положення займали діатомові водорості, досягаючи за біомасою до 60 % (став № 5).

Біомаси фітопланктону по ставам в літній період дуже різнились. Найменші концентрації фітопланктонних угруповань відмічені у ставках: № 2 (0,5 г/м³), став № 12 (0,797 г/м³) і став № 15 (1,68 г/м³), що є вкрай низькими показниками для вирощування рибопосадкового матеріалу і вимагає додаткового стимулювання розвитку водоростей як кормового об'єкту за рахунок внесення органіко-мінеральних добрив. Інші стави

характеризувались середніми значеннями біомаси фітопланктону на рівні 4,14–14,43 г/м³.

Загалом оцінюючи динаміку розвитку фітопланктону у вирощувальних ставках протягом вегетаційного періоду, весняно-літній фітопланктон за біомасами не відповідає нормативним значенням вирощування рибопосадкового матеріалу для даної кліматичної зони півдня України.

Натомість восени біомаси фітопланктону мають надмірні величини більше 60 г/м³ досягаючи максимальних значень 102,54 г/м³ у ставі № 16, що з одного боку свідчить про низьку ефективність використання кормової бази споживачами, а з другого боку виникає загроза погіршення екологічного стану і якості води що може призвести до негативних наслідків – евтрофікації і заморних явищ.

Значення зоопланктону в трансформації енергії і біотичному круговороті речовин, що визначають продуктивність водойм, дуже вагоме. Планктонні безхребетні складають основу поживи молоді всіх видів риб, а також являються основою поживи риб зоопланктофагів, мирні зоопланктоні безхребетні тварини живляться бактеріями, детритом та водоростями. Таким чином, зоопланктон діє як природний бактеріальний фільтр. Він помітно впливає на чисельність фотосинтезуючих водоростей фітопланктону, регулюючи кисневий режим. Зоопланктоні організми – це основний збалансований за показниками вмісту поживних речовин, корм для личинок, молоді та дорослих риб – зоопланктофагів, тому їх значення у ставках дуже вагоме з огляду на отримання високоякісного рибопосадкового матеріалу для наступної інтродукції у природні водойми України.

Видовий склад зоопланктону досліджуваних ставів протягом вегетаційного періоду був майже однорідним і налічував 28 представників різних відділів зоопланктону не враховуючи наупліальні форми і яйця зоопланктону (таблиця 3).

Найбільше у складі зоопланктону були присутні коловертки – 12 видів, за ними домінуючу положення займали веслоногі і ракушкові ракоподібні відповідно 10 і 5 екз., найменше зустрічались представники гіллястовусих ракоподібних – 2 екз.

Зустрічаємість представників гіллястовусих ракоподібних протягом сезону (*Harpacticus* Milne Edwards H., 1840, *Diaptomus* Westwood 1836, Nauplius), була відмічена у всіх ставках в різній кількості і біомасі. На початку вегетаційного періоду в ставках мали розвиток 13 представників різних відділів зоопланктону, найбільше видів було відмічено в літній період – 26 екз. Наприкінці вегетаційного періоду ракушкові ракоподібні втратили своє значення, в меншому ступені зустрічались веслоногі ракоподібні. На відміну від інших представників зоопланктону від початку до кінця вегетаційного періоду коловертки мали тенденцію до нарощування присутності.

Таблиця 3. Видовий склад зоопланктону вирощувальних ставів

Copepoda	Весна	Літо	Осінь
<i>Harpacticus</i> Milne Edwards H., 1840	+	+	+
<i>Diaptomus</i> Westwood, 1836	+	+	+
Nauplius	+	+	+
ROTIFERA			
<i>Lecane bulla</i> (Gosse, 1851)		+	+
<i>Brachionus leydigii</i> Cohn, 1862		+	+
<i>Brachionus quadridentatus</i> Hermann, 1783		+	+
<i>Brachionus urceus</i> (Linnaeus, 1758)			+
<i>Mytilina ventralis</i> (Ehrenberg, 1830)		+	+
<i>Philodina citrina</i> Ehrenberg, 1832		+	+
<i>Synchaeta pectinata</i> Ehrenberg 1832		+	+
<i>Polyarthra platyptera</i> Ehrenberg, 1838	+	+	+
<i>Keratella cochlearis</i> (Gosse, 1851)	+		+
<i>Asplanchna priodonta</i> (Gosse, 1850)	+	+	+
<i>Reticula melandocus</i> (Gosse, 1887)		+	+
<i>Filinia longiseta</i> (Ehrenberg, 1834)	+	+	+
CLADOCERA			
<i>Polyphemus pediculus</i> (Linnaeus, 1761)		+	
<i>Eurycercus lamellatus</i> (O.F. Müller, 1776)		+	+
<i>Bosmina longirostris</i> (O.F. Müller, 1776)	+		+
<i>Bosmina coregoni</i> P.E. Müller, 1867	+	+	
<i>Ceriodaphnia quadrangula</i> (O.F. Müller, 1785)	+	+	+
<i>Chydorus sphaericus</i> (O.F. Müller, 1776)	+	+	+
<i>Daphnia longispina</i> (O.F. Müller, 1776)	+	+	
<i>Moina macrocopa</i> (Straus, 1820)	+	+	
<i>Moina brachiata</i> (Jurine, 1820)			+
<i>Leydigia leydigi</i> (Schödler, 1863)	+	+	
OSTRACODA			
<i>Candona candida</i> (O.F. Müller, 1776)		+	
<i>Notodromas monacha</i> (O.F. Müller, 1776)		+	
<i>Cypridopsis vidua</i> O.F. Müller, 1776		+	
<i>Dolerocypris sinensis</i> G.O. Sars, 1903		+	
Яйця зоопланктону		+	

На початку вегетаційного періоду у вирощувальних ставах домінували веслоногі ракоподібні як за кількісними так і за масовими показниками. Найбільшу частку становили *Bosmina coregoni* P. E. Müller, 1867, *Moina macrocopa* (Straus, 1820) і *Daphnia longispina* (O. F. Müller, 1776), займаючи відповідно за біомасою 60,6 %, 23,01 % і 6,34 %. При цьому значну частку за кількісними показниками – 14,0 % займали представники коловороток – *Polyarthra platyptera* Ehrenberg, 1838, але внаслідок мілких розмірів в біомас займали незначну частку – 0,1 %, проте їх присутність має важливе значення

при зарибленні ставів личинкою коропових, ротовий апарат яких ще не в змозі захопити крупні форми веслоногих і гіллястовусих ракоподібних.

В літній період інтенсивного розвитку зоопланктону (липень – червень) спостерігався інтенсивний розвиток гіллястовусих ракоподібних, коловерток, веслоногих ракоподібних, наупліальних форм гіллястовусих рачків, але найбільша частка в біомасі належала яйцям зоопланктерів.

В порівнянні з весняно-літнім періодом, наупліальні форми зоопланктону досягали своїх максимальних показників за чисельністю і біомасою в осінній період, складаючи частку за масовими показниками на рівні 26,6 %, а за кількістю – 58,2 %. Коловертки майже повністю зникли в літній період, досягаючи за масою 15,6 % від загального зоопланктону, восени їх частка скоротилася до 1 %. Натомість веслоногі ракоподібні складали найбільшу частку за біомасою – 58,6 % за рахунок *Bosmina longirostris* (O. F. Müller, 1776) – 31,9 %, *Eurycerus lamellatus* (O. F. Müller, 1776) – 16,4 %, *Chydorus sphaericus* (O. F. Müller, 1776) – 10,2 %. Біомаси зоопланктону вирощувальних ставів дуже різнились, у весняний період інтенсивної вегетації біомаси зоопланктону коливались від 7,83 до 96,37 г/м³. Такі високі біомаси спричиненні масовим розвитком веслоногих ракоподібних – *Bosmina coregoni* P. E. Müller, 1867, досягаючи у ставах від 3,96 до 41,07 г/м³ від загальної біомаси (таблиця 4).

Максимальні біомаси зоопланктону відзначені у ставі № 16, де наряду з *Bosmina coregoni* P. E. Müller, 1867 – 41,07 г/м³, високі біомаси мали *Moina macrocopa* (Straus, 1820) – 16,18 г/м³, *Daphnia longispina* (O. F. Müller, 1776) – 14,79 г/м³, *Harpacticus* Milne Edwards H., 1840 – 8,95 г/м³, *Diaptomus* Westwood, 1836 – 1,59 г/м³.

Протягом літнього періоду, після зариблення ставів личинкою коропових видів риб, концентрація зоопланктону по ставам була більш вирівняною і коливалася від 5,68 до 72,51 г/м³, але все одно мала дуже нетипово високі показники, що являється свідченням високопродуктивних умов існування (гідролого-гідрохімічний режим, гідробіологічний режим, харчова забезпеченість), а з іншого боку – недостатньої кількості ефективних споживачів у вигляді білого і строкатого товстолобика, які в ранньому онтогенезі переважно споживають фітопланктон і зоопланктон.

В липні спостерігається помітне скорочення концентрації зоопланктону на рівні 13,62 г/м³, що яскраво демонструє перехід малька на інтенсивне споживання зоопланктону, але не зважаючи на це – остаточні біомаси залишались на високому рівні. Коливання середніх біомас по ставам коливались від 5,68 до 96,37 г/м³, становлячи в середньому по ставам в літній період – 44,43 г/м³.

Наприкінці вегетаційного періоду рівень розвитку зоопланктону мав найнижчі показники біомас в порівнянні з весняно-літнім періодом знижу-

Таблиця 4. Біомаса зоопланктону у вирощувальних ставах протягом вегетаційного періоду, г/м³

Видовий склад	Весна					Літо					Осінь				
	№ 10	№ 11	№ 16	№ 5	№ 6	№ 7	№ 8	№ 9	№ 10	№ 11	№ 12	№ 15	№ 2	№ 1	№ 3
COPEPODA															
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	8
<i>Harpacticus</i> Milne Edwards H., 1840	0,38	0,62	8,95		0,21	1,44	0,31		0,82	1,54		0,82	1,06	0,14	0,57
<i>Diaptomus Westwood</i> , 1836	1,52	1,42	1,59	1,14	0,00	7,44	10,10	3,19	0,32			1,18	0,43	0,71	5,85
Nauplius		0,37	0,00	1,77	1,06	4,11	0,39	0,77	1,02	0,30		3,71	0,00	0,31	0,81
ROTIFERA															
<i>Lecane bulla</i> (Gosse, 1851)						0,12	0,04					0,05	0,12		0,03
<i>Brachionus leydigii</i> (Cohn, 1862)						0,10			0,08	0,07		0,04			
<i>Brachionus quadridentatus</i> (Hermann, 1783)						0,07		0,21	0,00			0,08			
<i>Brachionus urceus</i> (Linnaeus, 1758)												0,02			
<i>Mytilina ventralis</i> (Ehrenberg, 1830)						0,27	0,14	0,07	0,13	0,22					
<i>Philodina citrina</i> (Ehrenberg, 1832)						0,14	0,05	0,14							
<i>Synchaeta pectinata</i> (Ehrenberg 1832)						0,22	0,22								
<i>Polyarthra platyptera</i> (Ehrenberg, 1838)	0,18											0,02			
<i>Keratella cochlearis</i> (Gosse, 1851)												0,01			
<i>Asplanchna priodonta</i> (Gosse, 1850)	0,76	0,23		1,71		0,34	0,17	0,34							0,09
<i>Resticula melandocus</i> (Gosse, 1887)												2,13			
<i>Filinia longiseta</i> (Ehrenberg, 1834)												0,01			
CLADOCERA															
<i>Polyphemus pediculus</i> (Linnaeus, 1761)					2,61	2,09									
<i>Eurycerus lamellatus</i> (O.F. Müller, 1776)						14,71	1,03						2,29	2,06	
<i>Bosmina longirostris</i> (O.F. Müller, 1776)						17,38							4,46		
<i>Bosmina coregoni</i> (P.E. Müller, 1867)	3,96	6,69	41,07					38,78	3,09	4,01					

Продовження таблиці 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<i>Ceriodaphnia quadrangula</i> (O.F. Müller, 1785)						2,67					0,04			
<i>Chydorus sphaericus</i> (O.F. Müller, 1776)	0,16	0,07	0,54			1,34	0,75				1,43			
<i>Daphnia longispina</i> (O.F. Müller, 1776)	0,15	0,92	14,79		15,97	8,02	2,17		0,15	0,20				
<i>Moina macrocarpa</i> (Straus, 1820)	0,72	0,65	16,18		76,52	6,69	12,59	3,87						0,02
<i>Moina brachiata</i> (Jurine, 1820)													0,01	
<i>Leydigia leydigi</i> (Schödler, 1863)				3,29		5,34								
OSTRACODA														
<i>Candona candida</i> (O.F. Müller, 1776)							1,24	0,34	0,07	0,04				
<i>Notodromas monacha</i> (O.F. Müller, 1776)							0,48							
<i>Cypridopsis vidua</i> (O.F. Müller, 1776)							0,66	0,12						
<i>Dolerocypris sinensis</i> (G.O. Sars, 1903)							0,24							
Яйця зоопланктону										5,06				
Всього:	7,83	10,96	83,12	7,91	96,37	72,51	30,57	47,83	5,68	13,63	14,08	3,55	1,23	7,35

ючись до 1,23–14,08 г/м³, що притаманно для даного періоду. Слід відмітити, практично повне виключення зі складу зоопланктону представників веслоногих ракоподібних, які протягом весняно-літнього періоду склали основу біомаси, а восени на заміну їм домінуючими були гіллястовусі ракоподібні, складаючи до 5,85 г/м³.

Видовий склад зообентосу вирощувальних ставів був доволі однаковим і формувався за рахунок в основному личинок двокрилих комах – хірономід, та малощетинкових червів-олігохет. Наявність у деяких пробах личинок водних жуків, бабок була спорадичною і суттєвого значення не мала.

Біомаси характеризувалися дуже близькими, майже однаковими величинами. У всіх вирощувальних ставах спостерігалось закономірне поступове зниження біомаси зообентосу від травня до серпня. Особливо відчутно це торкнулося личинок хірономід внаслідок вильоту імагінальних стадій комах та інтенсивного споживання їх коропом.

Зообентос вирощувальних ставів був представлений личинками хірономід, олігохетами, личинками одноденок та бабок. Середньосезона біомаса змінювалася в межах від 1,9 г/м² до 5,0 г/м² (таблиця 5).

Максимальні показники відмічалися у червні місяці, що досягалося за рахунок масового розвитку *Chironomus plumosus* (Linnaeus, 1758).

Проте вже на початку липня, коли інтенсивність споживання зообентосу цюголітками коропа починає зростати, біомаса різко зменшувалася, що чинило відповідний вплив на кількісний склад.

Коливання біомаси в цей період становило від 3,2 до 7,8 г/м², складаючи в середньому 5,66 г/м². В липні біомаси зообентосу складали від 2,5 до 6,0 г/м², в середньому 4,01 г/м².

Зменшення біомас зообентосу відчутне в серпні місяці, коливаючись на рівні 1,4–4,5 г/м², а мінімальні їх показники відмічені у вересні від 0,7 до 2,4 г/м².

Порівнюючи динаміку розвитку зообентосу у ставах протягом вегетаційного періоду, слід відзначити рівномірний характер концентрації бентичних організмів на відміну від планктонних, які мали нетипові показники динаміки біомас як протягом вегетаційного періоду так і по ставах.

Висновки. Фітопланктон вирощувальних ставів характеризувався значним видовим багатством, загальна кількість видів визначених протягом вегетаційного періоду складала 246 представників. Домінуюче положення різних груп водоростей по ставах протягом вегетаційного періоду належить зеленим водоростям (*Chlorophyta*) – 91 %, друге місце – діатомовим водоростям (*Bacillariophyta*) – 67 %, на третьому місці кількісну частку займають синьо-зелені водорості (*Cyanobacteria*) – 34 %, в меншому ступені зустрічались евгленові водорості (*Euglenozoa*) – 25 %. Інші

Таблиця 5. Динаміка біомаси (г/м³) зообентосу
у вирощувальних ставах

№ ставів	місяці				Середньо-сезонна
	червень	липень	серпень	вересень	
№ 1	6,8	4,3	2,5	1,2	3,7
№ 2	4,5	3,9	2,0	0,8	2,8
№ 3	7,3	5,8	4,4	1,3	4,7
№ 4	5,5	3,6	1,8	0,7	2,9
№ 5	7,0	3,8	2,4	1,2	3,6
№ 6	5,5	4,2	3,1	0,8	3,4
№ 7	7,8	6,0	3,8	2,1	4,9
№ 8	3,2	2,5	1,4	0,35	1,9
№ 9	6,4	4,4	1,85	1,32	3,5
№ 10	7,4	5,6	4,5	2,4	5,0
№ 12	5,2	2,6	1,5	0,45	2,4
№ 13	4,3	4,0	3,4	1,56	3,3
№ 14	4,8	2,6	1,58	0,56	2,4
№ 15	3,6	2,8	1,64	1,2	2,3

відділи водоростей (*Cryptophyta*, *Miozoa*, *Ochrophyta*, *Charophyta*) займали мінімальну частку за кількістю коливаючись від 3 до 14 %. Зважаючи на високі біомаси водоростей в осінній період на фоні інтенсивного розвитку відповідних фітопланктонних угруповань, існує проблема значного невикористаного кормового ресурсу для вирощуемого рибопосадкового матеріалу. Це може бути пов'язано з анатомічною будовою зябрового апарату товстолобиків в цей період з огляду на їх відціджувальні властивості і розмірним рядом домінуючих видів планктонних водоростей, які ефективно не використовуються в живленні рибопосадкового матеріалу, що вимагає додаткових досліджень і уточнень. Весняно-літній фітопланктон за біомасами не відповідає нормативним значенням вирощування рибопосадкового матеріалу для даної кліматичної зони півдня України. Восени біомаси фітопланктону мали надмірні величини більше 60 г/м³ досягаючи максимальних значень 102,54 60 г/м³ у ставі № 16, що з одного боку свідчить про низьку ефективність використання кормової бази споживачами і трансформацією в іхтіомасу, а з другого боку виникає загроза погіршення екологічного стану і якості води що може призвести до негативних наслідків – евтрофікації і заморних явищ. Біомаси зоопланктону вирощувальних ставів дуже різнились, у весняний період інтенсивної вегетації біомаси зоопланктону коливались від 7,83 до 96,37 г/м³. Протягом літнього періоду, після зариблення ставів личинкою коропових видів риб, концентрація зоопланктону по ставам була більш вирівняною і коливалася від 5,68 до 72,51 г/м³, але все одно мала дуже нетипово високі показники, що явля-

ється свідченням високопродуктивних умов існування (гідролого-гідрохімічного режиму, гідробіологічного режиму, харчовою забезпеченістю), а з іншого боку – недостатньої кількості ефективних споживачів у вигляді білого і строкатого товстолобика, які в ранньому онтогенезі переважно споживають фітопланктон і зоопланктон. Наприкінці вегетаційного періоду рівень розвитку зоопланктону мав найнижчі показники біомас в порівнянні з весняно-літнім періодом знижуючись до 1,23–14,08 г/м³.

Зообентос вирощувальних ставів було представлений личинками хірономід, олігохетами, личинками одноденок та бабок. Середньосезона біомаса змінювалася в межах від 1,9 г/м² до 5,0 г/м². У всіх вирощувальних ставах спостерігалось закономірне поступове зниження біомаси зообентосу від червня до вересня. Особливо відчутно це торкнулося личинок хірономід внаслідок вильоту імагінальних стадій комах та інтенсивного споживання їх коропом. Порівнюючи динаміку розвитку зообентосу у ставах протягом вегетаційного періоду, слід відзначити рівномірний характер концентрації бентичних організмів на відміну від планктонних, які мали не типові показники динаміки біомас як протягом вегетаційного періоду так і по ставам.

NATURAL FEED BASE OF THE GROWING PONDS OF THE KHERSON PRODUCTION AND EXPERIMENTAL PLANT FOR BREEDING OF THE ORDINARY FISH

*Kutishchev P.S. – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor,
Honcharova O.V. – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor,
Kherson State Agrarian And Economic University,
kutishev_p@ukr.net*

Conducted research on the basis of the breeding ponds of the Kherson production and experimental plant for breeding of the ordinary fish indicate atypical dynamics of the development of the components of the natural feed base. Such aspects form a low fodder potential, as a result of which they create a threat to ensure obtaining high-quality fish planting material for introduction into the lower Dnipro, which is the main criterion for the adaptation period in new living conditions.

Analysis of the results of the level of development of fodder resources during the growing season indicates low biomass of phytoplankton in ponds in the spring-summer period, respectively 0.517–2.257 g/m³, 4.14–14.43 g/m³. In autumn, excessive values of more than 60 g/m³ were noted, reaching maximum values 102.54 g/m³. The results of practical studies show that the biomass of zooplankton in breeding ponds varied greatly, in the spring period of intensive vegetation, the biomass of zooplankton ranged from 7.83 to 96.37 g/m³. At the end of the growing season, the level of zooplankton development had the lowest biomass indicators compared to the spring-summer period, decreasing to 1.23–14.08 g/m³. The average seasonal biomass of zoobenthos varied

from 1.9 g/m² to 5.0 g/m², characterizing the uniform dynamics of benthic organisms, in contrast to planktonic ones, which had atypical indicators of biomass dynamics both during the growing season and after ponds.

The results of the conducted research indicate the need to stimulate the natural fodder base by adding organic-mineral fertilizers to low-productivity ponds in the spring-summer period, changing the strategy of forming the composition of the polyculture in accordance with the productivity of the breeding ponds according to the level of development of fodder hydrobionts.

Macrophytes, phytoplankton, zooplankton and zoobenthos are the main feed objects in fish breeding ponds. They are the main food objects for herbivorous carp species of fish. The viability of larvae and younger age groups is determined by the level of metabolism, which reflects the living conditions and the level of provisioning of the food base of fish. The natural fodder base of ponds is a part of fodder resources and is a collection of hydrobionts, products of their decay (detritus), which are in the reservoir and are used directly as food for hydrobionts. Taking into account the obtained results, it was noted that the main task of specialists of fish farming enterprises is to optimally and tirelessly use feed resources with the aim of transforming them into a fodder base of ponds by simultaneously growing different types of fish – polyculture, using compacted plantings, intensification measures.

Key words: hydrobiological regime, fish ponds, carp, fish planting material, natural fodder base of ponds.

ЛІТЕРАТУРА

1. Donald J. McQueen, John R. Post, Edward L. Mills. Trophic Relationships in Freshwater Pelagic Ecosystems. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 1986. Vol. 43(8). pp. 1571–1581.
2. Лошкова Ю. М. Гідробіологічний режим ставів при вирощуванні дволітків корошових як рибопосадкового матеріалу для вселення у пониження Дніпра. *Таврійський науковий вісник*. 2014. Вип. 89. С. 171–175.
3. Алхімова Ю. М. Екологічна оцінка стану рибогосподарських ставів при вирощуванні корошових риб у Херсонській області. *Таврійський науковий вісник*. 2022. Вип. 126. С. 283–289.
4. Алхімова Ю. М., Поліщук В. С. Оцінка впливу розвитку кормової бази на рибопродукційні показники ставів. *Таврійський науковий вісник*. 2012. Вип. 80. С. 216–220.
5. Шерман І. М., Данильчук Г. А., Незнамов С. О., Лошкова Ю. М., Воліченко Ю. М. Екологія та технологія виробництва рибопосадкового матеріалу корошових в умовах Півдня України : наук. монографія. Херсон: Грінх Д.С. 2014. 228 с.
6. Muñoz R., Gonzalez-Fernandez C. Microalgae-Based Biofuels and Bioproducts. Woodhead Publishing. 2017. 560 p.
7. Kravets S.I. et al. Natural forage base and its impact on productivity of nursery ponds. *Sci. Messenger LNU Vet. Med. Biotechnol*. 2016. Vol. 18, no. 2. PP. 116–119.

8. Чужма Н. П., Базаєва А. М., Хижняк М. І. Розвиток фіто- і зоопланктону вирощувальних ставів при удобренні їх біогумусом і “Рівермом”. Рибогосподарська наука України. № 4. 2011. С. 19–25.
9. Кражан С. А. Хижняк М. І. Природна кормова база рибогосподарських водойм: навчальний посібник. Київ: Аграрна освіта. 2014. С. 333.
10. Шерман І. М., Хижняк М. І., Кутіщев П. С. Живлення та годівля риб: підручник. Херсон: ФОП Вишемирський В.С. 2021. 628 с.
11. Щербак В. І. Методи досліджень фітопланктону. Методичні основи гідробіологічних досліджень водних екосистем. Київ: 2002. С. 41–47.
12. López-Hernández J.-F., Kean-Meng T., Asencio-Alcudia G.-G., Asyraf-Kassim M., Alvarez-González C.-A., Márquez-Rocha F.-J. Sustainable Microalgae and Cyanobacteria Biotechnology. *Appl. Sci.* 2022, 12. PP. 68-87.
13. Матвієнко О. М., Литвиненко Р. М. Пірофітові водорості. Київ: Наук. Думка. 1977. 386 с.
14. Матвієнко О. М., Догадіна Т. В. Визначник прісноводних водоростей Української РСР. Жовтозелені водорості: Київ: Наук. Думка. 1978. 600 с.
15. Кондратьєва Н. В. Визначник прісноводних водоростей Української РСР. Синьо-зелені водорості: Київ: Наук. Думка. 1968. 524 с.
16. Charis M., Galanakis T. Microalgae Cultivation, Recovery of Compounds and Applications, 1st Edition Academic Press. 2020. 454 p.
17. Cameron K. Plant Atlas. Paperback. Benchmark Education Company Benchmark Education Company. 2002. 32 p.
18. Асаул З. І. Визначник евгленових водоростей Української РСР. Київ: Наукова Думка. 1975. 407 с.
19. Топачевський О. В., Оксіюк О. П. Визначник прісноводних водоростей Української РСР. Діатомові водорості. Київ.: Наукова Думка. 1960. 411 с.
20. Robert G., Sheath D. Introduction to the Freshwater Algae. Elsevier Inc. Academic Press. 2015. PP. 1–11.
21. Chorus I., Bartrum J. Toxic Cyanobacteria in Water. Spon press, London and New York. 2002. 210 p.
22. Хижняк М. І., Кражан С. А., Рудик-Леуська Н. Я., Кутіщев П. С. Біопродуктивність водних екосистем : посібник. Київ: ФОП Ямчинський О.В. 2020. 461 с.
23. Гринь Г. В. Об’ємно-вагова характеристика провідних видів фітопланктону нижнього Дніпра. Питання екології і фенології водних організмів Дніпра. К. Вид-во АН УРСР. 1963. С. 35–40.
24. Монченко В. І. Щелепнороті циклоподібні, циклопи. Київ: Наукова думка. 1974. 450 с.
25. Bruce-Conn D. Atlas of Invertebrate. Reproduction and Development 1st Edition. 1991. 272 p.

26. Anagnostidis K., Komarek J. Modern approach to the classification system of cyanophytes. Introduction. *Archiv fur Hydrobiologie*, Suppl. 71. Algalogical Studies. 1985. PP. 291–302.
27. Benítez-Díaz Mirón M.I. et al. Biomass, size structure and trophic compartments of the metazooplankton in the Sontecomapan Lagoon (Veracruz, Mexico). *Ecol. Sontecomapan Lagoon*, Veracruz. 2020. PP. 155–176.
28. Benítez-Díaz Mirón M.I. et al. Long-term changes in zooplankton biomass concentration and mean size over the Northwest European shelf inferred from Continuous Plankton Recorder data. *Est. J. Ecol.* 2014. Vol. 63, no. 4. PP. 232–241.
29. Watkins J., Rudstam L., Holeck K. Length-weight regressions for zooplankton biomass calculations. A review and a suggestion for standard equations. *Cornell Biol. F. Stn. Publ. Reports*. 2011. PP. 17.
30. Шерман І. М., Хижняк М. І., Кутіщев П. С., Кражан С. А. Живлення та годівля риб : підручник. Херсон: ФОП Вишемирський В.С. 2021. 628 с.
31. Henry K., Townes Jr. The Nearctic Species of Tendipedini. Diptera, Tendipedidae (Chironomidae). *The American Midland Naturalist*. Published By: The University of Notre Dame. 1945. Vol. 34, no. 1. 206 p.

REFERENCES

1. Donald J. McQueen, John R. Post, Edward L. Mills (1986). Trophic Relationships in Freshwater Pelagic Ecosystems. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, vol. 43(8), 1571–1581.
2. Loshkova Yu. M. (2014). *Hidrobiolohichniy rezhym staviv pry vyroshchuvanni dvolitkiv koropovykh yak ryboposadkovoho materialu dlia vselenia u ponyzzia Dnipro* [Hydrobiological regime of ponds during the cultivation of two-year-old carp as fish stocking material for stocking in the lower reaches of the Dnipro]. *Tavriysk Scientific Bulletin*, Vol. 89, 171–175. [in Ukrainian].
3. Alkhimova Yu. M. (2022). *Ekolohichna otsinka stanu rybohospodarskykh staviv pry vyroshchuvanni koropovykh ryb u Khersonskii oblasti* [Ecological assessment of the condition of fishing ponds during the cultivation of carp fish in the Kherson region]. *Tavriysk Scientific Bulletin*, Vol. 126, 283–289. [in Ukrainian].
4. Alkhimova Yu. M., Polishchuk V. S. (2012). *Otsinka vplyvu rozvytku kormovoi bazy na ryboproduktsiini pokaznyky staviv* [Assessment of the influence of the development of the fodder base on fish production indicators of ponds]. *Tavriysk Scientific Bulletin*, Vol. 80, 216–220. [in Ukrainian].
5. Sherman I. M., Danylchuk H. A., Neznamov S. O., Loshkova Yu. M., Volichenko Yu. M. (2014). *Ekolohiia ta tekhnolohiia vyrobnytstva ryboposad-*

- kovoho materialu koropovykh v umovakh Pivdnia Ukrainy* [Ecology and technology of production of fish planting material of carp in the conditions of Southern Ukraine]. Monohrafiia. Kherson: Hrin D.S. [in Ukrainian].
6. Muñoz R., Gonzalez-Fernandez C. (2017). *Microalgae-Based Biofuels and Bioproducts*. Woodhead Publishing.
 7. Kravets S. I. et al. (2016). Natural forage base and its impact on productivity of nursery ponds. *Sci. Messenger LNU Vet. Med. Biotechnol*, Vol. 18, no. 2, 116–119.
 8. Chuzhma N. P., Bazaieva A. M., Khyzhniak M. I. (2011). *Rozvytok fito- i zooplanktonu vyroshhuval'nyh staviv pry udobrenni i 'h biogumusom i "Rivermom"* [Development of phyto- and zooplankton in breeding ponds when fertilized with biohumus and «Riverm»]. *Fisheries science of Ukraine*, no. 4, 19–25. [in Ukrainian]
 9. Krazhan S. A., Khyzhniak M. I. (2014). *Pryrodna kormova baza rybo-hospodarkykh vodoim* [Natural fodder base of fishing ponds]. Navchalnyi posibnyk. Kyiv: Ahrarna osvita. [in Ukrainian].
 10. Sherman I. M., Khyzhniak M. I., Kutishchev P. S. (2021). *Zhyvlennia ta hodivlia ryb* [Food and feeding of fish]. Pidruchnyk. Kherson: FOP Vyshe-mytskyi V.S. [in Ukrainian].
 11. Shcherbak V. I. (2002). *Metody doslidzhen fitoplanktonu* [Phytoplankton research methods]. *Metodychni osnovy hidrobiolohichnykh doslidzhen vodnykh ekosystem*. Kyiv. PP. 41–47. [in Ukrainian].
 12. López-Hernández J.-F., Kean-Meng T., Asencio-Alcudia G.-G., Asyraf-Kas-sim M., Alvarez-González C.-A., Márquez-Rocha F.-J. (2022). Sustainable Microalgae and Cyanobacteria Biotechnology. *Appl. Sci.*, 12, 68–87.
 13. Matviienko O. M., Lytvynenko R. M. (1977). *Pirofitovi vodorosti* [Pyrophyte algae]. Kyiv: Nauk. dumka. [in Ukrainian]
 14. Matviienko O. M., Dohadina T. V. (1978). *Vyznachnyk prysnovodnykh vodorostei Ukrainskoi RSR. Zhovtozeleni vodorosti* [Determinant of fresh-water algae of the Ukrainian SSR H. Yellow-green algae]. Kyiv: Nauk. dumka. [in Ukrainian].
 15. Kondratieva N. V. (1968). *Vyznachnyk prysnovodnykh vodorostei Ukrainskoi RSR. Sino-zeleni vodorosti* [Determinant of freshwater algae of the Ukrainian SSR. Blue-green algae]. Kyiv: Nauk. dumka. [in Ukrainian].
 16. Charis M., Galanakis T. (2020). *Microalgae Cultivation, Recovery of Compounds and Applications*, 1st Edition Academic Press.
 17. Cameron K. (2002). *Plant Atlas*. Paperback. Benchmark Education Company Benchmark Education Company.
 18. Asaul Z. I. (1975). *Vyznachnyk evhlenovykh vodorostei Ukrainskoi RSR* [Determinant of euglenaceous algae of the Ukrainian SSR]. Kyiv. Nauk. dumka. [in Ukrainian].

19. Topachevskyi O. V., Oksiiuk O. P. (1960). *Vyznachnyk prysnovodnykh vodorostei Ukrainskoi RSR Diatomovi vodorosti* [Determinant of freshwater algae of the 11th Ukrainian SSR. Diatom algae]. Kyiv: Nauk. dumka. [in Ukrainian].
20. Robert G., Sheath D. (2015). Introduction to the Freshwater Algae. Elsevier Inc. Academic Press, PP.1–11.
21. Chorus I. and Bartrum J. (2002). Toxic Cyanobacteria in Water. Spon press, London and New York.
22. Khyzhniak M. I., Krazhan S. A., Rudyk-Leuska N. Ia. Kutishchev P. S. (2020). *Bioproduktyvnist vodnykh ekosystem* [Bioproductivity of aquatic ecosystems]. Posibnyk. Kyiv: FOP Yamchynskyi O.V. [in Ukrainian].
23. Hryn H. V. (1963). *Obiemno-vahova kharakterystyka providnykh vydiv fitoplanktonu nyzhnogo Dnipra. Pytannia ekologii i fenologii vodnykh orhanizmiv Dnipra* [Volume and weight characteristics of the leading phytoplankton species of the lower Dnipro. Issues of ecology and phenology of aquatic organisms of the Dnipro]. Kyiv: Vyd-vo AN URSR. PP. 35–40. [in Ukrainian].
24. Monchenko V. I. (1974). *Shchelepnyoroti tsyklopodibni, tsyklopy* [Cyclops jaws, cyclops]. Kyiv: Naukova dumka. [in Ukrainian].
25. Bruce-Conn D. (1991). Atlas of Invertebrate. Reproduction and Development 1st Edition.
26. Anagnostidis K., Komarek J. (1985). Modern approach to the classification system of cyanophytes. Introduction. *Archiv fur Hydrobiologie*, Suppl. 71. Algological Studies, 291–302.
27. Benítez-Díaz Mirón M.I. et al. (2020). Biomass, size structure and trophic compartments of the metazooplankton in the Sontecomapan Lagoon (Veracruz, Mexico). *Ecol. Sontecomapan Lagoon, Veracruz*, PP. 155–176.
28. Benítez-Díaz Mirón M.I. et al. (2014). Long-term changes in zooplankton biomass concentration and mean size over the Northwest European shelf inferred from Continuous Plankton Recorder data. *Est. J. Ecol.*, vol. 63, no. 4, 232–241.
29. Watkins J., Rudstam L., Holeck K. (2011). Length-weight regressions for zooplankton biomass calculations. A review and a suggestion for standard equations. Cornell Biol. F. Stn. Publ. Reports.
30. Sherman I. M., Khyzhniak M. I., Kutishchev P. S., Krazhan S. A. (2021). *Zhyvlennia ta hodivlia ryb* [Fish feeding]. Pidruchnyk. Kherson: FOP Vyshemyrskyi V.S. [in Ukrainian]
31. Henry K., Townes Jr. (1945). The Nearctic Species of Tendipedini. Diptera, Tendipedidae (Chironomidae). *The American Midland Naturalist*. Published By: The University of Notre Dame. Vol. 34, no. 1.

ФІЗІОЛОГІЧНІ РЕАКЦІЇ *POECILIA RETICULATA* НА ПРИСУТНІСТЬ МІКРОПЛАСТИКУ В ВОДНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Бєдункова О.О. – д.б.н., професор,

Яхнюк А.О. – здобувач вищої освіти,

Національний університет водного господарства та природокористування,
o.o.biedunkova@nuwm.edu.ua

Глобальна проблема присутності мікропластику в світовому океані зумовлює посилений інтерес до реакцій живих організмів на його дію. Попри широке представлення даного питання в літературі, реакції прісноводних організмів лишаються менш дослідженими порівняно з морськими. Метою статі було відстеження та аналіз інтенсивності дихання та зміни ваги акваріумних риб *Poecilia reticulata* (Peters, 1859), як прояв фізіологічних реакцій організму на присутність мікропластику в водному середовищі. Тривалість експерименту становила 47 діб, впродовж яких були виокремлені: контрольний період утримування риб – за відсутності мікропластику в водному середовищі; адаптаційний період – за введенням до водного середовища часток мікропластику в дозі 0,05 г/дм³; екстремальні періоди 1 та 2 – додаткове введення часток мікропластику в дозі 0,05 г/дм³ при кожному з них. Годування, зважування та визначення інтенсивності дихання риб проводили в лабораторних умовах з дотриманням стандартів усіх процедур. Впродовж періоду експерименту, інтенсивність дихання риб мала помітне наростання після дози 0,1 г на 30 дм³ води, з максимальним значенням 0,24 мгО₂/г/дм³. Після збільшення дози до 0,15 г на 30 дм³ води було відмічено стрімке пониження інтенсивності дихання риб, з мінімальним значенням 0,01 мгО₂/г/дм³. Зниження середньої ваги та виживаності тест-об'єктів відмічалося упродовж другого екстремального періоду, що характеризувався тривалою дією підвищеної дози мікропластику в водному середовищі. Інтенсивність дихання риб мала поступове підвищення в адаптаційний та екстремальний періоди з наступним різким спадом наприкінці другого екстремального періоду. Зроблено припущення, що зафіксовані зміни фізіологічних реакцій *P. reticulata* є свідченням негативного впливу часток мікропластику на організм риб, які перебувають у забрудненій мікропластиком воді.

Ключові слова: тест-об'єкти, тест-реакції, інтенсивність дихання риб, вага риб.

Постановка проблеми. Зростаючою глобальною проблемою є присутність мікропластику в морських та прісноводних екосистемах. Негативні екологічні наслідки цього явища пов'язані, передусім, зі значною

біодоступністю пластикових часток, що викликає зміни в загальному фізіологічному стані гідробіонтів. У літературі повідомляється про численні випадки ідентифікації мікропластику в тканинах і органах водних тварин, починаючи від зоопланктону до ссавців. Не стали виключенням і організми різних видів риб, хоча питання є значно ширше висвітленим для морських видів, ніж для прісноводних.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження пластикового забруднення водних екосистем, як правило зосереджені на джерелах, трансформаціях та екологічних наслідках дрібних частинок пластику в різних частинах світового океану. Часточки пластику розміром менше 5 мм, що отримали назву «мікропластик» зустрічаються в ґрунті, прісній та морській воді, підземних водах та донних відкладах, на пляжах, у водно-болотних угіддях, у повітрі та навіть у питній воді [1].

Існує два основних процеси, що призводять до появи мікропластику в водному середовищі: первинні та вторинні. Первинні процеси це безпосереднє потрапляння у водойми і моря деяких фрагментів мікро- і наночастинок пластику, що використовуються в споживчих товарах. Вони в значних кількостях надходять до водойм зі стічними водами. Наприклад, гранули, що входять до складу косметичних скрабів, промислові синтетичні абразиви тощо [2]. Згідно з відомими дослідженнями, основний механізм генерації мікропластика – це деструкція більших пластикових матеріалів [3]. Наприклад, прання синтетичного одягу та тканин може виділяти мікропластикові волокна у стічні води. Це було з'ясовано при проведенні досліджень, яке виявило, що одна поліестерова флісова куртка може виділяти мікрОВОлокна у кількості до 1900 частинок за одне прання [4]. Такий мікропластик не піддається концентруванню та видаленню зі стічних вод. Через очисні споруди він виходить у великій кількості в незмінному стані та потрапляє до водного середовища [2]. Вторинне надходження мікропластику до водойм пов'язане з поверхневим стоком, зокрема через змив фарби для розмітки доріг, дрібних фрагментів автомобільних шин та іншого змету [5]. Крім того, вторинний мікропластик у вигляді частинок і волокон є результатом руйнування макроскопічного пластикового сміття, що є присутнє майже в усіх частинах світового океану [1]. Половина наявного пластику в водному середовищі зазнає деградації і розкладання під дією ультрафіолетового випромінювання, а друга половина залишається в стабільній формі пластику, що не розкладається, а перетворюються саме на мікропластик [6].

Через свої дрібні розміри, мікропластик здатні проковтувати різні види гідробіонтів, у тому числі зоопланктон, безхребетні, риби, водоплавні птахи та морські ссавці, або ж він активно мігрує по трофічним ланцюгам. При потрапленні до організму мікропластик може порушувати подальшу

здатність до харчування, мати подразнюючий вплив на кишечник, викликати зміну фізіологічних процесів [7].

Відомі результати, які демонструють негативний вплив мікропластику на морський зоопланктон у Північно-Східній частині Атлантики. Так, використання методів біовізуалізації дозволило задокументувати ковтання, виділення та прилипання мікропластику до цілого ряду зоопланктону. За допомогою флуоресцентної мікроскопії було помічено, що тринадцять таксонів зоопланктону мають здатність поглинати гранули полістиролу розміром 1,7–30,6 мкм, при цьому поглинання залежить від таксонів та їх стадії розвитку. Після заковтування, копеподи виділяють фекальні гранули, що містять мікропластик. Також було помічено, що вплив мікропластику розміром 7,3 мкм на веслоногих *Centropages typicus* значно знижує їх харчування водоростями [8].

Було помічено, що норвезький омар *Nephrops norvegicus* (Linnaeus, 1758) у морі Клайда також здатен заковтувати мікропластик. При цьому 83 % обстежених тварин у своїх шлунках містили нитки пластику. У 62 % досліджуваних тварин були виявлені щільно сплутані кульки пластикових ниток у шлунку [9].

Ще одне дослідження документує мікропластик у організмах 10 видів риб (5 пелагічних та 5 придонних). Зокрема, було досліджено 504 риби з Ла-Маншу, у 36,5 % з яких пластик виявився присутнім у шлунково-кишковому тракті. Так, зі 184 досліджених особин, середня кількість мікропластику на рибу становила $1,90 \pm 0,10$ часточок. Засобом спектроскопії всього було ідентифіковано 351 часточку пластику. При цьому, найбільш поширеними виявились часточки поліаміду (35,6 %) та напівсинтетичного целюлозного матеріалу віскози (57,8 %). Суттєвої різниці між кількістю пластику, спожитого пелагічними та донними рибами не помічалось. Тобто, дане дослідження демонструє, що ковтання мікропластику є звичайним явищем у відносно невеликих кількостях серед різних видів риб, незалежно від середовища існування [10].

У цілому треба відзначити, що кількість досліджень пов'язаних з проблемою впливу мікропластику на прісноводних тварин є значно меншою, порівняно з тваринами – мешканцями морського та океанічного середовища. Проте, тієї кількості наукових знань, які доступні на сьогодні є достатньо, щоб говорити про те, що вплив мікропластику має цілий ряд негативних фізіологічних наслідків для гідробіонтів. Найвідоміші з них представлені зниженням здатності до харчування, втратою запасів енергії та порушенням репродуктивної функції, що без сумніву може розцінюватися як стресові фактори та мати розширення спектру досліджень.

Формулювання цілей статті. Метою наших досліджень було відстеження та аналіз інтенсивності дихання та зміни ваги акваріумних риб

Poecilia reticulata (Peters, 1859), як прояв фізіологічної реакції організму на присутність мікропластику в водному середовищі.

Матеріали і методи дослідження. Тест-об'єкти – самок *P. reticulata*, що не мали ознак настання нерестового періоду утримували в акваріумі об'ємом 30 дм³ за щільності посадки 1 особина на 0,6 дм³ та примусової аерації води. Дослід тривав 47 діб – з 15 серпня по 01 жовтня. У період перших одинадцяти днів експерименту мікропластик у акваріум не вносили. Цей період було прийнято за контрольний. На 12 добу утримання тест-об'єкту до води акваріуму було введено 0,05 г мікропластику на 30 дм³ води. Ця кількість мікропластику в воді акваріуму залишалась до 5 вересня, що приймалось за адаптаційний період. Станом на 6 вересня до води додали ще 0,05 г мікропластику і таку ж дозу внесли 18 вересня. Спостереження від 6 вересня до 1 жовтня становили екстремальний період (рисунок 1). Тобто, всього за період експерименту до води акваріуму було додано 0,15 г на 30 дм³.

Контрольний період	Адаптаційний період	Екстремальний період 1	Екстремальний період 2
= 0,00 г/дм ³	+ 0,05 г/дм ³	+ 0,05 г/дм ³	+ 0,05 г/дм ³
13.08.2022	14.08.2022	15.08.2022	16.08.2022
17.08.2022	18.08.2022	19.08.2022	20.08.2022
21.08.2022	22.08.2022	23.08.2022	24.08.2022
25.08.2022	26.08.2022	27.08.2022	28.08.2022
29.08.2022	30.08.2022	31.08.2022	01.09.2022
02.09.2022	03.09.2022	04.09.2022	05.09.2022
06.09.2022	07.09.2022	08.09.2022	09.09.2022
10.09.2022	11.09.2022	12.09.2022	13.09.2022
14.09.2022	15.09.2022	16.09.2022	17.09.2022
18.09.2022	19.09.2022	20.09.2022	21.09.2022
22.09.2022	23.09.2022	24.09.2022	25.09.2022
26.09.2022	27.09.2022	28.09.2022	29.09.2022
30.09.2022	01.10.2022	02.10.2022	03.10.2022
04.10.2022			

Рис. 1. Схема внесення мікропластику до акваріуму з тест-об'єктами

Риб годували сухим кормом (*Daphnia*) 1 раз на добу о 16 год.±10 хв. Щоранку о 10 год. ±30 хв. ми відсаджували риб до окремих ємкостей об'ємом 1 дм³, які заповнювали водою з того ж акваріума до самого верху і проводили визначення інтенсивності дихання риб, як тест-параметр впливу мікропластику на фізіологічні процеси риб. Визначення проводили окремо для кожної особини, тобто повторність експерименту становила n=5.

Для визначення інтенсивності дихання риб, у кожній ємкості на початку експерименту вимірювали вміст розчиненого у воді кисню. Потім ємкості закривали так щільно, щоб кисень з них не виходив і не надходив з повітря в лабораторії. Експозиція тривала не менше 90 хвилин. Після завершення експозиції ємкості відкривали і вимірювали вміст розчиненого в воді кисню повторно.

Визначення вмісту розчиненого у воді кисню при проведенні біотестування за інтенсивністю дихання риб проводили інструментальним методом за допомогою оксиметру Ezodo (Тайвань), що пройшов державну атестацію та перевірку (свідоцтво ДП «Укрметртестстандарт» № 36-1/689).

Досліди з визначення інтенсивності дихання риб проводили при сталій температурі приміщення ($20 \pm 1,5$ °C). Об'єм води (V_o) визначали приведенням до нормальних умов з точністю до 0,01 дм³:

$$V_o = \frac{V_t \cdot 273 \cdot P}{(273 + t) \cdot 760} \quad (1)$$

де: V_t – об'єм проби води, дм³; атмосферний тиск у приміщенні, де проводиться дослід, мм рт. ст.; t – температура повітря під час проведення дослідів, °C.

Піддослідну рибу обтирали фільтрувальним папером і зважували. По різниці концентрації кисню на початку і в кінці дослідів (з врахуванням об'єму ємкості) визначали інтенсивність дихання риб [11], що розраховували в міліграмах спожитого нею кисню на 1 г ваги (сирої), протягом 1 год.:

$$I = \frac{(C_i - C_o) \cdot V}{m \cdot t} \quad (2)$$

де: I – інтенсивність споживання кисню (дихання риб), мг/г/год.; C_i – вміст кисню на початку експозиції, мг/дм³; C_o – вміст кисню по закінченню експозиції, мг/г/дм³; V – об'єм колби, дм³; m – вага риби, г; t – тривалість експозиції, год.

Статистичну обробку та візуалізацію отриманих даних проводили з використанням прикладного програмного пакету Statistica 8.0 [12].

Результати досліджень. Однакові умови утримання та годівлі риб впродовж експерименту стали підставою для порівняння їх середнього приросту за періоди з різним вмістом мікропластику в водному середовищі їх перебування. Так, за контрольний період, середня вага піддослідних особин *P. reticulata* змінилась з $1,36 \pm 0,08$ г до $1,41 \pm 0,08$ г, тобто збільшилась на 0,05 г, або 16,1 % від початкової маси (рисунк 2).

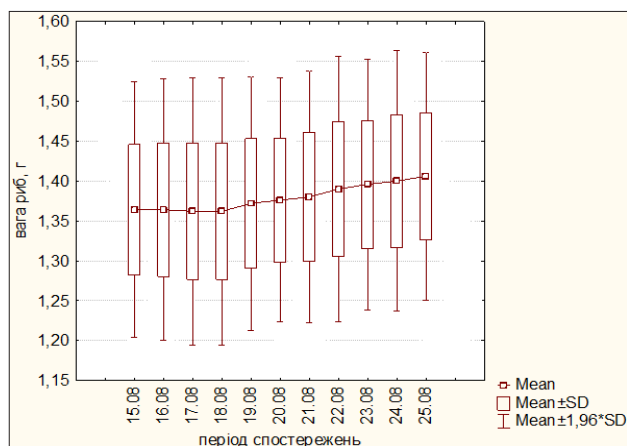


Рис. 2. Динаміка ваги *P. reticulata* в контрольний період експерименту

Утримування тест-об'єктів упродовж адаптаційного періоду, з вмістом часток мікропластику в воді на рівні $0,05 \text{ г/дм}^3$ позначилось на зміні середньої ваги риб від $1,41 \pm 0,07 \text{ г}$ до $1,48 \pm 0,06 \text{ г}$. Відповідно, вага піддослідних особин збільшилась на $0,07 \text{ г}$, що становило приріст біомаси риб на $4,9 \%$ від їх початкової ваги за цей період (рисунок 3).

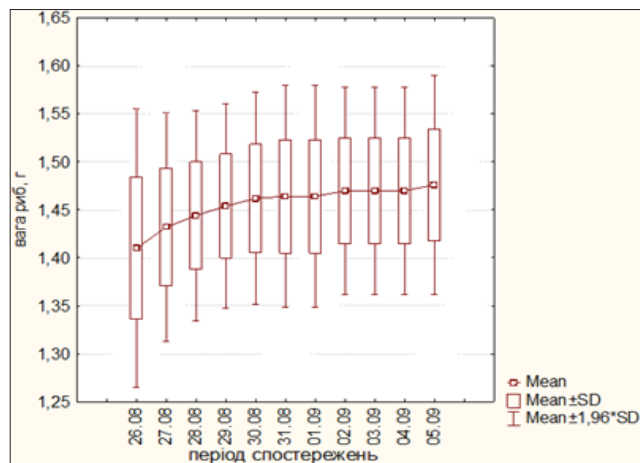


Рис. 3. Динаміка ваги *P. reticulata* в адаптаційний період експерименту

При повторному внесенні в воду часток мікропластику в кількості $0,05 \text{ г/дм}^3$ станом на 6 вересня, відколи почався перший екстремальний період експерименту, середня вага риби продовжувала зростати. Так, у кількісному вираженні вона змінилась з $1,48 \pm 0,06 \text{ г}$ до $1,53 \pm 0,05 \text{ г}$. Відповідно, вага піддослідних особин за перший екстремальний період збільшилась на $0,05 \text{ г}$, що свідчило про приріст біомаси риб на $3,4 \%$ від їх початкової ваги за цей період (рисунок 4).

Упродовж другого екстремального періоду середня вага тест-об'єктів змінилась від $1,53 \pm 0,05 \text{ г}$ до $1,49 \pm 0,04 \text{ г/дм}^3$. Тут варто зазначити, що за даний період відбулось зменшення чисельності тест-об'єктів з п'яти особин до трьох, через їх смертність. Проте, отримані результати зважування риб цього разу виявили зменшення їх ваги вперше за всю тривалість експерименту. Так, середня вага піддослідних особин за другий екстремальний період зменшилась на $0,04 \text{ г}$, що свідчило про зниження біомаси риб на $2,6 \%$ від їх початкової ваги за цей період (рисунок 5).

На початку експерименту в перші 11 діб (з 15 серпня по 25 серпня), інтенсивність дихання риб у середньому становила $0,05 \pm 3 \cdot 10^{-2}$. Мінімальні значення інтенсивності дихання риб були $0,01 \text{ мгО}_2/\text{г/дм}^3$, а максимальні $0,13 \text{ мгО}_2/\text{г/дм}^3$. Оскільки в цей період риба не мала впливу мікропластику, цей період розглядався як контрольний.

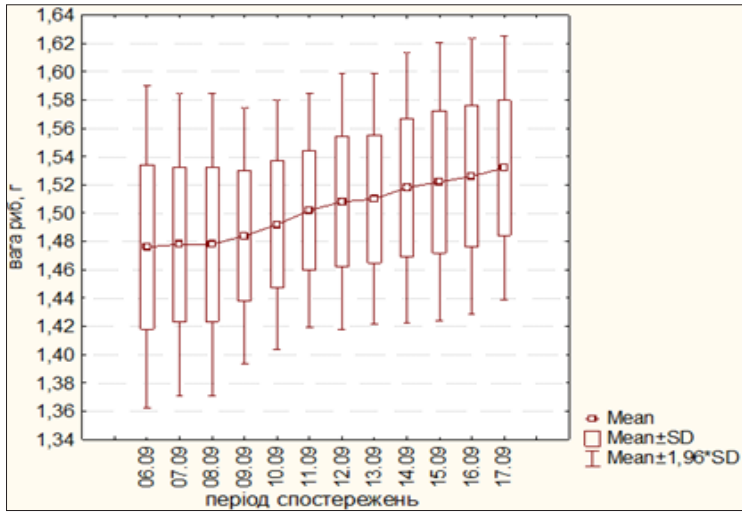


Рис. 4. Динаміка ваги *P. reticulata* в перший екстремальний період експерименту

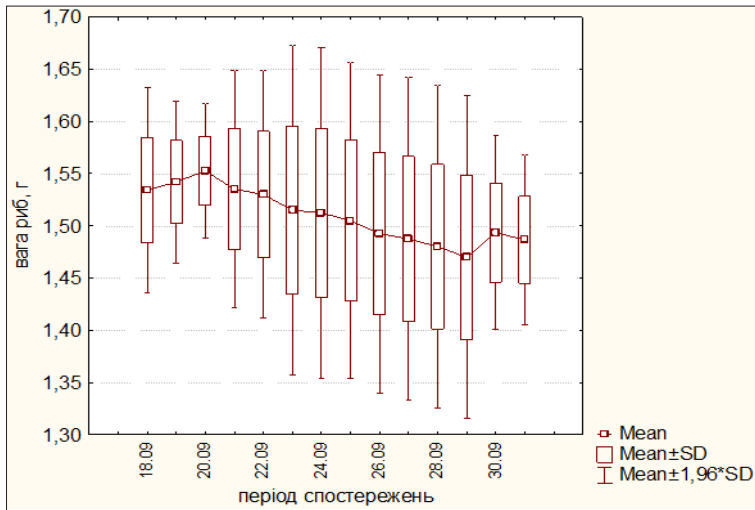


Рис. 5. Динаміка ваги *P. reticulata* в другий екстремальний період експерименту

У наступний адаптаційний період, до води було внесено $0,05 \text{ г/дм}^3$ мікропластику. Тобто, всього на 30 дм^3 акваріумної води додали $0,15 \text{ г}$ подрібненого мікропластику. У цей період, що тривав з 26 серпня по 5 вересня середня інтенсивність дихання риб становила $0,06 \pm 3 \cdot 10^{-2} \text{ мгO}_2/\text{г/дм}^3$. Мінімальні значення інтенсивності дихання риб були на рівні $0,01 \text{ мгO}_2/\text{г/дм}^3$, а максимальні $0,11 \text{ мгO}_2/\text{г/дм}^3$.

У наступний період, а саме другий екстремальний, до води акваріуму знову додавали мікропластик. Це було двічі по $0,05 \text{ г/дм}^3$. Зокрема, 6 вересня було додано таку дозу і за період від 6 вересня до 17 вересня середня величина інтенсивності дихання риб становила $0,07 \pm 4 \cdot 10^{-2} \text{ мгO}_2/\text{г/дм}^3$. Мінімальні значення інтенсивності дихання риб були на рівні $0,02 \text{ мгO}_2/\text{г/дм}^3$, а максимальні $0,24 \text{ мгO}_2/\text{г/дм}^3$. Наступна доза була внесена 18 вересня та в період з 18 вересня до 01 жовтня середня величина інтенсивності дихання риб становила $0,06 \pm 3 \cdot 10^{-2} \text{ мгO}_2/\text{г/дм}^3$. Мінімальні значення інтенсивності дихання риб були на рівні $0,01 \text{ мгO}_2/\text{г/дм}^3$, а максимальні $0,12 \text{ мгO}_2/\text{г/дм}^3$.

У цілому, аналіз динаміки інтенсивності дихання риб демонструє поступове підвищення в адаптаційний та екстремальний періоди з наступним різким спадом наприкінці екстремального періоду (рисунок 6).

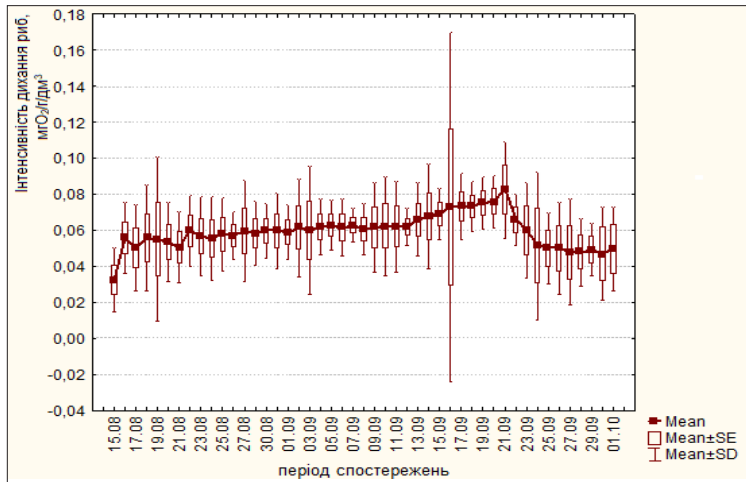


Рис. 6. Динаміка інтенсивності дихання *P. reticulata* за присутності в воді мікропластику

У середньому, величина інтенсивності дихання риб на кінець екстремального періоду мала рівні подібні до тих, що фіксувались в адаптаційний період. Очевидно, що зростання кількісного вираження даної фізіологічної реакції було пов'язано з присутністю в водному середовищі часток мікропластику, що могли потрапити до організму риби при заковтуванні корму, або процесу фільтрації води крізь зябровий апарат. Одночасно, було зафіксовано зниження середньої ваги та виживаності тест-об'єктів упродовж другого екстремального періоду, що дозволяє зробити припущення про фізіологічні зміни в організмі *P. reticulata* внаслідок негативного впливу часток мікропластику на організм риб.

Висновки. У модельних експериментах з акваріумними рибами *P. reticulata*, який тривав 47 діб, тест-об'єкти піддались впливу мікропластику в сумарній дозі 0,15 г на 30 дм³ води. Збільшення концентрації часток мікропластику в середньому кожні 10 діб на 0,05 г, призводило до зміни тест-реакцій риб. Інтенсивність дихання риб мала помітне наростання після дози 0,1 г на 30 дм³ води, з максимальним значенням 0,24 мгО₂/г/дм³. Після збільшення дози до 0,15 г на 30 дм³ води було відмічено стрімке пониження інтенсивності дихання риб, з мінімальним значенням 0,01 мгО₂/г/дм³. Зниження середньої ваги та виживаності тест-об'єктів відмічалось упродовж другого екстремального періоду, що характеризувався тривалою дією підвищеної дози мікропластику в водному середовищі. Цілком ймовірно, що зафіксовані зміни фізіологічних реакцій *P. reticulata* є свідченням негативного впливу часток мікропластику на організм риб, що перебувають у забрудненій мікропластиком воді.

PHYSIOLOGICAL REACTIONS OF *POECILIA RETICULATA* TO THE PRESENCE OF MICROPLASTICS IN THE AQUATIC ENVIRONMENT

Biedunkova O.O. – Doctor of Biology, Professor,

Yakhniuk A.O. – graduate of the second level of higher education (master's degree),

National University of Water and Environmental Engineering,

o.o.biedunkova@nuwm.edu.ua

The global problem of the content of microplastics in the world's oceans leads to increased interest in the reactions of living organisms to the effects of microplastics. Despite the wide presentation of this issue in the literature, the reactions of freshwater organisms remain less studied compared to marine ones. The purpose of the study was to track and analyze the intensity of breathing and weight changes of aquarium fish *Poecilia reticulata* (Peters, 1859), as a manifestation of the body's physiological reactions to the presence of microplastics in the aquatic environment. The duration of the experiment was 47 days, during which the following were distinguished: a control period of keeping fish – in the absence of microplastics in the aquatic environment; adaptation period – after the introduction of microplastic particles in a dose of 0.05 g/dm³ into the water environment; extreme periods 1 and 2 – additional introduction of microplastic particles at a dose of 0.05 g/dm³ for each of them. Feeding, weighing and determining the intensity of respiration of fish were carried out in laboratory conditions in compliance with the standards of all procedures. During the experimental period, the intensity of respiration of fish had a noticeable increase after a dose of 0.1 g per 30 dm³ of water, with a maximum value of 0.24 mgO₂/g/dm³. After increasing the dose to 0.15 g per 30 dm³ of water, a sharp decrease in the intensity of fish respiration was noted, with a minimum value of 0.01 mgO₂/g/dm³. A decrease in the average weight and survival of the test objects was observed during the second extreme period, which was characterized by the long-term effect of an increased dose of microplastics in the

aquatic environment. The intensity of fish respiration had a gradual increase during the adaptation and extreme periods, followed by a sharp decline at the end of the second extreme period. It is assumed that the recorded changes in the physiological reactions of *P. reticulata* are evidence of the negative impact of microplastic particles on the body of fish that are in microplastic-contaminated water.

Key words: test objects, test reactions, fish respiration intensity, fish weight.

ЛІТЕРАТУРА

1. Huang W., Song B., Liang J., Niu Q., et al. Microplastics and associated contaminants in the aquatic environment: A review on their ecotoxicological effects, trophic transfer, and potential impacts to human health. *Journal of Hazardous Materials*. 2020. P. 124187.
2. Qaiser Z., Aqeel M., Sarfraz W., Rizvi Z. F., et al. Microplastics in wastewaters and their potential effects on aquatic and terrestrial biota. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*. 2023. P. 100536.
3. Stapleton M. J., Ansari A. J., Ahmed A., Hai F. I. Evaluating the generation of microplastics from an unlikely source: The unintentional consequence of the current plastic recycling process. *Science of The Total Environment*. 2023. P. 166090.
4. Mondal M. I. H., Takebira U. M. Disperse dyes, temperature and yarn parameter's effect on microfibre shedding of polyester spun yarn. *Science of The Total Environment*. 2023. Vol. 903. P. 166854.
5. Sodré F. F., Arowojolu I. M., Canela M. C., Ferreira R. S., et al. How natural and anthropogenic factors should drive microplastic behavior and fate: The scenario of Brazilian urban freshwater. *Chemosphere*. 2023. Vol. 340. P. 139813.
6. Lin J., Yan D., Fu J., Chen Y., et al. Ultraviolet-C and vacuum ultraviolet inducing surface degradation of microplastics. *Water Research*. 2020. Vol. 186. P. 116360.
7. Vivekanand A. C., Mohapatra S., Tyagi V. K. Microplastics in aquatic environment: Challenges and perspectives. *Chemosphere*. 2021. Vol. 282. P. 131151.
8. Cole M., Lindeque P., Fileman E., Halsband C., et al. Microplastic Ingestion by Zooplankton. *Environmental Science & Technology*. 2013. Vol. 47, no. 12. PP. 6646–6655.
9. Murray F., Cowie P. R. Plastic contamination in the decapod crustacean *Nephrops norvegicus* (Linnaeus, 1758). *Marine Pollution Bulletin*. 2011. Vol. 62, no. 6. P. 1207–1217.
10. Lusher A. L., McHugh M., Thompson R. C. Occurrence of microplastics in the gastrointestinal tract of pelagic and demersal fish from the English Channel. *Marine Pollution Bulletin*. 2013. Vol. 67, no. 1–2. PP. 94–99.

11. Клименко М. О., Пилипенко Ю. В., Бедункова О. О., Конончук В. О. Інтенсивність дихання *Amatitlania nigrofasciata* за різних концентрацій токсикантів у модельних експериментах. *Біологічні студії*. Львів, 2017. Том 11. № 1. С. 147–160.
12. Герасименко С. С. Статистика: підручник. Київ : КНЕУ, 2000. 467 с.

REFERENCES

1. Huang W., Song B., Liang J., Niu Q., et al. (2020). Microplastics and associated contaminants in the aquatic environment : A review on their ecotoxicological effects, trophic transfer, and potential impacts to human health. *Journal of Hazardous Materials*. P. 124187.
2. Kaiser Z., Aqeel M., Sarfraz W., Rizvi Z. F., et al. (2023). Microplastics in wastewaters and their potential effects on aquatic and terrestrial biota. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*. P. 100536.
3. Stapleton M. J., Ansari A. J., Ahmed A., Hai F. I. (2023). Evaluating the generation of microplastics from an unlikely source: The unintentional consequence of the current plastic recycling process. *Science of The Total Environment*. P. 166090.
4. Mondal M. I. H., Takebira U. M. (2023). Disperse dyes, temperature and yarn parametre's effect on microfibre shedding of polyester spun yarn. *Science of The Total Environment*, Vol. 903. P. 166854.
5. Sodré F. F., Arowojolu I. M., Canela M. C., Ferreira R. S., et al. (2023). How natural and anthropogenic factors should drive microplastic behavior and fate: The scenario of Brazilian urban freshwater. *Chemosphere*, Vol. 340. P. 139813.
6. Lin J., Yan D., Fu J., Chen Y., et al. (2020). Ultraviolet-C and vacuum ultraviolet inducing surface degradation of microplastics. *Water Research*, Vol. 186. P. 116360.
7. Vivekanand A. C., Mohapatra S., Tyagi V. K. (2021). Microplastics in aquatic environment: Challenges and perspectives. *Chemosphere*, Vol. 282. P. 131151.
8. Cole M., Lindeque P., Fileman E., Halsband C., et al. (2013). Microplastic Ingestion by Zooplankton. *Environmental Science & Technology*, Vol. 47, no. 12, 6646–6655.
9. Murray F., Cowie P. R. (2011). Plastic contamination in the decapod crustacean *Nephrops norvegicus* (Linnaeus, 1758). *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 62, no. 6, 1207–1217.
10. Lusher A. L., McHugh M., Thompson R. C. (2013). Occurrence of microplastics in the gastrointestinal tract of pelagic and demersal fish from the English Channel. *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 67, no. 1–2, 94–99.

11. Klymenko M. O., Pylypenko Yu. V., Biedunkova O. O., Kononchuk V. O. (2017). *Intensyvnist dykhannia Amatitlania nigrofasciata za riznykh kontsentratsii toksykaniv u modelnykh eksperymentakh* [Respiration of *Amatitlania Nigrofasciata* at the action of toxicants used at different concentrations in model experiments]. *Biologichni studii*, Tom 11, no. 1, 147–160. [in Ukrainian].
12. Herasymenko S. S. (2000) *Statystyka: Pidruchnyk* [Statistics: Textbook]. Kyiv: KNEU. [in Ukrainian].

УДК 591.524

DOI <https://doi.org/10.32782/wba.2023.2.8>

ФАУНА І ТАКСОНОМІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА НОВИХ ДЛЯ ГАЛИЧИНИ ВИДІВ КОЛОВЕРТОК (*ROTIFERA* : *ROTATORIA*) ЗА МАТЕРІАЛАМИ ЛЮДВІГА КОЗАРА

Іванець О.Р. – к.б.н., доцент,

Львівський національний університет імені Івана Франка,

oleh_ivanets@ukr.net

У дослідженнях, проведених у 1908–1912 роках, Л. Козар зареєстрував 38 нових для Галичини видів *Rotatoria*: *N. cerberus*, *N. torulosa*, *N. copeus*, *N. pachyura*, *P. decipiens*, *P. petromyxon*, *P. reinhardtii*, *E. najas*, *E. elongata*, *D. hoodi*, *D. tigridia*, *E. biraphis*, *E. clastopis*, *E. brachionus*, *M. mucronata*, *M. bicarinata*, *M. compressa*, *L. gissensis*, *M. cornuta*, *M. hamata*, *L. pygmea*, *L. oblonga*, *C. colurus*, *T. iernis*, *T. pusilla*, *D. tenuior*, *D. weberi*, *D. porcellus*, *T. mucronata*, *P. crystallina*, *P. intermedia*, *A. vaga*, *R. tardigrada*, *R. elongata*, *M. quadricornifera*, *D. macrostyla*, *H. lata*, *H. tridens*.

Зареєстровані види належать до трьох родів (*Ploima*, *Flosculariaceae*, *Bdelloida*), десяти родин (*Notommatidae*, *Epiphanidae*, *Mytilinidae*, *Euchlanidae*, *Lepadellidae*, *Trichocercidae*, *Testudinellidae*, *Flosculariidae*, *Adinetidae*, *Philodinidae*) і 21 роду (*Notommata*, *Proales*, *Pleurotrocha*, *Eosphora*, *Diaschiza*, *Encentrum*, *Epiphanes*, *Mytilina*, *Lecane*, *Monostyla*, *Lepadella*, *Colurella*, *Trichocerca*, *Diurella*, *Testudinella*, *Ptygura*, *Adineta*, *Rotaria*, *Macrotrachela*, *Dissotrocha*, *Habrotrocha*).

Найбільш представлений, з врахуванням кількості родин, є ряд *Ploima* (7 родин), одною родиною представлений ряд *Flosculariaceae*. Ряд *Bdelloida* нараховує дві родини.

З врахуванням особливостей таксономічної структури окремих родин у спектрі родів найбільш багата родина *Notommatidae* (6 родів) і родина *Philodinidae* (4 роди). П'ять родин (*Epiphanidae*, *Mytilinidae*, *Testudinellidae*, *Flosculariidae*, *Adinetidae*) представлені лише одним родом. У трьох родин (*Euchlanidae*, *Lepadellidae*, *Trichocercidae*) нараховується по два роди.

Родина *Notommatidae* об'єднує також дві підродини: *Notommatinae* (включає 5 родів) і *Dicranophorinae* (містить один рід). Дві підродини має також родина *Philodinidae*: *Philodininae* (нараховує три роди) і *Habrotrochinae* (представлена одним родом).

Найбільш презентабельний у спектрі видів ряд *Ploima* (включає 29 видів). Найменш презентабельний з врахуванням цього показника ряд *Flosculariaceae* (включає лише два види). Ряд *Bdelloida* нараховує 7 видових таксонів.

Ключові слова: водні екосистеми, коловертки, фауна, Галичина, *Rotifera*, *Rotatoria*.

Постановка проблеми. Угрупування коловерток (*Rotatoria*) є важливою ланкою у забезпеченні самоочищення водойм. Вони є надійними

біологічними індикаторами якості води та вагомим компонентом раціонів багатьох гідробіонтів. Водна Рамкова Директива Європейського Парламенту і Ради (EU Water Framework Directive 2000/60/EC), наголошує на фундаментальній ролі водних організмів у системі гідроекологічного моніторингу. З врахуванням такого підходу коловертки, як складова зоопланктону, використовуються при визначенні екологічного стану водойм України [1–3]. Проте, історичні аспекти досліджень регіональних фаун *Rotatoria* вивчені недостатньо. Такі матеріали є важливими для встановлення ретроспективних екологічних характеристик водойм у минулому і дають можливість прогнозувати майбутні зміни гідроекосистем.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження коловерток на теренах Галичини започаткував видатний польський гідробіолог А. Вежейський [4–8]. У наш час ця група зоопланктерів також привертає увагу науковців.

Аналізується стан угруповань коловерток гідроценозів, що розташовані у лісових ландшафтах, привертають увагу коловертки малих водойм західного лісостепу України, вивчаються окремі роди *Rotatoria*, акцентується увага на методичних підходах щодо роботи із коловертками та на їх адаптаційних можливостях [9–13]. Особливу увагу привертає таксономія і трофічна характеристика представників роду *Asplanchna*, які значною мірою, внаслідок масового розвитку, впливають на трофодинаміку водойм [14, 15]. Угруповання коловерток аналізуються в окремих водоймах, а також при комплексному вивченні зоопланктоценозів водойм Галичини та прилеглих теренів, вивчається вплив рослинних асоціацій на структуру ротаторіоценозів [16–19]. Однак, історична проблематика досліджень *Rotatoria* Галичини і в сьогоденні представлена недостатньо.

Формулювання цілей статті. Метою роботи є ретроспективний аналіз досліджень, котрі висвітлюють історичні аспекти становлення і розвитку фауністики в царині ротаторіології, оцінка значимості окремих таксонів у спектрі видів, родів, родин та рядів у віддалені часові періоди, компаративна характеристика нових для Галичини таксонів *Rotatoria*, відповідно до чинної на той час систематики, за матеріалами Л. Козара початку ХХ століття. Такі дані є надійною основою для прогнозу змін у гідроекосистемах, вони дозволять також, з врахуванням біоіндикаційних характеристик угруповань коловерток, сучасних даних і новітніх методичних підходів проаналізувати екологічний стан водойм у минулому. Такий комплексний підхід, що враховує історичний аспект є невід’ємною складовою гідроекологічного моніторингу і має особливу актуальність з огляду на сучасні публікації щодо зоопланктону заходу України [14–19].

Матеріали та методи дослідження. Дослідження ґрунтується на аналізі роботи Л. Козара “Zur Rotatorienfauna der Torfmoorgewässer,

zugleich I. Ergänzung zur Kenntnis dieser Fauna Galiziens”, яка вийшла у світ 1914 року на шпальтах наукового журналу “Zoologischer Anzeiger” [20]. Враховували, що таксон є відособленою таксономічною групою якій можна присвоїти певну категорію, а поняття таксону має бути описаним під певною назвою і належить до конкретних організмів [21].

Результати досліджень. Польський гідробіолог Л. Козар досліджував угруповання коловерток торф’яних боліт північно-східної Галичини. Результати своєї роботи він опублікував у статті “Zur Rotatorienfauna der Torfmoorgewässer, zugleich I. Ergänzung zur Kenntnis dieser Fauna Galiziens”, яка вийшла у світ 1914 року у журналі “Zoologischer Anzeiger”. У цій ґрунтовній публікації Л. Козар подає у цілому 114 таксонів коловерток і, у тому числі, 38 видових таксонів *Rotatoria*, які до цього часу не були зареєстровані на теренах Галичини (рисунок 1).

Нові для Галичини коловертки, які були зареєстровані у цей період, представляють особливий інтерес. Надамо перелік цих таксонів відповідно до чинної на той час систематики.

- 1) *Notommata cerberus* Gosse.
- 2) - *torulosa* Duj.
- 3) - *copeus* Ehrbg.
- 4) - *pachyura* Gosse.
- 5) *Proales decipiens* Ehrbg.
- 6) *Pleurotrocha petromyxon* Ehrbg.
- 7) - *reinhardtii* Ehrbg.
- 8) *Eosphora najas* Ehrbg.
- 9) - *elongata* Ehrbg.
- 10) *Diaschiza hoodi* Gosse.
- 11) - *tigridia* Gosse.
- 12) *Encentrum biraphis* Gosse.
- 13) - *elastopis* Gosse.
- 14) *Epiphanes brachionus* Ehrbg.
- 15) *Mytilina mucronata* Ehrbg.
- 16) - *bicarinata* Perty.
- 17) - *compressa* Gosse.
- 18) *Lecane gissensis* Eckstein.
- 19) *Monostyla cornuta* Müller.
- 20) - *hamata* Stokes.
- 21) *Lepadella pygmaea* Gosse.
- 22) - *oblonga* Ehrbg.
- 23) *Colurella colurus* Ehrbg.
- 24) *Trichocerca iernis* Gosse.

Рис. 1. Фрагмент публікації Л. Козара “Zur Rotatorienfauna der Torfmoorgewässer, zugleich I. Ergänzung zur Kenntnis dieser Fauna Galiziens” з переліком нових для Галичини таксонів *Rotatoria* [20]

Нові для Галичини види коловерток за дослідженнями Л. Козара [20]

Ряд *Ploima*

Родина *Notommatidae*

Підродина *Notommatinae*

Рід *Notommata* Ehrbg.

Notommata cerberus Gosse

Notommata torulosa Dujardin

Notommata copeus Ehrbg.

Notommata pachyura Gosse

Рід *Proales* Gosse

Proales decipiens Ehrb.

Рід *Pleurotrocha* Ehrbg.

Pleurotrocha petromyxon Ehrbg.

Pleurotrocha reinhardtii Ehrbg.

Рід *Eosphora* Ehrbg.

Eosphora najas Ehrbg.

Eosphora elongata Ehrbg.

Рід *Diaschiza* Gosse

Diaschiza hoodi Gosse

Diaschiza tigridia Gosse

Рід *Encentrum* Ehrbg.

Encentrum biraphis Gosse

Encentrum clastopis Gosse

Родина *Epiphanidae*

Рід *Epiphanes* Ehrbg.

Epiphanes brachionus Ehrbg.

Родина *Mytilinidae*

Рід *Mytilina* Bory de St. Vincent

Mytilina mucronata Müller

Mytilina bicarinata Perty

Mytilina compressa Gosse

Родина *Euchlanidae*

Рід *Lecane* Nitzsch.

Lecane gissensis Eckstein

Рід *Monostyla* Ehrbg.

Monostyla cornuta Müller

Monostyla hamata Stokes

Родина *Lepadellidae*

Рід *Lepadella* Bory de St. Vincent

Lepadella pygmea Gosse

Lepadella oblonga Ehrbg.

Рід *Colurella* Bory de St. Vincent

Colurella colurus Ehrbg.

Родина *Trichocercidae*

Рід *Trichocerca* Lamarck

Trichocerca iernis Grosse

Trichocerca pusilla Jennings

Рід *Diurella* Bory de St. Vincent

Diurella tenuior Gosse.

Diurella weberi Jennings

Diurella porcellus Gosse

Родина *Testudinellidae*

Рід *Testudinella* Bory de St. Vincent

Testudinella mucronata Gosse

Ряд *Flosculariaceae*

Родина *Floscularidae*

Рід *Ptygura* Ehrbg

Ptygura crystallina Ehrbg.

Ptygura intermedia Davis

Ряд *Bdelloida*

Родина *Adinetidae*

Рід *Adineta* Hudson

Adineta vaga Davis

Родина *Philodinidae*

Підродина *Philodininae*

Рід *Rotaria* Scopoli

Rotaria tardigrada Ehrbg.

Rotaria elongata Weber

Рід *Macrotrachela* Milne

Macrotrachela quadricornifera Milne

Рід *Dissotrocha* Bryce

Dissotrocha macrostyla Ehrbg.

Підродина *Habrotrochinae*

Рід *Habrotrocha* Bryce

Habrotrocha lata Bryce

Habrotrocha tridens Milne

Схарактеризуємо, за матеріалами Л. Козара, таксономічну структуру нових для Галичини видів коловерток з врахуванням чинної у цей період систематики (таблиця 1) [20].

Л. Козар зареєстрував 38 нових для Галичини видів *Rotatoria*, які належать до трьох родів (*Ploima*, *Flosculariaceae*, *Bdelloida*), десяти родин (*Notommatidae*, *Epiphanidae*, *Mytilinidae*, *Euchlanidae*, *Lepadellidae*,

Таблиця 1. Таксономічна структура нових для Галичини видів коловороток за дослідженнями Л. Козара [20]

Ряд	Родина	Підродина	Рід	Кількість видів
<i>Ploima</i>	<i>Notommatidae</i>	<i>Notommatinae</i>	<i>Notommata</i>	4
			<i>Proales</i>	1
			<i>Pleurotrocha</i>	2
			<i>Eosphora</i>	2
			<i>Diaschiza</i>	2
		<i>Dicranophorinae</i>	<i>Encentrum</i>	2
	<i>Epiphanidae</i>		<i>Epiphanes</i>	1
	<i>Mytilinidae</i>		<i>Mytilina</i>	3
	<i>Euchlanidae</i>		<i>Lecane</i>	1
			<i>Monostyla</i>	2
	<i>Lepadellidae</i>		<i>Lepadella</i>	2
			<i>Colurella</i>	1
	<i>Trichocercidae</i>		<i>Trichocerca</i>	2
			<i>Diurella</i>	3
	<i>Testudinellidae</i>		<i>Testudinella</i>	1
<i>Flosculariacea</i>	<i>Flosculariadaea</i>		<i>Ptygura</i>	2
<i>Bdelloida</i>	<i>Adinetidae</i>		<i>Adineta</i>	1
	<i>Philodinidae</i>	<i>Philodininae</i>	<i>Rotaria</i>	2
			<i>Macrotrachela</i>	1
			<i>Dissotrocha</i>	1
		<i>Habrotrochinae</i>	<i>Habrotrocha</i>	2

Trichocercidae, *Testudinellidae*, *Flosculariadaea*, *Adinetidae*, *Philodinidae*) і 21 роду (*Notommata*, *Proales*, *Pleurotrocha*, *Eosphora*, *Diaschiza*, *Encentrum*, *Epiphanes*, *Mytilina*, *Lecane*, *Monostyla*, *Lepadella*, *Colurella*, *Trichocerca*, *Diurella*, *Testudinella*, *Ptygura*, *Adineta*, *Rotaria*, *Macrotrachela*, *Dissotrocha*, *Habrotrocha*).

Найбільш представлений, з врахуванням кількості родин, є ряд *Ploima* (7 родин), одною родиною представлений ряд *Flosculariacea*. Ряд *Bdelloida* нараховує дві родини. Проаналізуємо особливості таксономічної структури окремих родин у спектрі родів. З врахуванням цього показника найбільш багаті родина *Notommatidae* (6 родів) і родина *Philodinidae* (4 роди). П'ять родин (*Epiphanidae*, *Mytilinidae*, *Testudinellidae*, *Flosculariadaea*, *Adinetidae*) представлені лише одним родом. У трьох родинях (*Euchlanidae*, *Lepadellidae*, *Trichocercidae*) нараховується по два роди.

Родина *Notommatidae* об'єднує також дві підродини: *Notommatinae* (включає 5 родів) і *Dicranophorinae* (містить один рід). Дві підродини має також родина *Philodinidae*: *Philodininae* (нараховує три роди) і *Habrotrochinae* (представлена одним родом).

Найбільш презентабельний у спектрі видів ряд *Ploima* (включає 29 видів). Найменш презентабельний, з врахуванням цього показника, ряд *Flosculariacea* (включає лише два види). Ряд *Bdelloida* нараховує 7 видових таксонів.

Висновки та перспективи використання результатів дослідження. За матеріалами досліджень Л. Козара, проведених на початку ХХ століття, зареєстровано 38 нових для Галичини видів *Rotatoria* які, відповідно до чинної у ту пору систематики, належать до трьох родів, десяти родин та 21 роду. Найбільш представлений, з врахуванням кількості родин, є ряд *Ploima* (7 родин), одною родиною представлений ряд *Flosculariacea*. Ряд *Bdelloida* нараховує дві родини.

З врахуванням таксономічної структури окремих родин у спектрі родів найбільш багата родина *Notommatidae* (6 родів) і родина *Philodinidae* (4 роди). П'ять родин (*Epiphanidae*, *Mytilinidae*, *Testudinellidae*, *Flosculariidae*, *Adinetidae*) представлені лише одним родом. У трьох родинах (*Euchlanidae*, *Lepadellidae*, *Trichocercidae*) нараховується по два роди.

Найбільш презентабельний у спектрі видів ряд *Ploima* (включає 29 видів). Найменш презентабельний, з врахуванням цього показника, ряд *Flosculariacea* (включає лише два види). Ряд *Bdelloida* нараховує 7 видових таксонів.

Угрупування коловерток є чутливими до впливів біотичних та абіотичних факторів середовища. Отримані результати є важливими для встановлення ретроспективних змін у водоймах та прогнозування стану гідроекосистем у перспективі з використанням методу біоіндикації. Такі матеріали є ваговою складовою гідроекологічного моніторингу, встановлення трофодинамічних характеристик гідроценозів та визначення особливостей продукційно-деструкційних процесів гідроекосистем протягом тривалих періодів часу.

FAUNA AND TAXONOMIC CHARACTERISTICS OF ROTIFERS (ROTIFERA : ROTATORIA) SPECIES NEW TO GALICIA, ACCORDING TO THE MATERIALS OF LUDWIG KOZAR

*Ivanets O.R. – PhD in Biology, Associate Professor,
Ivan Franko National University of Lviv,
oleh_ivanets@ukr.net*

In research conducted in 1908–1912, L. Kozar registered 38 new *Rotatoria* species for Galicia: *N. cerberus*, *N. torulosa*, *N. copeus*, *N. pachyura*, *P. decipiens*, *P. petromyxon*., *P. reinhardtii*, *E. najas*, *E. elongata*, *D. hoodi*, *D. tigridia*, *E. biraphis*,

E. clastopis, *E. brachionus*, *M. mucronata*, *M. bicarinata*, *M. compressa*, *L. gissensis*, *M. cornuta*, *M. hamata*, *L. pygmaea*, *L. oblonga*, *C. colurus*, *T. iernis*, *T. pusilla*, *D. tenuior*, *D. weberi*, *D. porcellus*, *T. mucronata*, *P. crystallina*, *P. intermedia*, *A. vaga*, *R. tardigrada*, *R. elongata*, *M. quadricornifera*, *D. macrostyla*, *H. lata*, *H. tridens*.

The registered species belong to three genera (*Ploima*, *Flosculariaceae*, *Bdelloidea*), ten families (*Notommatidae*, *Epiphanidae*, *Mytilinidae*, *Euchlanidae*, *Lepadellidae*, *Trichocercidae*, *Testudinellidae*, *Floscularidae*, *Adinetidae*, *Philodinidae*) and 21 genera (*Notommata*, *Proales*, *Pleurotrocha*, *Eosphora*, *Diaschiza*, *Encentrum*, *Epiphanes*, *Mytilina*, *Lecane*, *Monostyla*, *Lepadella*, *Colurella*, *Trichocerca*, *Diurella*, *Testudinella*, *Ptygura*, *Adineta*, *Rotaria*, *Macrotrachela*, *Dissotrocha*, *Habrotrocha*).

The most represented, taking into account the number of families, is the *Ploima* order (7 families), the *Flosculariaceae* order is represented by one family. The order *Bdelloidea* includes two families.

Taking into account the peculiarities of the taxonomic structure of individual families, the *Notommatidae* family (6 genera) and the *Philodinidae* family (4 genera) are the richest in the spectrum of genera. Five families (*Epiphanidae*, *Mytilinidae*, *Testudinellidae*, *Floscularidae*, *Adinetidae*) are represented by only one genus. Three families (*Euchlanidae*, *Lepadellidae*, *Trichocercidae*) have two genera each.

The family *Notommatidae* also unites two subfamilies: *Notommatinae* (includes 5 genera) and *Dicranophorinae* (contains one genus). The *Philodinidae* family also has two subfamilies: *Philodininae* (represented by three genera) and *Habrotrochinae* (represented by one genus).

The most presentable in the spectrum of species is the *Ploima* order (includes 29 species). Taking into account this indicator, the *Flosculariaceae* order is the least presentable (includes only two species). The order *Bdelloidea* includes 7 species taxa.

Key words: water ecosystems, rotifers, fauna, Galicia, *Rotifera*, *Rotatoria*.

ЛІТЕРАТУРА

1. 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. L 327, 22.12.2000. 72 p.
2. Арсан О. М., Давидов О. А., Дяченко Т. М. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод. За ред. В. Д. Романенка. НАН України. Ін-т гідробіології. К.: Логос, 2006. 408 с.
3. Романенко В. Д., Жукинський В. М., Оксіюк О. П., Яцик А. В., Чернявська А. П., Васенко О. Г., Верниченко А. А. Методика встановлення і використання екологічних нормативів якості поверхневих вод суші та естуаріїв України. К., 2001. 48 с.
4. Іванець О. Р. А. Вежейський – фундатор ротаторіологічних досліджень на теренах Галичини. *Регіональні аспекти флористичних і фауністичних досліджень*: матеріали першої Міжнародної наук.-практ. конф. (10–12 квітня 2014 р., м. Хотин). Чернівці: Друк Арт. С. 352–355.
5. Іванець О. Р. Гідробіологічні дослідження А. Вежейського на теренах Карпат. *Історичні і сучасні аспекти вивчення біоти Карпат*: матері-

- али наук. конф., присвяч. 60-річчю Високогірного біологічного стаціонару Львівського національного університету імені Івана Франка. (27–30 липня 2015 р.). С. 78–80.
6. Wierzejski A. Liste des Rotiferes observes en Galicie (Autriche-Hongrie). *Bull. soc. zool. France*. 16. 1891. P. 49–52.
 7. Wierzejski A. Zur Kenntnis der *Asplanchna*-Arten. *Zool. Anz.* 15. 1892. PP. 345–349.
 8. Wierzejski A. Rotatoria (wrotki) Galicyi. Kraków: Akademia Umiejętności. Druk. Uniw. Jag. 1893. 112.
 9. Іванець О. Р. До вивчення фауни коловерток (*Rotatoria*) водойм лісових ландшафтів. *Український лісотехнічний університет. 46 науково-технічна конференція: матеріали 46-ої наук.-техні. конф. Львівського лісотехнічного університету (лісогосподарська секція, 12–19 квітня 1994 р.)*. Львів, 1994. С. 91–93.
 10. Іванець О. Р. Фауна планктонних коловерток (*Rotatoria*) ставів західного лісостепу України. *Актуальні проблеми медицини, біології, ветеринарії і сільського господарства*. Серія медицина і біологія. Книга наукових статей. П'ята книга. Львів, 2001. С. 46–51.
 11. Іванець О. Р. Еколого-фауністична характеристика роду *Brachionus* (*Rotatoria*) у водоймах різноманітного типу. *Наукові записки Тернопільського державного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка*. Серія: Біологія, № 3(14). Спеціальний випуск: Гідроекологія. 2001, С. 53–55.
 12. Іванець О. Р. Методичні вказівки до систематико-фауністичного вивчення коловерток (*Rotatoria*). Львів. ЛДУ. 1996. 28 с.
 13. Іванець О. Р. Морфологічні характеристики екологічних груп коловерток (*Rotifera*, *Rotatoria*) як основа адаптацій до факторів середовища. *Стан і біорізноманіття екосистем Шацького національного природного парку: матеріали наук. конф. (12–15 вересня 2013 р.)*. Львів: Споллом, 2013. С. 28–32.
 14. Іванець О. Р. Таксономічна структура та динаміка популяцій роду *Asplanchna* (*Rotifera* : *Monogononta*) Українського Розточчя. *Вісник ЛНУ ім. І. Франка*. Сер. біол. 2018. Вип. 79. С. 114–121.
 15. Іванець О. Р. *Filinia* в спектрі раціону *Asplanchna* (*Rotifera*: *Monogononta*) рівнинних гідроекосистем заходу України. *Екологічні науки*. Вип. 2(25). 2019. С. 147–151. URL: <https://doi.org/10.32846/2306-9716-2019-2-25-23>
 16. Іванець О. Р. Фауністична характеристика угруповань коловерток (*Rotifera* : *Rotatoria*) водойми Глинна Наварія. *Екологічні науки*. Вип. 2(41). 2022. С. 119–124. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.2-41.20>

17. Ivanets O. R. Zooplankton of the water vegetation in the ponds of west forest-steppe of Ukraine. *Bulletin of the Lviv National University named after I. Franko. Biological series*. Issue 56. PP. 148–156.
18. Ivanets O. R. The fauna of *Rotatoria* and microcrustaceans (*Cladocera*, *Copepoda*) of the Ukrainian Roztocze and its surroundings. *Development of natural sciences in countries of the European Union taking into account the challenges of XXI century: Collective monograph*. Lublin : Izdevnieciba “Baltija Publishing”, 2018. PP. 183–196.
19. Kovalchuk A. A., Ivanets O. R. The impact of damming and water poundage on the formation and structure of zooplanktocoenoses in the conditions of rivers in the Ukrainian Roztocze (the “outer” or “chunk” Carpathians). *Issues and challenges of small hydropower development in the Carpathians region (hydrology, hydrochemistry, and hydrobiology of watercourses)*. Monograph. Uzhgorod-L'viv-Kyiv : Biological Faculty of L'viv National University & Hydroecological society “Uzh”, 2016. PP. 138–151.
20. Kozar L. Zur Rotatorienfauna der Torfmoorgewässer, zugleich I. Ergänzung zur Kenntnis dieser Fauna Galiziens. *Zool. Anz.* 44. 1914. PP. 413–425.
21. Mayr E. *Populations, Species, and Evolution* (Harvard Univ. Press, Cambridge, MA). 1970. 453 p.

REFERENCES

1. 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. L 327, 22.12.2000. 72.
2. *Metody hidroekologichnykh doslidzhen' poverkhnevykh vod*. O. M. Arsan, O.A. Davydov, T. M. Dyachenko ta in.; za red. V. D. Romanenka. NAN Ukrainy. In-t hidrobiolohiyi (2000). [Methods of hydroecological research of surface waters. O. M. Arsan, O. A. Davydov, T. M. Dyachenko and others; under the editorship V. D. Romanenko. National Academy of Sciences of Ukraine]. Institute of Hydrobiology. Kyiv: Logos. [in Ukrainian].
3. Romanenko V. D., Zhukyns'kyi V. M., Oksiyuk O. P., Yatsyk A. V., Chernyavs'ka A. P., Vasenko O. H., Vernychenko A. A. (2001). *Metodyka vstanovlennya i vykorystannya ekolohichnykh normatyviv yakosti poverkhnevykh vod sushy ta estuariyiv Ukrainy*. [Methodology for establishing and using ecological standards for the quality of surface waters of land and estuaries of Ukraine]. Kyiv. [in Ukrainian].
4. Ivanets O. R. (2014). *A. Vezheys'kyi – fundator rotatoriologichnykh doslidzhen' na terenakh Halychyny* [A. Vezheyskyi is the founder of rotatoriological research on the territory of Galicia]. *Regional aspects of floristic and*

- faunal research: materials of the first International Science-Practice. conf.* (April 10–12, 2014, Khotyn). Chernivtsi: Print Art. 352–355. [in Ukrainian].
5. Ivanets O. R. (2015). *Hidrobiologichni doslidzhennya A. Vezheys'koho na terenakh Karpat* [Hydrobiological research by A. Vezheyskyi on the terrain of the Carpathians]. *Historical and modern aspects of the study of the biota of the Carpathians: materials of the scientific conference dedicated to the 60th anniversary of the High Mountain Biological Station of Ivan Franko Lviv National University* (July 27–30, 2015), Lviv. 78–80. [in Ukrainian].
 6. Wierzejski A. (1891). *Liste des Rotiferes observes en Galicie (Autriche-Hongrie)* [List of Rotifers observed in Galicia (Austria-Hungary)]. *Bull. soc. zool. France*, 16, 49–52. [in French].
 7. Wierzejski A. (1892). *Zur Kenntnis der Asplanchna-Arten* [On the knowledge of Asplanchna species]. *Zool. Anz*, 15, 345–349. [in German].
 8. Wierzejski A. (1893). *Rotatoria (wrotki) Galicyi* [Rotatoria (rotifers) of Galicia]. Kraków: Academy of Sciences. Printing. Univ. Jag. [in Polish].
 9. Ivanets O. R. (1994). *Do vyvchennya fauny kolovertok (Rotatoria) vodoym lisovykh landshaftiv* [To study the fauna of rotifers (*Rotatoria*) reservoirs of forest landscapes]. *Ukrainian Forestry University. 46th scientific and technical conference: materials of the 46th scientific and technical conference. conf. Lviv Forestry University (Forestry Section, April 12–19, 1994)*. Lviv, 91–93. [in Ukrainian].
 10. Ivanets O. R. (2001a). *Fauna planktonnykh kolovertok (Rotatoria) staviv zakhidnoho lisostepu Ukrayiny* [The Fauna of planktonic rotifers (*Rotatoria*) of the ponds of the western forest-steppe of Ukraine]. *Actual problems of medicine, biology, veterinary medicine and agriculture. Medicine and biology series. Book of scientific articles. The fifth book*. Lviv, 46–51. [in Ukrainian].
 11. Ivanets O. R. (2001b). *Ekoloho-faunistychna kharakterystyka rodu Brachionus (Rotatoria) u vodoymakh riznomanitnoho typu* [Ecological and faunal characteristics of the genus *Brachionus* (*Rotatoria*) in water bodies of various types]. *Scientific notes of Ternopil State Pedagogical University named after Volodymyr Hnatyuk. Series: Biology*, no. 3(14). Special issue: Hydroecology. 53–55. [in Ukrainian].
 12. Ivanets O. R. (1996). *Metodychni vkazivky do systematyko-faunistychnoho vyvchennya kolovertok (Rotatoria)* [Methodical guidelines for the systematic and faunal study of rotifers (*Rotatoria*)]. Lviv: LNU. [in Ukrainian].
 13. Ivanets O. R. (2013). *Morfolohichni kharakterystyky ekolohichnykh hrup kolovertok (Rotifera, Rotatoria) yak osnova adaptatsiy do faktoriv sere-dovyshcha* [Morphological characteristics of ecological groups of rotifers (*Rotifera*, *Rotatoria*) as the basis of adaptations to environmental factors]. *State and biodiversity of the ecosystems of the Shatskyi National Nature*

- Park: materials of the scientific conference.* (September 12–15, 2013). Lviv: Spolom. 28–32. [in Ukrainian].
14. Ivanets O. R. (2018). *Taksonomichna struktura ta dynamika populyatsiy rodu Asplanchna (Rotifera: Monogononta) Ukrayins'koho Roztochchya* [Taxonomic structure and population dynamics of the genus *Asplanchna* (Rotifera: Monogononta) in the Ukrainian Roztocze]. *Bulletin of I. Franko Lviv National University. Ser. Biological*, Issue 79, 114–121. [in Ukrainian].
 15. Ivanets O. R. (2019). *Filinia v spektri ratsionu Asplanchna (Rotifera: Monogononta) rivnyynykh hidroekosystem zachodu Ukrayiny* [Filinia in the spectrum of the diet of *Asplanchna* (Rotifera: Monogononta) of the lowland hydroecosystems of western Ukraine]. *Ecological Sciences*, Issue 2(25), 147–151. URL: <https://doi.org/10.32846/2306-9716-2019-2-25-23>. [in Ukrainian].
 16. Ivanets O. R. (2022). *Faunistychna kharakterystyka uhrupovan' kolover-tok (Rotifera : Rotatoria) vodoymy Hlynna Navariya* [Faunal characteristics of groups of rotifers (Rotifera: Rotatoria) of the Glynna Navaria reservoir]. *Ecological Sciences*, Issue 2(41), 119–124. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.2-41.20>. [in Ukrainian].
 17. Ivanets O. R. (2011). Zooplankton of the water vegetation in the ponds of west forest-steppe of Ukraine. *Bulletin of the Lviv National University named after I. Franko. Biological series*, Issue 56, 148–156.
 18. Ivanets O. R. (2018). The fauna of *Rotatoria* and microcrustaceans (*Cladocera*, *Copepoda*) of the Ukrainian Roztocze and its surroundings. *Development of natural sciences in countries of the European Union taking into account the challenges of XXI century : Collective monograph*. Lublin : Izdevnieciba “Baltija Publishing”. 183–196.
 19. Kovalchuk A. A., Ivanets O. R. (2016). The impact of damming and water poundage on the formation and structure of zooplanktocoenoses in the conditions of rivers in the Ukrainian Roztocze (the “outer” or “chunk” Carpathians). *Issues and challenges of small hydropower development in the Carpathians region (hydrology, hydrochemistry, and hydrobiology of water-courses)*. *Monograph*. Uzhgorod-L'viv-Kyiv : Biological Faculty of L'viv National University & Hydroecological society “Uzh”. 138–151.
 20. Kozar L. (1914). Zur Rotatorienfauna der Torfmoorgewässer, zugleich I. Ergänzung zur Kenntnis dieser Fauna Galiziens [On the *Rotatoria* fauna of peat bog waters, also the first addition to the knowledge of this fauna in Galicia]. *Zool. Anz.*, 44, 413–425. [in German].
 21. Mayr E. (1970). *Populations, Species, and Evolution*. Harvard Univ. Press, Cambridge, MA.

UDC 574.52

DOI <https://doi.org/10.32782/wba.2023.2.9>

THE IMPACT OF THE PLANNED ACTIVITIES OF THE “TERNIVSKA” MINE ON THE SAKSAGAN RIVER ICHTHYOFAUNA (KRYVYI RIH, UKRAINE)

Marenkov O.M. – Candidate of Biological Science, Associate Professor,

Vice-rector for Research,

Nesterenko O.S. – PhD (Biology), Junior research fellow,

Shmyhol N.V. – PhD student,

Reshetniak D.S. – PhD student,

Zamalin B.Yu. – PhD student,

Yerukh M.M. – PhD student,

Oles Honchar Dnipro National University,

gidrobions@gmail.com

Scientific monitoring of mine activity in the context of indicators of ichthyofauna populations, hydroecological regime and other components of the biocenosis, post-project monitoring of the place of mine activity is an important and necessary measure to ensure rational nature management.

In the course of the work, the generalized results of studies conducted in 2021 in the area of influence of the planned activity of the “Ternivska” mine were used. The study of the hydrochemical regime was carried out according to generally accepted methods. Indicators were determined using the EZODO AZ-86031 hydrochemical device (Oximeter/pH-meter/conductometer/salt meter) and a set of express tests for rapid determination of water quality TESTLAB (JBL, Germany, 2021). The hydrogen index (pH), dissolved gases, biogenic elements, hardness, water temperature, electrical conductivity, general mineralization (salinity) were determined in the water. Indicators of the chemical composition of water were compared with normative criteria of water quality according to hygienic and ecological criteria (SSTU 4808:2007). Fish were caught in September in littoral zone. The fishing tools were: an ichthyological net, a seine 10 m long, fish fry traps. The entire fish catch was divided by species, their number was counted, and the length was measured with an accuracy of 1 mm and the weight of individuals was determined with an accuracy of 0.01 g. The relative abundance was taken as the number of individuals per 100 m² of the catch area. Species belonging was determined according to A.F. Koblytska. Statistical processing of the results was carried out using the variational statistical method with STATISTICA 6.0. The reliability of the obtained data was assessed using the Student's t-test.

The water of the Saksagan River has been characterized by quite high mineralization (2.53–2.73 g/l) for many years in a row. The ichthyocenosis of Saksagan river was dominated by short-cycle species with a high range of adaptations to transformed water bodies and characterized by the following indicators of the number and biomass of fish – 87.54 specimens/100 m² and 126.33 g/100 m². Among the studied fish species, there are no endangered species listed in the Red Book of Ukraine. Under

the existing conditions, the influence of the planned activities of the “Ternivska” mine on the flora and fauna of the Saksagan River is ecologically acceptable.

The results of the research can be used in the development of the regulation of hydrobiological monitoring of the water of the Saksagan River in the zone of influence of the planned activity of the “Ternivska” mine, as well as any other water bodies used in the production process of mining enterprises.

Key words: ichthyofauna, hydrochemistry, monitoring, mine, sewage.

Problem statement and analysis of last achievements and publications. The planned activity of JSC “KRYVBASZALIZRUDKOM” consists in the continuation of the extraction of rich iron ores at the field deposit of the Ternivska mine in accordance with the Special Subsoil Use Permit No. 2556 dated 10.12.2001, Order of the State Geology and Subsoil Service of Ukraine No. 410 dated 10.31.2018 – extension of the term of validity; dated 31.10.2018 No. 412 – making changes. The design capacity of the mine is 2,000 thousand tons of rich ore. Cleaning works are carried out at the horizon of 1200 m and above. The average iron content in the mine massif at the working horizons is 55.77 %. Mine water is used for dust suppression in the underground technological process of iron ore extraction. The territories of industrial sites of mines of JSC “KRYVBASZALIZRUDKOM” are equipped with storm sewer systems and local wastewater treatment facilities.

The impact of the planned activity on the water environment of the Saksagan River is caused, first of all, by the surface runoff from the Ternivska mine site, which, after treatment at the enterprise’s local treatment facilities, is discharged into the Saksagan River. In accordance with the legislation, the quality of wastewater is monitored. In accordance with the requirements of the legislation, monitoring of the quality of wastewater is provided. The collection and treatment of wastewater from the territory of the planned operation of the Ternivska mine improves the condition of the surface runoff that is formed in the given area, localizes it from infiltration into the soil layer and underground aquifers, and surface water bodies.

The “Ternivska” mine of JSC “Kryvbaszalizrudkom” has one discharge (No. 1) of return water (rainwater and meltwater from the territory of the industrial site) in the Saksagan River. Discharge of treated return water (rainwater and meltwater from the industrial site) into the Saksagan River is carried out on the basis of special water use permit No. 363/DP/49d-18 dated June 27, 2018.

To control the established standards of maximum permissible discharge of pollutants that enter the water body together with return (rain and melt) water, laboratory tests are carried out in accordance with the control procedure, in accordance with the standards of maximum permissible discharges (MDS) and the schedule of laboratory control of the quality of return (storm) water, which is agreed annually by the Department of Ecology and Natural Resources

of the Dnipropetrovsk Regional State Administration (Dnipropetrovsk RSA). In addition, the enterprise carries out systematic control over the efficiency of the treatment facilities, by comparing the actual and design parameters of the water composition.

Monitoring of the influence of the planned activities of the “Ternivska” mine on the population of ichthyofauna and other components of the Saksagan River biocenosis is being carried out for the third time in 2021 year. Thus, in the second half of the 2021 (in September), monitoring studies were carried out by employees of the Scientific Research Laboratory of Hydrobiology, Ichthyology and Radiobiology of the Scientific Research Institute of Biology of DNU, taking into account the current state of the components of the environment, the direct and indirect cumulative impact of existing objects.

Highlight of the earlier unresolved parts of the general problem.

Aim of the study. The activities of mining enterprises are associated with environmental impact and, in some cases, require monitoring studies of the impact of planned mining activities on environmental components. Under anthropogenic influence, the natural regime of the river changes [1, 2]. This includes: the impact of dams and dams, discharge of water, as well as water withdrawal for technical needs. The highest flow of water in Saksagani reaches 240 m³/sec. Analyzing the data of the past years, the main pollutants coming from permanent drinking fountains in the Saksagan River are the following: chlorides – 624 mg/l, sulfates – 1015 mg/l, ammonium nitrogen – 0.56 mg/l, nitrates – 1.4 mg/l, nitrites – 0.07 mg/l, petroleum products – 0.3 mg/l, iron – 14 mg/l, phenols – 0.001 mg/l, phosphates – 0.15 mg/l, suspended matter – 14 mg/l. The total mineralization of Saksagan River water is 2660 mg/l [3–5].

In this regard, **the purpose** of the research work was to study the current indicators of the population of ichthyofauna and other components of the Saksagan river biocenosis in the conditions of the planned activities of the “Ternivska” mine, as well as the fulfillment of the environmental conditions imposed on the economic entity including the implementation of post-project monitoring, which are established by the conclusions of the environmental impact assessment.

To achieve the goal, it was necessary to perform the following **tasks**:

- prepare and carry out an expedition trip to the Saksagan River during September 2021;
- select the ichthyological material for research;
- measure the main accompanying hydrochemical (water temperature, pH, electrical conductivity, total salinity) indicators.

Materials and methods. Hydrochemical and hydrobiological studies of the Saksagan River were conducted in September 2021 during expeditionary works.

Methods of hydrochemical studies. The study of the hydrochemical regime was carried out according to generally accepted methods [6]. Hydrobiological samples were taken in September 2021 at 3 sections of the Saksagan River (stations), namely:

- 500 meters above the discharge of return (rain and melt) waters of the “Ternivska” mine (point No. 1);
- at the place of release No. 1 of return (rain and melt) waters of the “Ternivska” mine (point No. 2);
- 500 meters below the release of return (rain and melt) waters of the “Ternivska” mine (point No. 3).

The hydrogen index (pH), dissolved gases, biogenic elements, hardness, water temperature, electrical conductivity, general mineralization (salinity) were determined in the water. Indicators of the chemical composition of water were compared with normative criteria of water quality according to hygienic and ecological criteria (DSTU 4808:2007). Indicators were determined using the EZODO AZ-86031 hydrochemical device (Oximeter/pH-meter/conductometer/salt meter) and a set of express tests for rapid determination of water quality TESTLAB (JBL, Germany, 2021).

Methods of ichthyofauna studies. Fish were caught in September in littoral zone. The fishing tools were: an ichthyological net, a seine 10 m long, fish fry traps. The entire fish catch was divided by species, their number was counted, and the length was measured with an accuracy of 1 mm and the weight of individuals was determined with an accuracy of 0.01 g [7]. The relative abundance was taken as the number of individuals per 100 m² of the catch area [7]. Species belonging was determined using FishBase Database (<https://www.fishbase.se/search.php>).

Statistical processing of the results was carried out using the variational statistical method. The reliability of the obtained data was assessed using the Student's t-test. The null hypothesis was rejected at $p \leq 0.05$. All calculations were performed using the Statistica 6.0 software package.

Study results and their discussion. Hydrochemical analysis. In order to quickly assess the quality of water as a habitat for hydrobionts, a field assessment of hydrochemical parameters was conducted using a certified TESTLAB hydrochemical set (JBL, Germany, 2021).

This approach allows you to instantly determine the quality of water during sampling and quickly determine the ecotoxicological state of the aquatic environment. When testing the water, the following indicators were determined: the content of ammonium (NH_4^+), nitrites (NO_2^-), nitrates (NO_3^-), iron (Fe^{2+}), phosphates (PO_4^{3-}). The results of the express assessment are shown in Table 1.

According to the results of the study, water at all investigated sampling points met the physical and chemical parameters of State Standards of Ukraine DSTU 4808: 2007.

Table 1. Results of the rapid assessment of the quality of the water environment of the Saksagan River, in the area of influence of “Ternivska” mine

Indicator Points	Date of measurements 14.09.2021		
	№ 1	№ 2	№ 3
NH ₄ ⁺ , mg/dm ³	<0.05	<0.05	<0.05
NO ₂ ⁻ , mg /dm ³	<0.01	<0.025	<0.01
NO ₃ ⁻ , mg /dm ³	<0.5	1	<0.5
Fe ²⁺ , mg /dm ³	<0.02	<0.02	<0.02
PO ₄ ³⁻ , mg /dm ³	<0.02	<0.02	<0.02

Note: point № 1 – 500 m above the discharge of return (rain and melt) water; point № 2 – place of release of (rain and melt) water; point №3 – 500 m below the release of return (rain and melt) water.

The results of the hydrochemical analysis allowed us to note that the content of ammonium nitrogen (NH₄⁺) at all test points is <0.05 mg N/dm³, which does not exceed the requirements for water quality and characterizes it within the 1st quality class. Different forms of nitrogen can change into each other during the nitrogen cycle.

The content of nitrites at all experimental points does not exceed the maximum allowable concentrations and corresponds to the 2nd class of water quality. The content of nitrates (NO₃⁻) at all test points also does not exceed the maximum permissible concentrations – from <0.5 mg/dm³ to 1 mg/dm³, which corresponds to the 3rd class of water quality.

Comparing the obtained results with summer indicators, the concentration of nitrites and nitrates did not change.

The content of iron (Fe²⁺) in the water at all test points was satisfactory and characterizes it within the 1st quality class. The content of these compounds may vary depending on the regional, climatic, landscape and hydrological features of the zone of existence.

As for the content of phosphates, their content was kept at the level of <0.02 mg/dm³, which corresponds to the standards of DSTU 4808:2007. In autumn, this indicator slightly decreased compared to summer indicators, this is due to seasonal climatic changes. Phosphorus compounds enter the water as a result of intrareservoir processes, weathering and dissolution of rocks, exchange with bottom sediments, and from anthropogenic sources.

Analyzing the data obtained from last year's research [1], the content of ammonium nitrogen (NH₄⁺) and the content of nitrites (NO₂⁻) at the experimental points did not change. The content of nitrates (NO₃⁻) also did not change significantly, except for the point of release of (rain and melt) water, where a slight increase of this indicator was observed. The iron content decreased three

times at the point above the discharge of return (rain and melt) water. As for the content of phosphates (PO_4^{3-}), its content is at the level of last year's values and did not exceed the normative indicators.

In accordance with the technical task, the following indicators were determined using the hydrochemical device EZODO AZ-86031 (Oximeter/pH-meter/conductometer/salt meter): temperature (t °C), hydrogen indicator (pH), oxygen content, mineralization and electrical conductivity of water.

In water bodies, the temperature is the result of the simultaneous action of solar radiation, heat exchange with the atmosphere, heat transfer by currents, mixing of water masses and the arrival of heated water from an external source. Temperature is one of the limiting factors affecting the composition and properties of water. The average water temperature at the sampling points was at the level of +18.6 °C to +18.9 °C.

Hydrogen indicator pH ranged within acceptable limits from 7.85 units to 7.91 units. The development and vital activity of aquatic organisms, the stability of various forms of elements and its migration, and the form of existence of a number of chemical compounds in water depend on the value of pH.

The amount of mineralization in different areas of the experimental reservoir varied from 2530.0 mg/dm³ at the point of release of return (rain and melt) water to 2730.0 mg/dm³ at the point above the release of return (rain and melt) water.

The lowest indicator of electrical conductivity of water was at the points of discharge of return (rain and melt) water and amounted to 529 μS, and the highest at the place above the release of return (rain and melt) water – 550 μS (Table 2).

Table 2. Hydrochemical parameters of Saksagan River water near “Ternivska” mine, September 14, 2021

Selection point	pH	t °C	Oxygen content, mg/dm ³	Oxygen content, %	Mineralization, mg/dm ³	Conductivity, μS
500 m above the catchment of return (rain and melt) waters	7.85	18.7	6.5	46.4	2730.0	550.0
Place of release of (rain and melt) water	7.91	18.9	7.0	50.0	2530.0	529.0
500 m below the flow of return (rain and melt) waters	7.85	18.6	6.6	47.1	2720.0	541.0

Comparing the data with last research [1], it was found that the mineralization of water increased by an average of 20.6 %, and the electrical conductivity of water decreased by 14.05 %. Indicators of water mineralization

and the content of main ions in water have a tendency to transform both under the influence of anthropogenic load and as a result of the action of natural factors. The electrical conductivity of water depends mainly on the concentration of dissolved mineral salts and temperature.

The highest oxygen content in water was recorded at the point of discharge of return (rain and melt) water and was 50 %, and the lowest indicator was at the point above the discharge (rain and melt), which was 46.4 %. The content of dissolved oxygen in water is subject to seasonal and daily fluctuations.

Comparing the obtained data with last year's research, we observe an increase in oxygen content in all experimental areas. The main sources of oxygen entering water bodies are gas exchange with the atmosphere (atmospheric aeration), photosynthesis, as well as rainwater and meltwater, which, as a rule, are oversaturated with oxygen. Oxidative reactions are the main sources of energy for most hydrobionts. The main consumption of dissolved oxygen occurs in the process of respiration of hydrobionts and oxidation of organic substances by microorganisms. The low content of dissolved oxygen affects the entire complex of biochemical and ecological processes in the water body.

Ichthyofauna. Out of 75 common species of fish in the Dnipropetrovsk region, the ichthyofauna of Kryvorizhzhya includes 37 species. Among them, 5 species of fish are included in the «Red Book of Ukraine»: burbot (*Lota lota* L.), common dace (*Leuciscus leuciscus* L.), ide (*Leuciscus idus* L.), crucian carp (*Carassius carassius* L.), percarina (*Percarina demidoffii* Nordmann).

Regulation of the flow of the Ingulets and Saksagan rivers affected the formation of ichthyofauna, which led to changes in the faunal complexes and trophic groups of fish: the changes were reflected in the species composition and number of fish groups. Due to stocking, the ichthyofauna of the reservoir has been enriched with introduced species: grass carp (*Ctenopharyngodon idella* Valenciennes) and silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix* Valenciennes), which are mainly introduced for the purpose of biomelioration.

In recent years, the ichthyofauna of the region has been enriched due to the spread of resident species. For example, through the Dnipro-Kryvyi Rih canal and the Ingulets River to the Saksagan River, Black and Caspian Sea sprat (*Clupeonella delicatula* Nordmann), black-striped pipefish (*Syngnathus abaster* Risso), three-spined stickleback (*Gasterosteus aculeatus* L.), round goby (*Neogobius melanostomus* Pallas) and pumpkinseed (*Lepomis gibbosus* L.).

The 8 species of fish are of industrial and fishery importance: roach (*Rutilus rutilus* L.), white bream (*Blicca bjoerkna* L.), freshwater bream (*Abramis brama* L.), common carp (*Cyprinus carpio* L.), prussian carp (*Carassius gibelio* Bloch), european perch (*Perca fluviatilis* L.), pike-perch (*Zander lucioperca* L.), northern pike (*Esox lucius* L.), wels catfish (*Silurus glanis* L.), which are found in different parts of the river.

Within the studied stations, the modern species composition of fish included 15 species of fish belonging to 6 families (Clupeidae – 1; Cyprinidae – 7; Percidae – 1, Cobitidae – 1; Centrarchidae – 1; Gobiidae – 4), which is 40.5 % from the total species composition of fish of the Saksagan River for the entire period of ichthyological research (starting from the 30s of the last century). In the previous period of research (2020), 15 species were also recorded on the river section, but according to the species composition in 2021, no catfish was caught by fishing gear, instead, european perch was caught.

As in the previous year, the ichthyocenosis was dominated by short-cycle species with a high range of adaptations to transformed water bodies – the stone moroko, european bitterling, and bleak. In the previous research period (2019–2020), the dominance of these species was also observed.

The number of the bleak reached 34.08 specimens/100 m² at a point 500 m below the discharge of return (rain and melt) waters of the “Ternivska” mine with the average number and biomass in the zone of influence of the mine – 22.55 specimens /100 m² and 45.48 g/100 m² respectively (Table 3).

In the multi-year aspect, the number of the bleak remained at a stable level. The number of the stone moroko, fluctuates significantly, which is caused by the cyclical phenomena of its reproduction: in 2006, it was 12.0 specimens/100 m², in 2018 – 392 specimens/100 m², in 2019 – 49.39 specimens/100 m², in 2020 – 32.65 specimens/100 m², in 2021 – 24.88 specimens/100 m².

Wide variation in fish abundance is also associated with sampling season, level regime and water temperature. The tendency of the distribution and numerical dominance of short-cycle species can be explained by the lack of places for effective natural spawning and feeding for fry of other fish species, which are more demanding to the conditions of natural reproduction, as well as by the inflow of municipal and industrial wastewater, and other negative factors.

In September 2021, the section of the Saksagan River, which is under the influence of the Ternivska mine, was characterized by the following indicators of the number and biomass of fish – 87.54 specimens/100 m² and 126.33 g/100 m², which is almost at the level of the indicators of 2020.

During the research period, fish that have a protective status and are listed in the Red Book of the Dnipropetrovsk Region or the Red Book of Ukraine were not found within the scope of the planned activities of the “Ternivska” mine.

Conclusion and perspectives of further development. Based on the results of hydro-ecological monitoring studies conducted in the water area of the Saksagan River in autumn of 2021 within the scope of the planned activities of the “Ternivska” mine, the following generalizations can be made:

1. According to the hydrochemical composition, the water of the Saksagan River has been characterized by quite high mineralization (2.53–2.73 g/l) for many years in a row, which is caused by the complex influence of several

Table 3. Species composition, number and biomass of fish in the Saksagan River, September 2021

№	Species of the fish	age	Mine "Ternivska"									
			Point 1		Point 2		Point 3		Average value			
			N, specimens /100 m ²	B, gr/100 m ²	N, specimens /100 m ²	B, gr/100 m ²	N, specimens /100 m ²	B, gr/100 m ²	N, specimens /100 m ²	B, gr/100 m ²		
Clupeidae family Cuvier, 1816												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
1	Black and Caspian Sea sprat <i>Clupeonella cultriventris</i> (Nordmann, 1840)	no a/d	0.36	0.65	0.22	0.18	0.16	0.12	0.25	0.32		
Cyprinidae family Fleming, 1822												
2	Bleak <i>Alburnus alburnus</i> (Linnaeus, 1758)	no a/d	9.42	32.17	24.16	42.14	34.08	62.14	22.55	45.48		
3	Prussian carp <i>Carassius gibelio</i> (Bloch, 1782)	0+	1.44	0.98	3.46	2.95	2.34	2.78	2.41	2.24		
		1+	0.34	2.04	2.46	4.68	4.22	3.45	2.34	3.39		
		2+	1.34	46.26	2.45	32.17	0.14	6.43	1.31	28.29		
4	Belica <i>Leucaspis delineatus</i> (Heckel, 1843)	no a/d	0.42	0.08	0	0	0	0	0.14	0.03		
5	Stone moroko <i>Pseudorasbora parva</i> (Temminck et Schlegel, 1846)	no a/d	12.46	5.28	8.46	4.29	9.48	4.02	10.13	4.53		
6	European bitterling <i>Rhodeus amarus</i> (Bloch, 1782)	no a/d	22.18	9.46	24.12	5.86	28.35	5.28	24.88	6.87		
7	Roach <i>Rutilus rutilus</i> (Linnaeus, 1758)	0+	3.24	1.88	2.44	1.24	3.22	2.19	2.97	1.77		
		1+	0.46	0.92	0.44	2.98	0.94	3.48	0.61	2.46		
		2+	0.12	8.42	0.42	8.42	0	0	0.18	5.61		

Continuation of Table 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
8	Rudd <i>Scardinius erythrophthalmus</i> (Linnaeus, 1758)	0+	1.89	1.23	2.43	1.04	5.44	1.28	3.25	1.18
		1+	8.42	3.12	7.44	2.35	10.18	3.21	8.68	2.89
		2+	0.32	6.18	0.64	9.22	0.21	8.24	0.39	7.88
Cobitidae family Swainson, 1839										
9	Spined loach <i>Cobitis taenia</i> Linnaeus, 1758	no a/d	0.32	0.24	0.56	0.34	0	0	0.29	0.19
Centrarchidae family Bleeker, 1759										
10	Pumpkinseed <i>Lepomis gibbosus</i> (Linnaeus, 1758)	no a/d	1.34	4.68	3.18	15.28	0.52	3.56	1.68	7.84
Gobiidae family Fleming, 1822										
11	Racer goby <i>Babka gymnotrachelus</i> (Kessler, 1857)	no a/d	0	0	1.45	0.67	0	0	0.48	0.22
12	Monkey goby <i>Neogobius fluviatilis</i> (Pallas, 1814)	no a/d	0.15	0.22	0.46	0.18	0.42	0.14	0.34	0.18
13	Round goby <i>Neogobius melanostomus</i> (Pallas, 1814)	no a/d	2.48	0.98	0.44	0.32	2.47	0.89	1.80	0.73
14	Tubenose goby <i>Proterorhinus marmoratus</i> (Pallas, 1814)	no a/d	0.32	0.24	2.28	1.02	2.36	1.12	1.65	0.79
Percidae family Cuvier, 1816										
15	European perch <i>Perca fluviatilis</i> Linnaeus, 1758	no a/d	0	0	1.34	4.64	2.22	5.67	1.19	3.44
Total:			67,02	125.03	88.85	139.97	106.75	114.00	87.54	126.33

Note: point 1 – 500 m above the discharge of return (rain and melt) water; point 2 – place of release of (rain and melt) water; point 3 – 500 m below the release of return (rain and melt) water. N – number of specimens/100 m² B – biomass, g/100 m²; Age – no a/d – no age determination; 0+ – this year old; 1+ – two years old; 2+ – three years old; 3+ – four years old.

factors: physical and geographical conditions of the location of the reservoir, flow regulation (Makortivske, Kresivske, Saksagan reservoirs), periodic low water.

2. The ichthyocenosis of Saksagan river was dominated by short-cycle species with a high range of adaptations to transformed water bodies and characterized by the following indicators of the number and biomass of fish – 87.54 specimens/100 m² and 126.33 g/100 m² respectively, which is almost at the level of the indicators of 2020.

3. As in previous years, there are no protected territories (reserves, nurseries and natural monuments), objects of the nature reserve fund, territories of the Emerald network (Emerald network) in the area of influence of the “Ternivska” mine. Among the studied fish species, there are no endangered species listed in the Red Book of Ukraine.

4. Under the existing conditions, the influence of the planned activities of the “Ternivska” mine on the flora and fauna of the Saksagan River is ecologically acceptable.

The results of the research can be used in the development of the regulation of hydrobiological monitoring of the water of the Saksagan River in the zone of influence of the planned activity of the “Ternivska” mine, as well as any other water bodies used in the production process of mining enterprises.

ВПЛИВ ПЛАНОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ШАХТИ «ТЕРНІВСЬКА» НА ІХТІОФАУНУ РІЧКИ САКСАГАНЬ (КРИВИЙ РІГ, УКРАЇНА)

*Маренков О.М. – к.б.н., доцент, проректор з наукової роботи,
Нестеренко О.С. – доктор філософії, молодший науковий співробітник,*

Шмиголь Н.В. – аспірантка,

Решетняк Д.С. – аспірантка,

Замалін Б.Ю. – аспірант,

Єрух М.М. – аспірант,

*Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара,
gidrobions@gmail.com*

Здійснення наукового супровіду діяльності шахт в контексті показників популяцій іхтіофауни, гідроекологічного режиму та інших складових біоценозу, постпроектного моніторингу місця діяльності шахт є важливим та необхідним заходом для забезпечення раціонального природокористування.

У ході роботи використовувалися узагальнені результати досліджень, що проводилися у 2021 р. в районі впливу планової діяльності шахти «Тернівська». Дослідження гідрохімічного режиму проводили згідно із загальноприйнятими методиками. Визначення показників здійснювали з використанням гідрохімічного

приладу EZODO AZ-86031 (Оксиметр/pH-метр/кондуктометр/солемір) та набору експрес тестів для швидкого визначення якості води TESTLAB (JBL, Німеччина, 2021). У воді визначали водневий показник (pH), розчинені гази, біогенні елементи, жорсткість, температуру води, електропровідність, загальну мінералізацію (солоність). Показники хімічного складу води порівнювали з нормативними критеріями якості води за гігієнічними та екологічними критеріями (ДСТУ 4808:2007). Дослідження іхтіофауни проводили загальноприйнятими іхтіологічними методами. Особин відловлювали у вересні на мілководдях. Знаряддями лову були: іхтіологічний сачок, невід завдовжки 10 м, пастки для мальків риб. Увесь улов риб розподіляли за видами, підраховували їхню кількість і проводили вимірювання довжини з точністю до 1 мм і вимірювання маси особин з точністю до 0,01 г. За відносну чисельність приймали кількість особин на 100 м² площі облову. Видову належність визначали за А. Ф. Коблицькою. Статистичну обробку результатів проводили варіаційно-статистичним методом із використанням STATISTICA 6.0. Достовірність одержаних даних оцінювали за допомогою t-критерію Стьюдента.

За гідрохімічним складом вода р. Саксагань вже багато років поспіль характеризується досить високою мінералізацією (2,53–2,73 г/л). Іхтіофауна річки Саксагань представлена домінуванням короткоциклових видів з широким спектром пристосувань до трансформованих водойм, і характеризувалась чисельністю та біомасою – 87,54 екземплярів/100 м² та 126,33 г/100 м² відповідно. Серед досліджених видів риб відсутні зникаючі та занесені до Червоної книги України види. За наявних умов вплив планової діяльності шахти «Тернівська» на флору та фауну річки Саксагань є екологічно допустимим.

Результати досліджень можуть бути використані у розробці регламенту гідробіологічного моніторингу води річки Саксагань у зоні впливу планової діяльності шахти «Тернівська», а також будь яких інших водойм, що використовуються у виробничому процесі гірничо-добувних підприємств.

Ключові слова: іхтіофауна, гідрохімія, моніторинг, шахта, стічні води.

ЛІТЕРАТУРА

1. Стась М. М., Колесник В. І. (2016). Гідроекологічна оцінка якості води Дніпровського водосховища. *Питання біоіндикації та екології*, 21(1–2), 87–98.
2. Khristov O. O., Kochet V. M., Zagubizhenko N. I. (2006). Problems of mine waters discharge in the Samara River and its influence on biota of the ecosystem. *Biosystems Diversity*, 14(2), 86–93.
3. Marenkov, O. M., & Nesterenko, O. S. (2020). Hydroecological monitoring over the impact of the “Ternivska” mine on the biocenoses of the Saksagan river (Krivi Rih, Ukraine). Publishing House “Baltija Publishing”, 2, 472–492.
4. Шерстюк Н. П., Хільчевський В. К. Особливості гідрохімічних процесів у техногенних і природних водних об'єктах Кривбасу. Дніпропетровськ: Акцент. 2012. 263 с.
5. Alexeyeva, A. A., Marenkov, O. M., Kurchenko, V. O., Holub, I. V., & Petrovsky, O. O. (2019). Biotesting and phytointication of aquatic environment

quality of urbanized territories. *Ecology and Noospherology*, 30(2), 101–105.

6. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод. Під ред. В.Д. Романенко. 2006. Київ. 628 с.
7. Озінковська С. П., Єрко В. М., Коханова Г. Д., Тарасова О. М., Полторацька В. І. Методика збору і обробки іхтіологічних і гідробіологічних матеріалів з метою визначення лімітів промислового вилову риб з великих водосховищ і лиманів України. Київ: ІПГ УААН. 1998. 47 с.

REFERENCES

1. Stas M. M., Kolesnyk, V. I. (2016). *Hidroekologichna otsinka yakosti vody Dniprovskoho vodoshovyscha* [Hydroecological assessment of the water quality of the Dnipro Reservoir]. *Pytannia bioindykatsii ta ekolohii*, 21(1–2), 87–98. [in Ukrainian].
2. Khrystov O. O., Kochet V. M., Zagubizhenko N. I. (2006). Problems of mine waters discharge in the Samara River and its influence on biota of the ecosystem. *Biosystems Diversity*, 14(2), 86–93.
3. Marenkov, O. M., & Nesterenko, O. S. (2020). Hydroecological monitoring over the impact of the “Ternivska” mine on the biocenoses of the Saksagan river (Krivyi Rih, Ukraine). Publishing House “Baltija Publishing”, 2, 472–492. ISBN 978-9934-588-73-0
4. Sherstiuk N. P., Khilchevskyi V. K. (2012). *Osoblyvosti hidrokhimichnykh protsesiv u tekhnohennykh i pryrodnykh vodnykh ob'ekтах Kryvbasu* [Peculiarities of hydrochemical processes in man-made and natural water bodies of Kryvbas]. Dnipropetrovsk: Aktsent. [in Ukrainian].
5. Alexeyeva, A. A., Marenkov, O. M., Kurchenko, V. O., Holub, I. V., & Petrovsky, O. O. (2019). Biotesting and phytoindication of aquatic environment quality of urbanized territories. *Ecology and Noospherology*, 30(2), 101–105.
6. *Metody hidroekologichnykh doslidzhen poverkhnelykh vod* [Methods of hydroecological research of surface waters]. Pid red. V. D. Romanenko. 2006. Kyiv. [in Ukrainian].
7. Ozinkovska S. P., Yerko V. M., Kokhanova H. D., Tarasova O. M., Poltoratska V. I. (1998). *Metodyka zboru i obrobky ikhtiologichnykh i hidrobiologichnykh materialiv z metoiu vyznachennia limitiv promyslovoho vyluchennia ryb z velykykh vodoshovysch i lymaniv Ukrainy* [Methods of collecting and processing ichthyological and hydrobiological materials for the purpose of determining the limits of industrial extraction of fish from large reservoirs and estuaries of Ukraine]. Kyiv: IRH UAAN. [in Ukrainian].

УДК 551.58: 519.23: 528.9: 631

DOI <https://doi.org/10.32782/wba.2023.2.10>

ПРОСТОРОВО-ЧАСОВА ДИФЕРЕНЦІАЦІЯ ВОДНОГО СЛІДУ ВИРОЩУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР НА ВОДОЗБІРНІЙ ТЕРИТОРІЇ РІЧКИ СЛУЧ В УМОВАХ ЗМІН КЛІМАТУ

Пічура В.І. – д.с.-г.н., професор,

Потравка Л.О. – д.е.н., професор,

Херсонський державний аграрно-економічний університет,

pichuravitalii@gmail.com, potravkalarisa@gmail.com

Водний слід є поширеним та дієвим показником оцінювання водних ресурсів. Кількісна оцінка зеленого водного сліду є важливою для оцінки водних ресурсів на басейновому рівні в умовах змін клімату та дефіциту вологості. Сільськогосподарське господарство є основною галуззю природокористування, яке суттєво впливає на водно-балансову стійкість басейнів річок, оскільки є водоемним, а частка використання водного сліду сягає 86 %. Тому, в умовах змін клімату і нестійкого забезпечення вологою, необхідним є удосконалення системи оцінювання, направленої на раціональне використання водних ресурсів у системі басейнового природокористування, охорони довкілля та покращення якості життєзабезпечення населення. Метою дослідження було проведення розрахунку водного сліду щодо вирощування основних польових культур та визначення обсягів додаткової акумуляції води для забезпечення гідрофункціонування басейну річки Случ на території України в умовах змін клімату. Дослідження ґрунтувалися на даних аналізу кліматичних змін за 1981–2022 рр., дешифруванні актуальних супутникових знімків космічного апарату Sentinel 2 та статистичних даних структури сівозміни на агроландшафтах водозбірної території регіону досліджень. Схема дослідження водозбірної території річки Случ та розрахунок водного сліду вирощування сільськогосподарських культур включає шість логічних блоків організації досліджень: виокремлення водотоків та визначення меж водозбірної території, визначення структури земель басейну річки, дослідження змін клімату, розрахунок балансу водоспоживання та просторово-часової диференціації водного сліду вирощування основних польових культур на основі FAO Penman-Monteith method, розрахунок водно-балансової стійкості басейну річки Случ. Розрахунки обсягів витрат водного сліду здійснено для періодів вегетації основних польових озимих та ярих культур за 2018–2021 рр.: 2018–2019 рр. – середньо вологий рік переходить у посушливий рік; 2019–2020 рр. – посушливий переходить у середньовологий рік; 2020–2021 рр. – середньовологий переходить у вологий рік. Встановлено просторово-часові закономірності формування водного сліду та співвідношенні використання зеленої та синьої води при вирощуванні різних сільськогосподарських культур. Загальний об'єм водного сліду вирощування польових культур за визначеної сівозміни склало: у 2018–2019 рр. – 1991 млн м³,

2019–2020 рр. – 2440 млн м³, 2020–2021 рр. – 2363 млн м³. Загальний об'єм надходження атмосферних опадів за вегетаційний період в межах агроландшафтів водозбірної території річки становило: у 2018–2019 рр. – 3760 млн м³, 2019–2020 рр. – 4423 млн м³, 2020–2021 рр. – 4839 млн м³. Загальний об'єм додаткової акумуляція зеленої (дощової) води за вегетаційний період з агроландшафтів басейну річки склало: у 2018–2019 рр. – 1769 млн м³ або 47,0% від надходження атмосферних опадів за вегетаційний період (Pv); 2019–2020 рр. – 1983 млн м³ або 44,8% від Pv; 2020–2021 рр. – 2476 млн м³ або 51,2 % від Pv. Запропонована схема досліджень та отримані результати є важливими для коригування та обґрунтування водо- та ресурсозберігаючих агротехнологій і сівозмін залежно від кліматичних змін, для визначення водно-балансової стійкості басейну річки у відповідності до показників додаткової акумуляції зеленої води.

Ключові слова: клімат, водний слід, сільське господарство, польові культури, водоспоживання, басейн річки, моделювання, річка Случ.

Постановка проблеми. Зміни клімату є важливим глобальним викликом людства, який потребує міждисциплінарного підходу у його подоланні. Кліматичні зміни проявляються в інтенсивності та частоті кліматичних аномалій, екстремальних погодних явищ на різних рівнях ієрархії у просторі і часі. За останні 30 років значно збільшилася частота та інтенсивність небезпечних погодних явищ [1, 2], які є причиною суттєвих економічного збитку [3], загрожують існуванню басейнових ландшафтів [4] і аквальних екосистем [5, 6], здоров'ю та життю людей [7]. Тому, актуальності набуває збалансоване управління природними ресурсами у розбудові кліматично орієнтоване господарювання [8], розбудова якого потребує вибору особливої просторової одиниці біосфери. У цьому контексті для визначення просторово-часових закономірностей організації та взаємозв'язків стабілізуючих (природне середовище) та дестабілізуючих (антропогенне середовище) компонентів екосистем обрано басейн річки [9, 10]. Зокрема, визначальним фактором формування та гідрофункціонування басейнів є рельєф місцевості та кліматичні характеристики території [11]. Перевищення кількості надходження атмосферних опадів над величиною випаровування та фільтрації води у ґрунті обумовлюють баланс поверхневого стоку води з території водозбору та її акумуляції у руслових системах [12, 13]. Басейн річки – це просторово-часова водно-балансова стійка система, у якій відбувається трансформація атмосферних опадів у інші елементи водного балансу, що забезпечує внутрішню функціонально-цілісну замкнутість міграційних потоків поверхневого та внутрішньогрунтового стоку вод [14].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На басейновому рівні здійснюється найважливіша функція взаємозв'язків складових (біотичних і абіотичних) екосистем, між якими існують генетичні, історичні та функціональні зв'язки, виражені безперервним обміном речовин, енергії та

інформації [15]. Саме річковий басейн виступає в якості цілісної системи з установленими екологічними, соціальними та економічними зв'язками [16]. Також басейн є природно-організованою територіальною одиницею, яка забезпечує можливість установалення істинних просторово-часових закономірностей наслідків і ступінь впливу людської діяльності на деградацію природних екосистем [17].

Закономірності фізичної організації функціонування басейнів визначаються стоком поверхневих вод і стоком твердої речовини, які залежать від кліматичних характеристик та антропогенним навантаженням на водозбір [18]. До основних антропогенних чинників, які визначають рівень гідрофункціонування басейну річки, відносять промисловий комплекс [19], сільське господарство [20] та комунальну галузь [21]. Провідне й найпотужніше за масштабами проявів природокористування є сільське господарство, яке зумовлює масштабну агрогенну трансформацію басейнових ландшафтних структур і значне підвищення ґрунтово-ерозійної міграції високотоксичних і біогенних речовин, погіршує екологічний стан водозбору та ерозійно-русових систем за межами первинних осередків забруднення [22, 23].

Проблеми сьогодення, зумовлені дефіцитом прісної води, можуть посилитися у майбутньому по причині зростання потреб у водних ресурсах, обмеженні їх доступності та знижені якості. Науковці стверджують, що проблеми доступності водних ресурсів будуть поглиблюватися, що загрожує продовольчій безпеці країн світу та екологічній стійкості природного середовища. Сільське господарство є водосємним, його частка у водному сліду сягає 86 % [24]. Занепокоєння сільськогосподарських виробників викликають кліматичні зміни, які посилюються їх діяльністю [25]. Зокрема, тривалий дефіцит опадів на водозбірній території спричиняє метеорологічну посуху [26], в подальшому проявляється зниження вологості ґрунту [27], що посилюється випаровуванням стоку і порушує стан екологічної системи басейну річки. Тому, в умовах змін клімату і нестабільного волого забезпечення, важливим питанням є забезпечення збалансованого функціонування водогосподарської та сільськогосподарської галузей, що виражатиметься удосконаленням системи оцінювання та раціонального використання наявних водних ресурсів у землеробстві як складової цілісної системи у структурі басейнового природокористування, охорони довкілля та якості життєзабезпечення на основі сучасних методологій.

Забезпечення збалансованого водокористування на агроландшафтах водозбірної території річки повинно ґрунтуватися на співвідношенні надходження атмосферних опадів та обсягів водних ресурсів [28, 29], необхідних для вирощування сільськогосподарських культур, з вибором опти-

мальної структури сівозміни [30], обґрунтування кліматично орієнтованих та ресурсозберігаючих агротехнологічних заходів [31–33]. Дієвим інструментом об'єктивного оцінювання обсягів водоспоживання та визначення рівня акумуляції дощової води з агроландшафтів водозбірної території річки є розрахунок водного сліду (WF) вирощування основних польових культур сівозміни [34]. Водний слід є інструментом, який дає можливість всебічно оцінити відношення споживача або виробника до використання прісноводних систем [35]. Розрахунок водного сліду дає об'єктивну інформацію щодо використання обсягів води для різних цілей господарювання, є основою для формулювання висновків про стійкість водних ресурсів, їх розподіл, а також оцінку екологічних, соціальних та економічних наслідків на басейновому рівні [36, 37]. Застосування інструменту водного сліду дає можливість: визначити розподіл водних ресурсів у просторі та часі для потреб промисловості, сільського господарства і комунального господарства; оцінити стійкість та ефективність використання водних ресурсів у межах водозбірної території; обґрунтувати стратегічні напрями розвитку водного та сільського господарства на різних рівнях басейнового управління.

Постановка завдання. Встановити просторово-часові закономірності диференціації водного сліду вирощування основних польових культур та обсягів додаткової акумуляції дощової води у басейні річки Случ в умовах змін клімату.

Матеріали і методи досліджень. Схема і матеріали досліджень. Схема дослідження водозбірної території річки Случ та розрахунок водного сліду вирощування сільськогосподарських культур включає шість логічно-послідовних блоків організації досліджень (рисунк 1).

Для виділення водотоків, визначення їх порядків і встановлення меж водозбірної території басейну річки Случ була використана цифрова модель рельєфу (ЦМР) на основі даних *SRTM-90* із просторовою роздільною здатністю 90×60 м/піксель, яка була представлена на офіційному сайті геологічної служби США (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). Дослідження виконано за допомогою програми *ArcGIS* на основі ЦМР з використанням удосконаленого алгоритму [9, 14] гідрологічного геомодельовання робочого модуля *Hydrologytools of Spatial Analyst Tools*. Для поділу річкового басейну на групи, в залежності від порядку головного русла, використано підхід Стралера-Філософова [38].

Структура земель басейну Случ розрахована на основі даних супутникового знімку космічного апарату *Sentinel 2* (роздільна здатність 10 м/піксель) станом на 15–16.10.2022 р. із застосуванням методу «land use land cover (LULC)» of *ArcGIS*. Просторово-часові закономірності зміни кліматичних умов на водозбірній території басейну річки у період

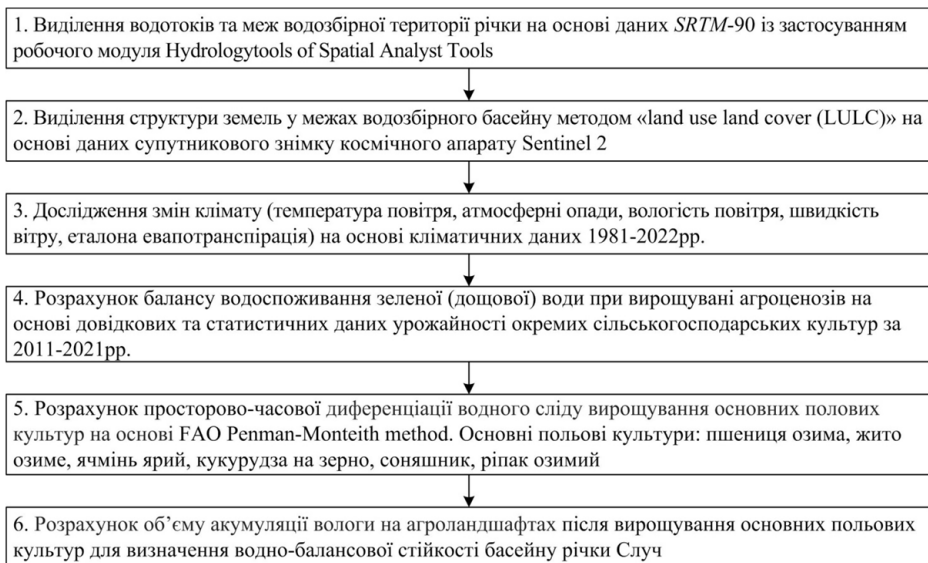


Рис. 1. Структурно-логічна методологічна схема дослідження водозбірної території річки Случ та розрахунку водного сліду вирощування сільськогосподарських культур

1981–2022 pp. встановлені на основі даних NASA POWER (<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>). Для розрахунку евапотранспіраційних процесів використано довідкові дані FAO (<https://www.fao.org/3/X0490E/x0490e00.htm#Contents>)

Коефіцієнти водоспоживання основних польових сільськогосподарських культур за різних умов природного зволоження взяті із статистичних довідників для типових фізико-географічних умов Полісся України (<http://agro-business.com.ua/aharni-kultury/item/16506-systema-povnoho-zabezpechennia-posiviv-volohoiu-za-umov-zroshennia.html>), які відповідають умовам вирощування агроценозів у межах басейну річки Случ.

Характеристика території досліджень. Річка Случ бере початок з невеликого озера, що живиться підземними водами, розташованого в балці і 1 км на схід села Червона Случ Хмельницької області України на висоті 320 м над рівнем моря (рисунок 2). Річка Случ впадає з правої притоки до річки Горинь у межах села Лютинськ Рівненської області. Загальна довжина річки складає 451 км, площа водозбірного басейну становить 13,83 тис. км², падіння русла 183 м (рисунок 2б).

Висоти рельєфу у межах басейн річки від її витoku до гирла змінюється від 376 м до 137 м (рисунок 2в), середній ухил водної поверхні рівний, 0,4 %. Верхня частина басейну являє собою підвищену рівнину, розчленовану врізаними річковими долинами довжиною 50–100 м та

густою ярово-балковою мережею. Середня густина річкової мережі складає $0,39 \text{ км/км}^2$, у верхній частині басейну Случ, густина річкової мережі сягає $0,7 \text{ км/км}^2$. Морфометрія басейну має витягнуту з півдня на північ форму, довжиною 300 км, із середньою та найбільшою шириною відповідно 46 км та 110 км. Територія водозбору річки розташована у двох геоморфологічних областях, а саме: верхня і середня частини басейну знаходяться на Волинсько-Подільській височині та її відрогах, яка має назву Волинське полісся; нижня частина водозбору знаходиться у межах великої рівнини Полісся (Прип'ятське Полісся).

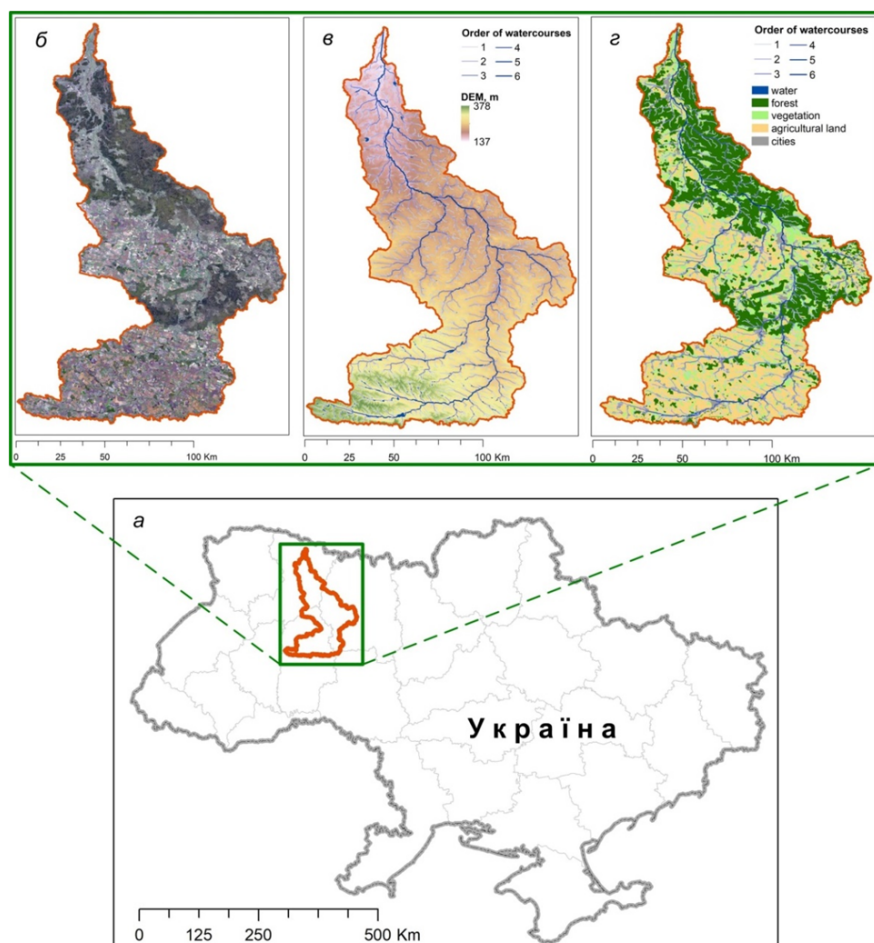


Рис. 2. Просторове розміщення та характеристика басейну річки Случ:

- а – розміщення на території України; б – супутниковий знімок з космічного апарату Sentinel 2 станом на 15–16.10.2022 р.; в – цифрова модель рельєфу та розподіл гідромережі в межах басейну; г – структура земельних угідь

Русло річки звивисте, подекуди має круті береги з висотами від 20–40 м до 50 м, місцями береги помірно круті, рідше пологі з висотами 5–15 м. Долина сягає ширини 1,5–5,0 км у нижній течії. Заплава двостороння, поросла лучною рослинністю, місцями заболочена. Лісистість басейну становить – 30,8 %, інша рослинність (луки, ремізи, полезахисні лісосмуги, рослинність на ярово-балкових землях) – 10,7 %, заболоченість – 13,0 %, водойми – 0,3 %, сільськогосподарські угіддя – 39,7 %, населені пункти – 5,4 % (рисунок 2г).

На річці Случ, у місті Новоград-Волинському, побудоване водосховище з об'ємом води 1,8 млн м³ (площею 95,5 га), яке використовується для господарської діяльності і комунального господарства. Споживання води становить 1,96 млн м³/рік [39]. Річка Случ використовується як джерело гідроенергії (Миропільська ГЕС, Любарська ГЕС, Пединківська ГЕС). Ставки у межах басейну Случ мають рибогосподарське призначення. Розподіл стоку протягом року нерівномірний, залежить від кількості надходження атмосферних опадів та температурного режиму повітря. Більша частина стоку фіксується у період весняної повені, у межах 40–80 % річкового стоку. У літню межень річка переважно живиться підземними водами [40]. У літньо-осінній період часто спостерігаються дощові паводки. Найбільший запас води у снігу рівний 102 мм, середній – 47 мм, забезпечений на 10 % – 86 мм, на 25 % – 65 мм. Сума річних опадів для 50 % років досліджень становить 562 мм, для 75 % – 481 мм, для 95 % років – 401 мм. Швидкість течії річки при проходженні максимальних втрат води досягає 1,0–1,4 м/с, в межень середні швидкості складають 0,3–0,5 м/с. Мінералізація поверхневих вод у середньому становить: у весняну повінь – 313 мг/дм³; літньо-осінню межень – 321 мг/дм³; зимову межень – 349 мг/дм³. За комплексною екологічною оцінкою в період 2005–2021 років, якість поверхневих вод р. Случ у більшості випадків відбору проб вода віднесено до II класу – стан «добрий», з перевищенням вмісту азоту нітратного, показника БСК₅ (біохімічного споживання кисню в продовж п'яти днів) та фосфору фосфатів [41], що свідчить про присутність у складі води досліджуваної річки біогенних елементів антропогенного походження.

Метод розрахунку евапотранспірації культури (ET_c). Просторово-часова диференціація евапотранспірації зеленої та синьої води у період вирощування основних польових сільськогосподарських культур розрахована на основі FAO Penman-Monteith method, який ґрунтується на обчисленні еталонної евапотранспірації (ET_o) та подальшого розрахунку евапотранспірації культури (ET_c) з урахуванням коефіцієнту її урожайності (K_c).

FAO Penman-Monteith method – єдиний стандартний метод для обчислення ET_o на основі метеорологічних даних:

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (1)$$

де ET_0 – еталонна евапотранспірація, мм/добу; R_n – чиста радіація на поверхні посіву, МДж/м² на добу; G – щільність теплового потоку ґрунту, МДж/м² на добу; T – температура повітря на висоті 2 м, °С; u_2 – швидкість вітру на висоті 2 м, м/с; e_s – тиск насиченої пари, кПа; e_a – фактичний тиск пари, кПа; $e_s - e_a$ – дефіцит тиску насиченої пари, кПа; Δ – нахил кривої тиску пари, кПа/°С; γ – психрометрична константа, кПа/°С.

Показник ET_0 розраховується на основі кліматичних параметрів, відображає випаровування у певному регіоні в конкретний період року, але не враховує особливості врожаю та характеристики ґрунту. Евапотранспірація культури (ET_c) відрізняється від еталонної евапотранспірації (ET_0) тим, що включає аеродинамічні властивості стійкості врожаю сільськогосподарських культур (K_c). Значення K_c змінюється в залежності від конкретних характеристик культури і лише певною мірою залежить від клімату.

Показник евапотранспірації культури (ET_c) розраховується за формулою:

$$ET_c = ET_0 \cdot K_c \quad (2)$$

Значення евапотранспірації культури ET_c розраховується за умови виключення таких факторів: швидкість росту рослин сільськогосподарських культур, ґрунтові води та засолення, густина висіву насіння, наявність шкідників та хвороб, забур'янення, родючість ґрунтів. У коефіцієнт K_c інтегровано значення характеристик транспірації певної культури та усереднені ефекти випаровування з ґрунту.

Розрахунок ET_c складається з чотирьох етапів, а саме:

1. Визначення стадій росту певних культур. Під час розвитку культури змінюється ґрунтовий покрив, висота культури та площа листя. Через відмінності у випаровуванні на різних стадіях росту, значення K_c для певної культури змінюватиметься протягом вегетаційного періоду, який, відповідно до методики FAO Penman-Monteith, розділяють на чотири фенологічні стадії розвитку (рисунк 3а): L_{ini} – initial, L_{dev} – crop development, L_{mid} – mid-season, L_{late} – late season. Кожна культура має власну тривалість окремого вегетаційного етапу розвитку відповідно до строків сівби та регіону вирощування. Типові терміни окремих фенологічних стадій розвитку рослин наведено у джерелах FAO (<https://www.fao.org/3/X0490E/x0490e0b.htm#TopOfPage>). Зокрема, для опису та побудови кривої коефіцієнтів врожаю потрібні три значення ((рисунк 3б) K_c): на початковій стадії (K_{c_ini}), у середині сезону (K_{c_mid}), наприкінці сезону (K_{c_and}).

У таблиці 1, відповідно до градації FAO, наведено типові значення коефіцієнтів врожаю для різних сільськогосподарських культур, які мають

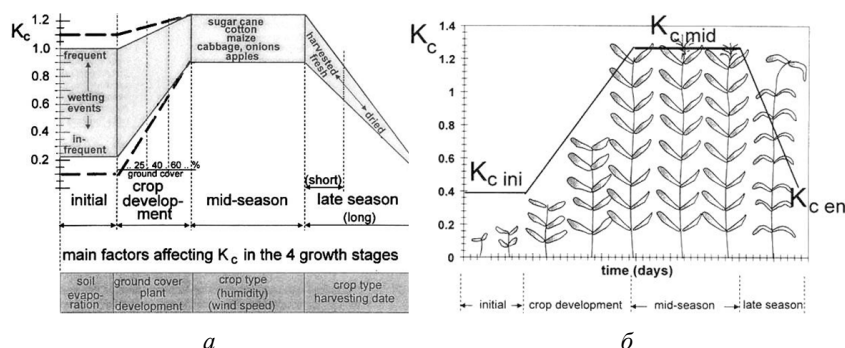


Рис. 3. Основні фенологічні стадії розвитку рослин для розрахунку K_c :

а – очікувані типові діапазони K_c для чотирьох стадій росту; б – узагальнена крива коефіцієнтів урожаю для підходу з однокультурним коефіцієнтом

більшу частку у сівозміні регіону досліджень. Коефіцієнти, які належать до однієї групи культур, зазвичай схожі, оскільки висота рослин, площа листя, покриття ґрунту та управління водними ресурсами майже однакові.

2. Коригування вибраних коефіцієнтів K_c для частоти зволоження або кліматичних умов впродовж вегетації рослин. Значення K_c на початковій стадії та стадії розвитку культури залежать від впливу сили коливань частоти зволоження території вирощування, тому слід уточнювати значення коефіцієнту K_{c_ini} . Значення K_{c_mid} і K_{c_end} коригуються відповідно до погодних умов регіону досліджень за фактичними даними середнього значення швидкості вітру (u_2 , м/с) та відносної вологості повітря (RH_{min} , %) на території вирощування певних сільськогосподарських культур.

Коригування коефіцієнтів здійснюється за формулою:

$$K_{c_mid \text{ or } end} = K_{c_mid \text{ or } end}(Tab) + [0.04(u_2 - 2) - 0.004(RH_{min} - 45)] \left(\frac{h}{3}\right)^{0.3} \quad (3)$$

де $K_{c_mid \text{ or } end}(Tab)$ – значення для K_{c_mid} і K_{c_end} взяті з таблиці 1; u_2 – середнє значення добової швидкості вітру на висоті 2 м над травою в період середнього та пізнього сезону росту (м/с), для $1 \text{ м/с} \leq u_2 \leq 6 \text{ м/с}$; RH_{min} – середнє значення добової мінімальної відносної вологості протягом середньої та пізньої фази росту (%), для $20\% \leq RH_{min} \leq 80\%$; h – середня висота рослин у середньому та пізньому сезоні (м) для $0,1 \text{ м} < h < 10 \text{ м}$.

Для стадії пізніх сезонів коригування не проводиться, якщо $K_{c_end}(Tab) < 0,45$ (тобто $K_{c_end} = K_{c_end}(Tab)$).

Якщо немає даних щодо u_2 або RH_{min} , можна використовувати загальну класифікацію даних швидкості вітру та вологості, наведену в таблиці 2.

3. Побудова кривої коефіцієнтів урожаю дозволяє визначити значення K_c для будь-якого вегетаційного періоду. Для опису та побудови

Таблиця 1. Коефіцієнти окремої культури (K_c) і середня максимальна висота рослини для культур без стресу у субгумідному кліматі ($RH_{min} \approx 45\%$, $u_2 \approx 2$ м/с) для використання у FAO Penman-Monteith ET_o

Культура	Максимальна висота культури (h), м	K_{c_ini}	K_{c_mid}	K_{c_and}
Пшениця озима	1,0	0,40	1,15	0,25
Жито озиме	1,0	0,40	1,15	0,25
Пшениця яра	1,0	0,30	1,15	0,25
Ячмінь ярий	1,0	0,30	1,15	0,25
Кукурудза на зерно	2,0	0,30	1,20	0,35
Соняшник	2,0	0,35	1,00	0,35
Ріпак озимий	0,6	0,35	1,00	0,35

Таблиця 2. Емпіричні оцінки місячних даних швидкості вітру (u_2) і типових значень RH_{min} порівняно з RH_{mean} для загальних кліматичних класифікацій

Сила вітру	u_2 , m/s	Класифікація клімату	RH_{min} , %	RH_{mean} , %
Light wind – легкий	$\leq 1,0$	Arid – сухий	20	45
Light to moderate wind – слабкий та помірний	2,0	Semi-arid – напів-сухий	30	55
Moderate to strong wind – від помірного до сильного	4,0	Sub-humid – помірно вологий	45	70
Strong wind – сильний	$\geq 5,0$	Humid – вологий	70	85
General global conditions – загальні глобальні умови	2,0	Very humid – дуже вологий	80	90

кривої K_c потрібні лише три значення K_c . Розділіть період вегетації на чотири загальні стадії росту, які описують фенологію або розвиток культури (початкова стадія, розвиток культури, середина сезону та пізня стадія сезону), визначте тривалість стадій росту та визначте три значення K_c , які відповідають K_{c_ini} , K_{c_mid} і K_{c_end} .

4. Обчислення ET_c за формулою 2. Після отримання значень K_c розраховується евапотранспірація культури (ET_c), здійснюється шляхом множення значення K_c на відповідні значення ET_o .

Коефіцієнт K_c для будь-якого періоду вегетації можна отримати за умови, якщо протягом початкової та середньої фази значення K_c є постійним і дорівнює значенню K_c фази росту рослини, яка досліджується. Під час розвитку культури та пізньої стадії сезону, K_c змінюється лінійно між значеннями K_c наприкінці попередньої стадії (K_{c_prev}) і K_c на початку наступної стадії (K_{c_next}), яка дорівнює K_{c_end} у випадку пізньої стадії сезону:

$$K_{ci} = K_{cprev} + \left[\frac{i - \sum(L_{prev})}{L_{stage}} \right] (K_{cnext} - K_{cprev}) \quad (4)$$

де i – номер дня протягом вегетаційного періоду, L – тривалість вегетаційного періоду; K_{ci} – коефіцієнт урожаю на добу i ; L_{stage} – тривалість етапу, що розглядається, діб; $\sum(L_{prev})$ – сума тривалості всіх попередніх етапів, діб.

Обробку космічних знімків, створення картограм, просторово-часовий, кореляційний та регресійний аналізи проводили з використанням ліцензійного програмного продукту ArcGis 10.6 та Microsoft Excel 2010.

Результати дослідження та їх обговорення. Дослідження змін клімату. Останні 40 років характеризуються формуванням нових кліматичних умов із вираженим зростанням температурного режиму і асинхронною зміною атмосферних опадів, які обумовлюють дефіцит вологи, зниження рівня кругообігу речовин у екосистемах басейну річки Случ, використання кліматичностійкої селекції у рослинництві та застосування вологозберігаючих технологій землеробства з метою отримання стабільних урожаїв та збереження ґрунтової вологи. Кліматичні умови певного року формують об'єм використання зеленого водного сліду, який визначається як сума зеленої води, що випарувалася, та зеленої води, яка була спожита рослиною впродовж життєвого циклу. Рівень споживання рослинами та випаровування зеленої води залежать від кількості надходження атмосферних опадів, зміни температури повітря і швидкості вітру впродовж вегетаційного періоду агроценозу. Тому, дослідження динаміки споживання зеленої води на незрошуваних землях, зайнятих під основними польовими культурами, здійснено для років із різним рівнем вологозабезпечення у межах басейну річки Случ в період 1981–2022 рр. Цей період спостережень характеризується підвищенням середньорічної температури повітря від 6,6 °C до 8,5 °C (рисунк 4а) і нестабільним надходженням атмосферних опадів зі збільшення варіації від 11 % до 16 % (рисунк 4в), що обумовило зниження середньорічного значення вологості повітря від 86 % до 79 % (рисунк 4б) та підвищення еталонної евапотранспірації на 0,3 мм/добу (рисунк 4г).

За результатами кореляційного аналізу впливу основних кліматичних показників на зміну значення еталонної евапотранспірації (ET_o) встановлено, що головним кліматичним компонентом диференціації ET_o є температура повітря. Рівень кореляції середньорічних значень T і ET_o складає 0,79, середньомісячних становить 0,95. Також виявлено закономірність зміни RH і ET_o , для середньорічних значень кореляція рівна – 0,35, а середньомісячних – 0,91.

Розрахунок середньорічного значення ET_o на основі метеорологічних даних:

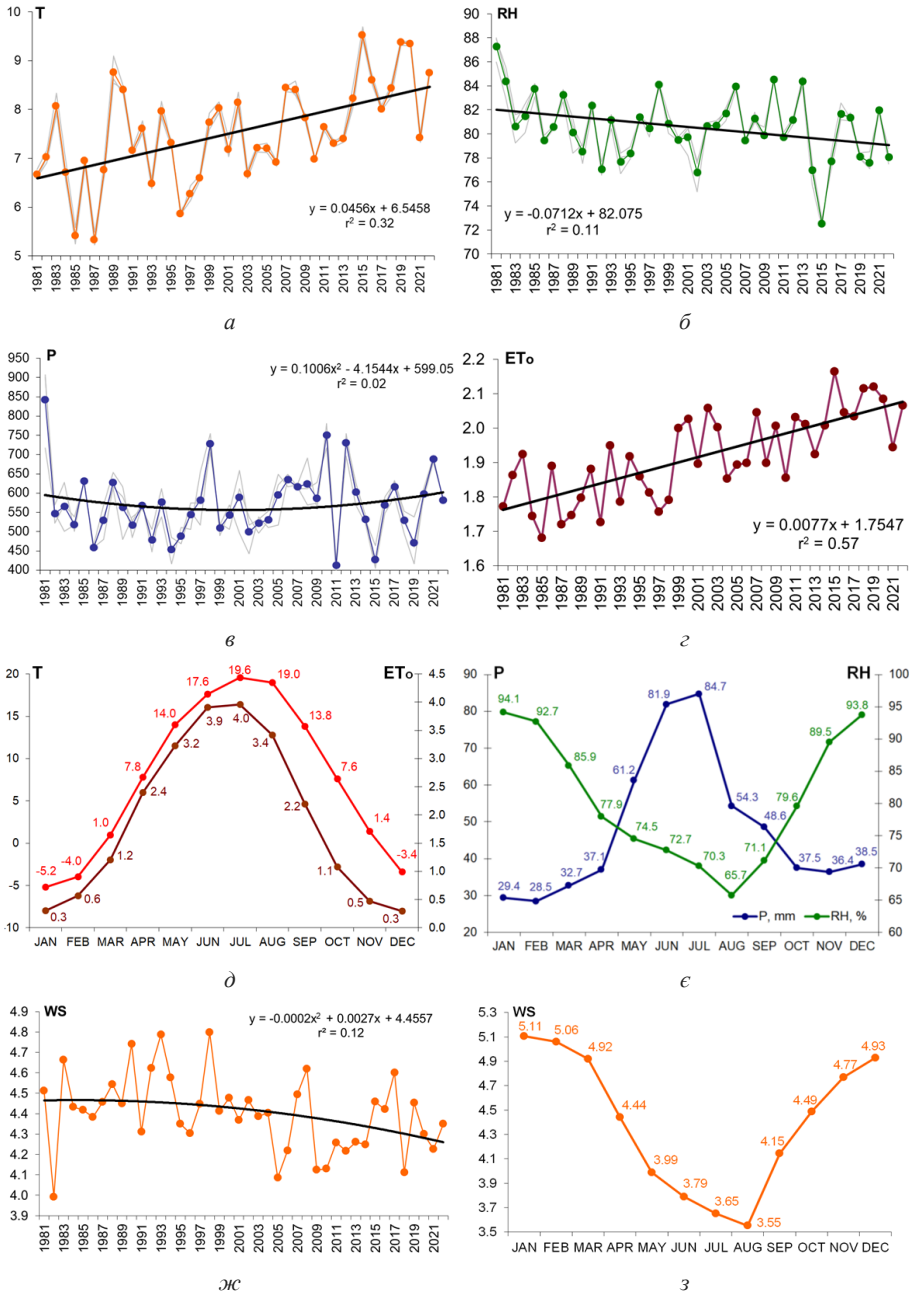


Рис. 4. Кліматичні характеристики водозбірної території річки Случ за період 1981–2022 рр.: а – середньорічна температура повітря (Т), °C; б – середньорічна вологість повітря (RH), %; в – сума атмосферних опадів за рік (P), мм; г – еталонної евапотранспірації (ET_o), mm/day; д – середньомісячні значення Т і ET_o; е – середньомісячні значення P і RH; ж – середньорічна швидкість вітру (WS), м/с; з – середньомісячні значення WS

$$ET_o = \begin{cases} 0,0993T + 1,1725; & r = 0,79, \quad r^2 = 0,62 \\ -0,0275RH + 4,1333; & r = 0,35, \quad r^2 = 0,59 \\ -0,13 \cdot 10^{-3}P + 0,096T + 1,2721; & r = 0,79, \quad r^2 = 0,63 \\ -0,02972RH - 0,19826WS + 5,1863; & r = 0,66, \quad r^2 = 0,44 \end{cases} \quad (5)$$

Розрахунок середньомісячного значення ET_o на основі метеорологічних даних:

$$ET_o = \begin{cases} 0,1462T + 0,8324; & r = 0,95, \quad r^2 = 0,90 \\ -0,1289RH + 12,318; & r = 0,91, \quad r^2 = 0,83 \\ 0,02306P + 0,10557T + 0,03783; & r = 0,96, \quad r^2 = 0,92 \\ -0,00774RH - 2,27485WS + 12,5608; & r = 0,95, \quad r^2 = 0,90 \end{cases} \quad (6)$$

За методикою FAO у розрахунку значень еталонної евапотранспірації (ET_o) уточнено евапотранспірацію культур (ET_c) та проведено подальший розрахунок споживання зеленої води за окремими видами культур впродовж життєвого циклу та встановлено важливість показника швидкості вітру (WS ; u_2) та відносної вологості повітря (RH). Для водозбірної території річки Случ встановлено високу ступінь кореляції двохфакторної моделі розрахунку ET_o залежно від RH і WS , направленої на розрахунок середньорічних значень ET_o . Рівень апроксимації моделі складає 0,44, середньомісячне значення (ET_o) – 0,90. Запропоновані регресійні моделі є оптимальними для розрахунку просторово-часової диференціації ET_o в межах водозбірної території річки Случ на основі різних вхідних кліматичних даних.

Сезонні характеристики кліматичних змін (рис. 4д, е, з) є необхідними для визначення коефіцієнту урожайності (K_c), розрахунку евапотранспірації культури (ET_c) та водного сліду (WF , $m^3/рік$) при вирощуванні основних сільськогосподарських культур у межах басейну річки Случ.

Баланс водоспоживання зеленої (дошової) води при вирощуванні агроценозів на основі довідкових та статистичних даних урожайності окремих сільськогосподарських культур. У структурі земель України на 2020 рік частка сільськогосподарських земель складала 68,7 % (41,4 млн га), у тому числі: рілля 79,0 % (32,7 млн га), пасовища – 12,8 % (5,3 млн га), сіножаті – 5,56 % (2,3 млн га), багаторічні насадження – 2,17 % (0,9 млн га), перелоги – 0,47 % (0,2 млн га). У структурі сільськогосподарських угідь 53,4 % посівних площ зайнято зерновими та зернобобовими культурами, в тому числі: пшениця – 23,8 %, ячмінь – 9,0 %, кукурудза на зерно – 16,6 %. Під технічними культурами зайнято 33,5 % посівних площ: соняшник – 22,4 % та ріпак – 3,6 %. Близько 13,1 % посівних площ зайняті іншими культурами.

Водоспоживання сільськогосподарських культур залежить від біологічних особливостей рослин, урожайності, ґрунтово-кліматичних та організаційно-технічних умов. Коефіцієнт водоспоживання переважно

залежить від ґрунтово-кліматичних умов зони вирощування агроценозів та рівня природного вологозабезпечення у вегетаційний період. Зокрема, залежно від рівня зволоження року, водоспоживання рослин для формування однієї тони товарної продукції у зоні Полісся становить: для озимих зернових від 350–450 м³/т у вологі роки до 500–550 м³/т у посушливі роки, ярових зернових від 375–435 м³/т до 500–530 м³/т, технічних культур від 480–615 м³/т до 685–720 м³/т (таблиця 3). Таким чином, у посушливі роки рівень водоспоживання культур зростає у 1,2–1,3 рази, що обумовлюється посиленням інтенсивності евапотранспіраційних процесів. Такі умови характерні для вирощування основних полевих культур на водозбірній території річки Случ.

Таблиця 3. Коефіцієнти водоспоживання основних сільськогосподарських культур у зоні Полісся України залежно від зволоження року, м³/т

Культура	Вологий рік	Середній рік	Посушливий рік
Пшениця озима	350–450	450–500	500–525
Жито озиме	400–425	425–450	450–550
Пшениця яра	400–435	435–465	465–500
Ячмінь ярий	375–425	425–500	500–530
Кукурудза на зерно	265–335	335–375	375–395
Соняшник	480–615	615–685	685–720
Ріпак озимий			

У зоні Лісостепу водоспоживання сільськогосподарських культур на одиницю продукції збільшується у 1,30–1,45 рази, зокрема: озимі зернові у 1,30–1,40 рази, ярі зернові у 1,40–1,45 рази, кукурудза на зерно у 1,38–1,40 рази, технічні культури у 1,30–1,40 рази. В свою чергу у зоні Степу водоспоживання агроценозів збільшується у 2,0 рази.

Довідкові коефіцієнти водоспоживання (м³/т) рослин, визначені відповідно до умов вологозабезпечення року (м³/га) і статистичні дані урожайності (т/га) надають можливості розрахувати обсяги споживання зеленої води для вирощування сільськогосподарських культур у сівозмінах регіону. Розрахунок водоспоживання зеленої води для вирощування основних польових культур у межах басейну річки Случ здійснено за даними Державної служби статистики України (<https://www.ukrstat.gov.ua/>). Для цього було приведено до середнього значення урожайність сільськогосподарських культур Хмельницької та Житомирської областей, агроландшафти яких входять до водозбірної території річки Случ. Статистичні дані урожайності та споживання зеленої води основних польових культур в залежності від кліматичних характеристик року представлено у таблиці 4.

Таблиця 4. Урожайність (т/га) та водоспоживання зеленої води (м³/га) основних польових культур у межах басейну річки Случ за 2011–2021 рр.

Рік		Культури					
		Пшениця	Ячмінь ярий	Жито озиме	Кукурудза на зерно	Соняшник	Ріпак озимий
2011	т/га	3,2–4,5	2,5–3,3	1,9–2,9	6,6–7,8	1,8–2,0	1,5–2,2
	м³/га	1636–2288	1303–1700	955–1445	2541–3007	1230–1413	1040–1554
2012	т/га	3,5–4,3	3,0–3,7	2,2–2,7	7,3–7,4	1,9–2,0	2,3–2,4
	м³/га	1380–1720	1196–1464	890–1121	2187–2229	1047–1091	1282–1293
2013	т/га	3,2–4,2	2,7–3,3	2,0–2,7	7,9–8,9	2,2–2,3	2,5–2,8
	м³/га	1292–1672	1080–1304	832–1108	2376–2664	1206–1255	1343–1551
2014	т/га	4,1–5,5	3,8–4,7	2,5–3,6	7,8–8,3	2,2–2,7	2,7–3,4
	м³/га	1933–2627	1750–2181	1082–1586	2780–2939	1456–1775	1781–2217
2015	т/га	4,5–5,8	4,0–4,7	2,8–3,9	5,3–6,0	2,6–2,9	2,6–3,3
	м³/га	2309–2996	2060–2431	1420–1935	2056–2325	1793–2004	1800–2348
2016	т/га	4,7–5,8	3,9–4,9	2,8–4,8	7,3–7,8	2,6–3,2	1,9–2,9
	м³/га	2214–2736	1810–2273	1240–2094	2584–2780	1716–2087	1261–1853
2017	т/га	4,3–6,2	3,5–5,3	2,8–5,7	6,6–7,8	2,4–3,1	3,0–3,2
	м³/га	2052–2945	1625–2454	1235–2501	2343–2773	1554–2015	1944–2093
2018	т/га	4,3–5,7	3,3–4,5	2,5–4,4	9,2–9,9	2,5–3,2	2,7–3,3
	м³/га	2043–2684	1537–2093	1113–1945	3270–3511	1638–2054	1749–2171
2019	т/га	4,3–4,7	3,5–4,3	3,2–4,0	6,5–7,9	2,4–3,2	2,2–2,8
	м³/га	2215–2420	1680–2065	1600–2000	2505–3045	1690–2250	1550–1970
2020	т/га	4,9–5,9	3,7–4,5	3,4–4,4	8,4–9,8	2,5–3,3	2,8–3,2
	м³/га	2330–2805	1670–2030	1480–1920	2940–3430	1625–2145	1820–2080
2021	т/га	5,0–6,4	4,1–4,7	3,6–5,2	8,2–11,2	2,8–3,8	3,0–3,6
	м³/га	2000–2560	1720–1975	1490–2160	2450–3360	1540–2100	1650–1980

Одержані результати дозволяють окреслити рівень коливання змін витрат зеленої води на формування продуктивності окремих сільськогосподарських культур, визначити витрати зеленої води (м³/га) на інші господарські потреби та гідрофункціонування водозбірної території. Визначено циклічність підвищення водоспоживання сільськогосподарських культур (рисунк 5а) в залежності від кліматичних умов певного року (рисунк 4).

Значення водоспоживання розраховано відповідно до співвідношення насиченості сівозміни зерновими і технічними культурами регіону досліджень (65:35 %). З урахуванням динамічних змін атмосферних опадів та постійного підвищення температури повітря за останні 11 років найбільший обсяг споживання зеленої води на вирощування основних польових культур у межах водозбірної території річки Случ зафіксовано у 2019 році: від 2340 м³/га до 2850 м³/га, а мінімальне значення зафіксовано у 2012, 2013 і 2021 роках, в межах 1440–1590 м³/га, 1475–1715 м³/га

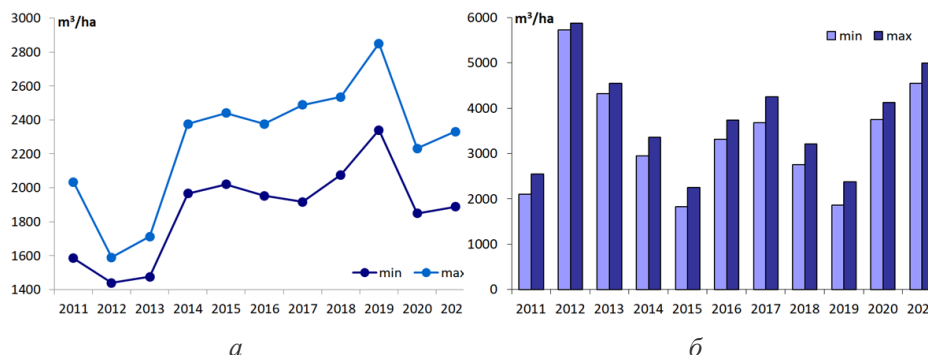


Рис. 5. Баланс водоспоживання зеленої води сільськогосподарськими культурами в межах басейну річки Случ:

а – середньозважене значення коефіцієнту водоспоживання на 1 га ($\text{m}^3/\text{га}$); б – акумуляція зеленої води ($\text{m}^3/\text{га}$) на забезпечення водно-балансової стійкості басейну річки

та 1890–2330 $\text{m}^3/\text{га}$ відповідно. У посушливі 2011, 2015 і 2019 роки, які характеризувалися дефіцитом надходження атмосферних опадів, акумуляція зеленої води ($\text{m}^3/\text{га}$) на водозбірній території варіювала від 1830 $\text{m}^3/\text{га}$ до 2545 $\text{m}^3/\text{га}$ (рисунок 5б). Вологі роки: 2012, 2013 і 2021 рр., цей показник становить в межах 4315–5875 $\text{m}^3/\text{га}$. Визначено, що частка споживання агроценозами надходження дощової води у посушливі роки варіювала у межах 38,4–60,5 %, середньо вологі роки – 31,0–48,0 %, вологі роки – 19,7–34,0 %. Загальний об'єм споживання зеленої води на агроландшафтах басейну річки, у розрахунку частки сільськогосподарські угіддя (39,7 % (549,05 тис. га)) в період 2011–2021 рр. склав 1005–1565 млн m^3 , у посушливі роки – 1110–1565 млн m^3 , середньовологі – 1015–1390 млн m^3 , вологі роки – 790–1280 млн m^3 . Запропонований підхід та результати розрахунку варто використовувати для визначення тенденцій споживання зеленої води при вирощуванні основних польових культур певного регіону досліджень. Запропонований підхід не враховує перебіг вегетаційного розвитку рослин та просторово-часові зміни евапотранспіраційних процесів вирощування культур у межах водозбірної території. Тому, деталізований розрахунок водного сліду варто здійснювати на основі даних природного вологозабезпечення та водоспоживання у період вегетації рослин з урахуванням евапотранспіраційних процесів.

Диференціація водного сліду при вирощуванні основних польових культур та розрахунок об'єму акумуляції вологи в межах басейну Случ. Озимі культури мають 2 періоди активної вегетації: осінній (45–50 діб: кінець вересня – кінець листопада) і весняно-літній (75–100 діб: кінець березня – початок липня). Між цими періодами рослини перебувають у стані спокою або зимового анабіозу. Повний вегетаційний період пшениці озимої триває

від 180 до 215 діб. Вегетаційний період у ярових зернових культур коротший, ніж в озимих: у ячменю ярого – 80–105 діб (початок березня – кінець червня), пшениці ярої – 85–105 діб (початок березня – початок липня), а кількість елементів живлення, що витрачається на формування врожаю, у них майже однакова. Коренева система ярих зернових культур слабша, процес кушіння гірший. Ці особливості потрібно враховувати для забезпечити повноцінного живлення рослин упродовж вегетації. Вегетаційний період соняшнику в середньому триває 100–120 діб (кінець квітня, початок травня – кінець серпня, початок вересня). Вегетаційний період ріпаку озимого (осінній і весняно-літній) триває 180–225 діб (кінець серпня – початок липня). Тривалість вегетаційного періоду кукурудзи на зерно в зоні Полісся складає від 150 до 170 діб (кінець квітня і початок травня – кінець серпня і початок вересня). Ці періоди необхідно враховувати для уточнення коефіцієнту урожайності (K_c) та коректного розрахунку евапотранспірації культури (ET_c) та водного сліду (WF). Високі температури прискорюють дозрівання культури і скорочують на 8,0–24,0 % термін вегетаційного періоду, підвищують евапотранспіраційні процеси та знижують рівень грантової вологи. У вегетаційний період вологозабезпечення сільськогосподарських культур на 60–70 % здійснюється атмосферними опадами, на 30–40 % – запасами вологи в ґрунті. Відповідну закономірність слід враховувати при розрахунку водного сліду, який складається із «зелених» та «синіх» водних ресурсів, тобто «дошової» та «ґрунтової або поверхневої» води, які випаровуються під час вирощування сільськогосподарських культур.

Відповідно до узагальнених даних FAO, терміни основних фенологічних стадій розвитку рослин, які відносяться до переліку основних польових культур та наближених умов вирощування у межах водозбірної території Случ, складають: для пшениці озимої із вегетаційним періодом 180 діб, у тому числі L_{ini} – 20 діб, L_{dev} – 60 діб, L_{mid} – 70 діб, L_{late} – 30 діб; жита озимого – дані відсутні; ярової пшениці та ячменю із вегетаційним періодом 120 діб, в тому числі L_{ini} – 15 діб, L_{dev} – 25 діб, L_{mid} – 50 діб, L_{late} – 30 діб; кукурудза на зерно із вегетаційним періодом 125 діб, у тому числі L_{ini} – 20 діб, L_{dev} – 35 діб, L_{mid} – 40 діб, L_{late} – 30 діб; соняшника із вегетаційним періодом 130 діб, у тому числі L_{ini} – 25 діб, L_{dev} – 35 діб, L_{mid} – 45 діб, L_{late} – 25 діб; ріпаку озимого – дані відсутні. Наведені дані не відповідають точній характеристиці терміну вегетації та фенологічних фаз розвитку основних польових культур для території досліджень. Тому, у таблиці 4 представлено тривалість етапів фенологічного розвитку сільськогосподарських культур та строків сівби відповідно до кліматичних умов водозбірної території річки Случ.

Із підвищенням температури повітря та нестабільним надходженням атмосферних опадів в останні роки формуються нові кліматичні

умови вирощування сільськогосподарських культур та об'єми водоспоживання. Тому, дослідження і розрахунок об'ємів витрат зеленої та синьої води здійснено на прикладі нових умов формування клімату із різним рівнем природного зволоження та евапотранспіраційних процесів, а саме: 2019 рік – посушливий рік із високим рівнем евапотранспірації ($P = 741$ мм, $T = 9,4$ °C, $ET_o = 2,12$ мм/добу); 2020 рік – середньовологий рік ($P = 595$ мм, $T = 9,3$ °C, $ET_o = 2,09$ мм/добу); 2021 рік – вологий рік із низьким рівнем евапотранспірації ($P = 690$ мм, $T = 7,4$ °C, $ET_o = 1,95$ мм/добу).

Для розрахунку об'ємів водного сліду було обрано періоди вегетації основних польових культур в період 2018–2021 рр. (таблиця 5). Озимі культури: 2018–2019 рр. – середньовологий переходить у посушливий рік; 2019–2020 рр. – посушливий переходить у середньовологий рік; 2020–2021 рр. – середньовологий переходить у вологий рік.

На рисунку 6 представлено розподіл значень кліматичних характеристик у вегетаційні періоди 2018–2021 рр. для визначення та коригування значення коефіцієнту урожайності культури (K_c) відповідно до методики FAO Penman-Monteith ET_o (<https://www.fao.org/3/X0490E/x0490e0b.htm#TopOfPage>). До досліджуваного періоду входять терміни вегетації основних польових культур вирощування в межах басейну річки Случ.

Із урахуванням кліматичних характеристик регіону та умов певного року вирощування сільськогосподарських культур, визначено коефіцієнти урожайності культур (K_c) відповідно до їх водоспоживання у певні фенологічні фази розвитку (табл. 6). Запропоновані коефіцієнти використано для розрахунків значень евапотранспірації культури (ET_c) та просторово-часового моделювання об'ємів водного сліду, визначення частки споживання зеленої води відповідно до кліматичних характеристик певного року та типової структури сівозміни в межах агроландшафтів басейну річки Случ.

Визначено, що середній об'єм водного сліду в період вегетації 2018–2021 рр. на території агроландшафтів водозбірної території (рисунк 7) для пшениці озимої варіював в межах 3336–3525 м³/га, жита озимого – 3322–3528 м³/га, ярових ячменю та пшениці – 2360–2475 м³/га, кукурудзи на зерно – 3968–4634 м³/га, сояшника – 2496–2787 м³/га, ріпаку озимого – 3435–3650 м³/га. Зафіксовано зональні особливості просторового розподілу об'єму використання води, які характеризуються його збільшенням у верхній частині басейну річки у зв'язку із підвищеними евапотранспіраційними процесами на 5,0–17,0%. Такі процеси викликають зменшення об'єму акумуляції зеленої води для підтримки гідрофункціонування водотоків верхнього ланки річки Случ.

В таблиці 7 представлено розрахунки динаміки водного сліду вирощування основних польових культур в періоди вегетації 2018–2021 рр. Визначено співвідношення використання зеленої води на транспірацію і

Таблиця 5. Характеристики термінів вегетації основних польових культур у кліматичних умовах басейну річки Случ

Культура		Термін вегетації			Термін основних фенологічних фази розвитку рослин, діб					
		Вологий рік	Середньовологий рік	Посушливий рік	Характеристика року	L _{ini}	L _{dev}	L _{mid}	L _{late}	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Пшениця озима	Термін висіву (дата, місяць)	15–20.09	15–20.09	20–25.09	Вологий	95	80	20	20	
	Термін збору (дата, місяць)	20–25.07	15–20.07	10–15.07	Середньовологий	90	75	18	15	
	Термін вегетації (діб)	215	198	180	Посушливий	85	70	10	15	
Жито озиме	Термін висіву (дата, місяць)	25.08–01.09	20.08–05.09	01–10.09	Вологий	110	80	15	20	
	Термін збору (дата, місяць)	20–25.07	20–25.07	10–20.07	Середньовологий	100	75	15	15	
	Термін вегетації (діб)	225	205	185	Посушливий	90	70	10	15	
Пшениця яра	Термін висіву (дата, місяць)	01–05.04	25.03–01.04	20–25.03	Вологий	35	30	25	15	
	Термін збору (дата, місяць)	25–28.07	25–30.07	15–25.07	Середньовологий	30	30	20	15	
	Термін вегетації (діб)	105	95	85	Посушливий	30	25	20	10	
Ячмінь ярий	Термін висіву (дата, місяць)	01–05.04	25.03–01.04	20–25.03	Вологий	35	30	25	15	
	Термін збору (дата, місяць)	25–28.07	25–30.07	15–25.07	Середньовологий	30	30	20	15	
	Термін вегетації (діб)	105	95	80	Посушливий	30	20	20	10	

Продовження таблиці 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Кукурудза на зерно	Термін висіву (дата, місяць)	10–15.05	05–10.05	25.04–02.05	Вологий	45	45	50	30
	Термін збору (дата, місяць)	15–20.10	10–15.10	01–10.10	Середньовологий	50	45	45	25
	Термін вегетації (дів)	170	165	155	Посушливий	50	45	40	20
Соняшник	Термін висіву (дата, місяць)	10–15.05	05–10.05	25.04–2.05	Вологий	50	35	15	20
	Термін збору (дата, місяць)	20–25.09	15–20.09	05–15.09	Середньовологий	45	30	15	18
	Термін вегетації (дів)	120	108	105	Посушливий	45	30	15	15
Ріпак озимий	Термін висіву (дата, місяць)	10–15.08	15–20.08	25.08–01.09	Вологий	125	50	30	20
	Термін збору (дата, місяць)	15–20.07	05–10.07	01–05.07	Середньовологий	120	40	25	15
	Термін вегетації (дів)	225	200	185	Посушливий	115	35	20	15

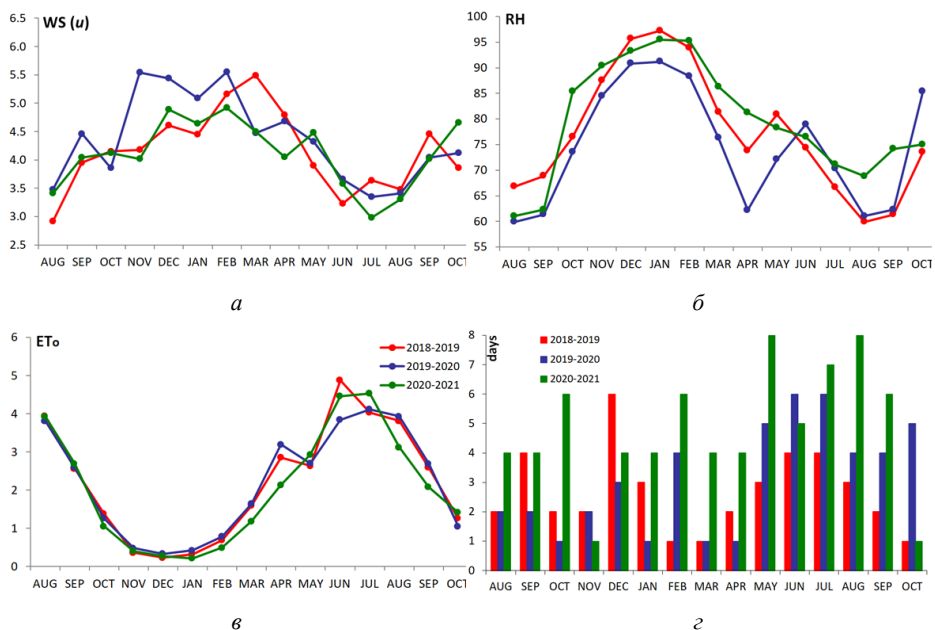


Рис. 6. Розподіл значень кліматичних характеристик у вегетаційні періоди 2018–2021 рр. для визначення та коригування значення коефіцієнту урожайності культури (Кс) відповідно до методики FAO Penman-Monteith ET₀:

а – швидкість вітру, м/с; б – вологість повітря, %; в – значення еталонної евапотранспірації, мм/добу; г – надходження атмосферних опадів у вигляді дощу та снігу, діб

вироснування основних польових культур ($WUha$, м³/га; WUt , м³/тонну) та евапорації ґрунтової (синьої) вологи (Eha , м³/га; Et , м³/тонну). Частка розподілу зеленої води варіює в залежності від кліматичних умов, сівозміни, терміну вегетації та урожайності культури. Значення водоспоживання на 1 га ($WUha$, м³/га) враховує споживання води на розвиток рослини та транспірацію із поверхні рослинності. Зокрема, значення $WUha$ залежить від кліматичних умов року, урожайності певної культури (AY , тонн/га) та водоспоживання на 1 тону продукції (WUt , м³/тонну).

Відносно високі значення водного сліду ($WFha$) на 1 га зафіксовано при вирощуванні кукурудзи на зерно – від 4159 м³/га до 4203 м³/га та озимих культур, в тому числі: пшениці озимої – 3294–3628 м³/га, жита озимого – 3335–3594 м³/га, ріпаку озимого – 3325–3770 м³/га. Зокрема, відносно низькі значення $WFha$ мають культури із коротким терміном вегетації, в тому числі: ячмінь ярий – 2230–2530 м³/га, соняшник – 2500–2850 м³/га. Важливою характеристикою загального об'єму споживання зеленої води та розрахунок величини евапорації ґрунтової вологи є урожайність (AY , тонн/га) та водний слід (WUt) в залежності від кліматичних характеристик

Таблиця 6. Розподіл значень K_c в період вегетації основних польових культур у кліматичних умовах басейну річки Случ

Роки	Культури	Місяці														
		AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
		Значення коефіцієнту урожайності культури (K_c)														
2018–2019	Пшениця озима		0.45	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.63	0.84	1.06	1.17	0.25			
	Жито озиме	0.20	0.45	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.63	0.84	1.06	1.17	0.25			
	Пшениця яра								0.35	0.67	0.71	1.17	0.25			
	Ячмінь ярий								0.35	0.67	0.71	1.17	0.25			
	Кукурудза на зерно									0.38	0.53	0.80	1.12	1.35	0.35	
	Соняшник										0.38	0.53	0.80	1.11	0.35	
2019–2020	Ріпак озимий	0.20	0.45	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.64	0.85	0.97	1.02	0.35			
	Пшениця озима		0.30	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.63	0.93	1.10	1.21	0.25			
	Жито озиме		0.30	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.63	0.93	1.10	1.21	0.25			
	Пшениця яра								0.35	0.78	0.84	1.21	0.25			
	Ячмінь ярий								0.35	0.78	0.84	1.21	0.25			
	Кукурудза на зерно										0.50	0.51	0.76	1.11	1.33	0.35
2020–2021	Соняшник										0.50	0.51	0.76	1.10	0.35	
	Ріпак озимий	0.20	0.30	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.71	0.95	1.00	1.01	0.35			
	Пшениця озима		0.40	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.71	1.06	1.21	0.25			
	Жито озиме	0.20	0.40	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.71	1.06	1.21	0.25			
	Пшениця яра									0.30	0.82	1.21	0.25			
	Ячмінь ярий									0.30	0.82	1.21	0.25			
2020–2021	Кукурудза на зерно										0.50	0.53	0.73	1.06	1.25	0.35
	Соняшник										0.50	0.53	0.73	1.06	0.35	
	Ріпак озимий	0.20	0.40	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.71	0.97	1.03	0.35			

Продовження таблиці 6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
		Значення значень еванотранспірації культури (ET), мм/добу														
2018–2019	Пшениця озима	0.79	1.15	0.69	0.18	0.12	0.16	0.35	1.00	2.39	2.79	5.70	1.01			
	Жито озиме		0.79	0.69	0.18	0.12	0.16	0.35	1.00	2.39	2.79	5.70	1.01			
	Пшениця яра								0.56	1.91	1.87	5.70	1.01			
	Ячміннь ярій								0.56	1.91	1.87	5.70	1.01			
	Кукурудза на зерно										1.00	2.58	3.22	4.27	3.50	0.44
	Соняшник										1.00	2.58	3.22	4.23	0.91	
2019–2020	Ріпак озимий	0.79	1.15	0.69	0.18	0.12	0.16	0.35	1.02	2.42	2.55	4.97	1.41			
	Пшениця озима		0.78	0.63	0.24	0.17	0.21	0.39	1.03	2.97	2.97	4.65	1.03			
	Жито озиме		0.78	0.63	0.24	0.17	0.21	0.39	1.03	2.97	2.97	4.65	1.03			
	Пшениця яра								0.57	2.49	2.27	4.65	1.03			
	Ячміннь ярій								0.57	2.49	2.27	4.65	1.03			
	Кукурудза на зерно										1.35	1.96	3.12	4.36	3.58	0.37
2020–2021	Соняшник										1.35	1.96	3.12	4.32	0.94	
	Ріпак озимий	0.76	0.78	0.63	0.24	0.17	0.21	0.39	1.16	3.03	2.70	3.88	1.44			
	Пшениця озима		1.08	0.53	0.20	0.14	0.11	0.25	0.59	1.51	3.11	5.40	1.13			
	Жито озиме	0.79	1.08	0.53	0.20	0.14	0.11	0.25	0.59	1.51	3.11	5.40	1.13			
	Пшениця яра									0.64	2.40	5.40	1.13			
	Ячміннь ярій									0.64	2.40	5.40	1.13			
	Кукурудза на зерно										1.47	2.36	3.31	3.31	2.60	0.49
	Соняшник										1.47	2.36	3.31	3.31	0.73	
	Ріпак озимий	0.79	1.08	0.53	0.20	0.14	0.11	0.25	0.59	1.51	2.84	4.59	1.59			

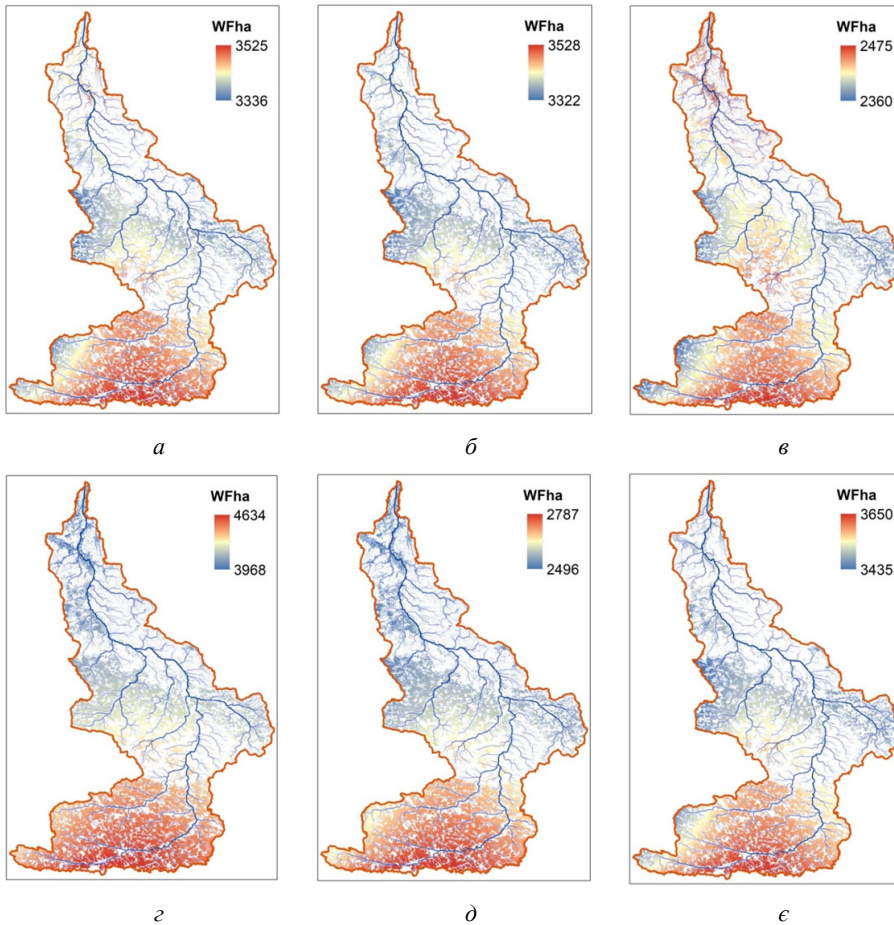


Рис. 7. Просторова диференціації водного сліду ($WFha$, м³/га) вирощування основних польових культур в періоди вегетації 2018–2021 рр.:

а – озима пшениця, б – жито озиме; в – ярові ячмінь та пшениця; г – кукурудза на зерно; д – соняшник; е – ріпак озимий

року вегетації агроценозів. Високі значення WFt фіксуються у технічних культур, в межах 864–1330 м³/тонну, низькі значення WFt мають кукурудза на зерно від 429 м³/тонну до 584 м³/тонну та ячмінь ярий – 572–609 м³/тонну. Тому, насиченість сівозміни технічними культурами обумовлює збільшення об'ємів водного сліду у 1,5–2,3 рази та евапорацію ґрунтової (синьої) вологи у 1,3–4,0 рази. Фіксується значна частка об'єму евапорації ґрунтової (синьої) вологи (Et/WFt) під посівами жита озимого та ріпаку озимого – від 0,45 до 0,53. Це характеризує високий рівень споживання зеленої води, низьку продуктивність вирощування культур та відсутність їх агроекологічної доцільності при розробці оптимальних моделей

Таблиця 7. Середнє значення динаміки водного сліду вирощування основних польових культур в періоди вегетації 2018–2021 рр.

Культура		Веgetаційний період								
		АУ, тонн/ га	WFha, м³/га	WUha, м³/га	Eha, м³/га	WFt, м³/ тонну	WUt, м³/ тонну	Et, м³/ тонну	WUt/ WFt	Et/ WFt
Пшениця озима	2018–2019	4,5	3294	2318	976	732	515	217	0.70	0.30
	2019–2020	5,4	3628	2568	1060	672	476	196	0.71	0.29
	2020–2021	5,7	3354	2280	1074	588	400	188	0.68	0.32
Жито озиме	2018–2019	3,6	3335	1800	1535	926	500	426	0.54	0.46
	2019–2020	3,9	3594	1700	1894	922	436	486	0.47	0.53
	2020–2021	4,4	3347	1825	1522	761	415	346	0.55	0.45
Ячмінь ярий	2019	3,9	2230	1873	357	572	480	92	0.84	0.16
	2020	4,1	2495	1850	645	609	451	157	0.74	0.26
	2021	4,4	2530	1848	682	575	420	155	0.73	0.27
Кукурудза на зерно	2019	7,2	4203	2775	1428	584	385	198	0.66	0.34
	2020	9,1	4526	3185	1341	497	350	147	0.70	0.30
	2021	9,7	4159	2905	1254	429	299	129	0.70	0.30
Соняшник	2019	2,8	2500	1970	530	893	704	189	0.79	0.21
	2020	2,9	2570	1885	685	886	650	236	0.73	0.27
	2021	3,3	2850	1820	1030	864	552	312	0.64	0.36
Ріпак озимий	2018–2019	2,5	3325	1760	1565	1330	704	626	0.53	0.47
	2019–2020	3,0	3534	1950	1584	1178	650	528	0.55	0.45
	2020–2021	3,3	3770	1815	1955	1142	550	592	0.48	0.52

використання ґрунтової (синьої) вологи для регіону досліджень. Представлені розрахунки показують співвідношення витрат зеленої (WUt/WFt) та синьої (Et/WFt) води для вирощування окремих польових культур в межах басейну річки Случ.

Просторова диференціації водного сліду ($WFha$, м³/га, WF , м³/вегетацію) вирощування агроценозів у періоди вегетації 2018–2021 рр. та величина акумуляції зеленої води на агроландшафтах розрахована у відповідності до співвідношення насиченості сівоzmінами основних польових культур в межах басейну річки Случ, зокрема: пшениця озима – 24,3%, жито озиме – 1,9%, ячмінь ярий – 7,5%, кукурудза на зерно – 31,3%, соняшник – 24,8%, ріпак озимий – 10,2%. Найбільші значення $WFha$ (рис. 8) зафіксовано у вегетатійний період від серпня 2019 (посушливого) року до жовтня 2020 (середньовологого) року – від 3385 м³/га до 3739 м³/га. У вегетатійний період від серпня 2018 (середньовологого) року до жовтня 2019 (посушливого) року значення $WFha$ варіювало в межах 3157–3508 м³/га; від серпня 2020 (середньовологого) року до жовтня 2021 (вологого) року значення $WFha$ змінювалося від 3329 м³/га до 3621 м³/га. Загальний об'єм водного сліду (WF , м³/вегетацію) вирощування сівоzmіни польових культур складо: у 2018–2019рр. – 1991 млн м³, 2019–2020 рр. – 2440 млн м³, 2020–2021 рр. – 2363 млн м³.

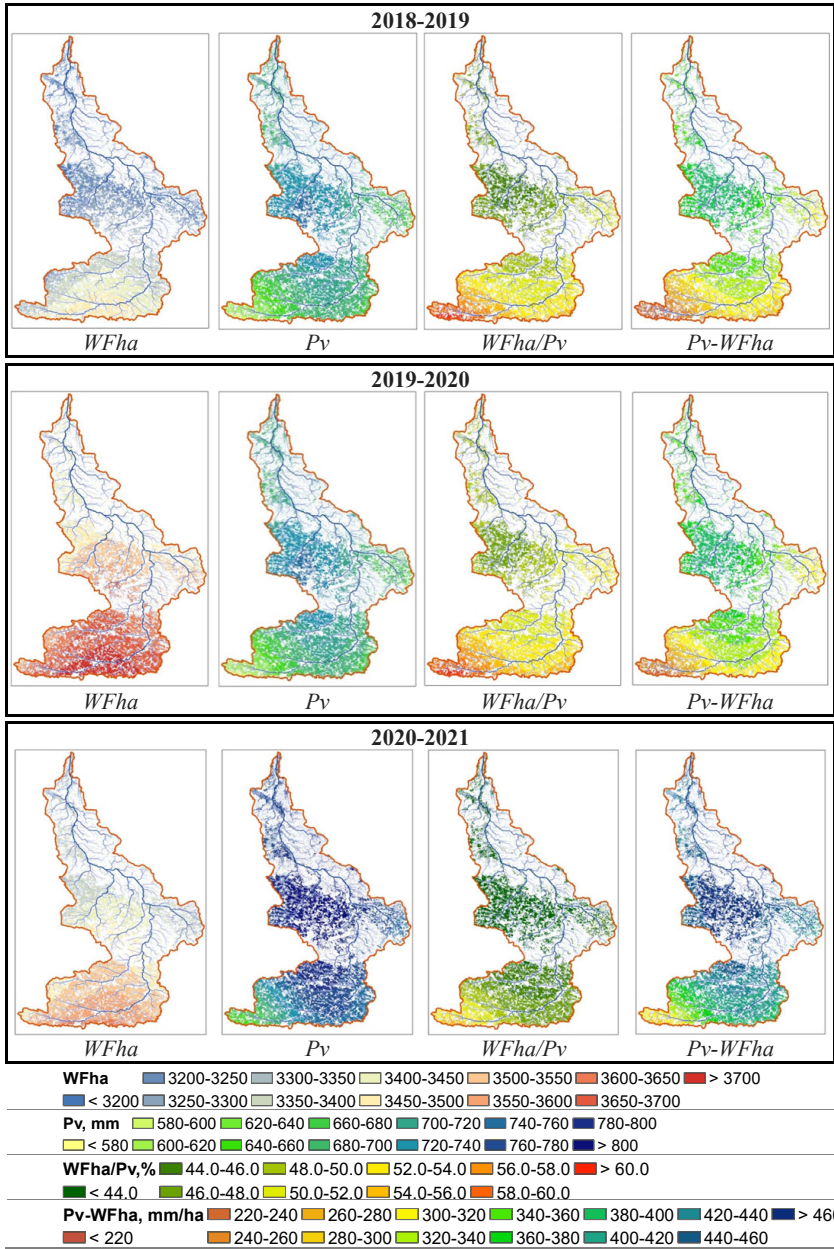


Рис. 8. Баланс споживання зеленої води основними польовими культурами в періоді вегетації 2018–2021 рр.:

WFha – водний слід вирощування польових культур, м³/га; *Pv* – сума надходження атмосферних опадів за вегетаційний період, мм; *WFha/Pv* – співвідношення споживання дощової (зеленої) води у вегетаційний період, %; *Pv-WFha* – акумуляція зеленої води на агроландшафтах водозбірної території, мм/га

Надходження атмосферних опадів (P_v , mm) за вегетаційний період 2018–2019 рр. в межах агроландшафтів водозбірної території річки варіювало в межах 556–716 мм; у 2019–2020 рр. – від 595 мм до 744 мм; у 2020–2021 рр. – від 646–817 мм. Загальний об'єм надходження атмосферних опадів за вегетаційний період в межах агроландшафтів водозбірної території річки становив: у 2018–2019 рр. – 3760 млн м³, 2019–2020 рр. – 4423 млн м³, 2020–2021 рр. – 4839 млн м³.

На основі співвідношення даних $WFha$ і P_v визначено просторово-часові закономірності зміни частки споживання атмосферних опадів сівозміною польових культур у роки вегетацій з різними кліматичними умовами. Зокрема, у вегетаційний період 2018–2019 рр. (середньовологий → посушливий) частка споживання атмосферних опадів ($WFha/P_v$, %) склала 45,2–61,5 %; у 2019–2020 рр. (посушливий → середньовологий) – від 47,4 % до 61,6 %; у 2020–2021 рр. (середньовологий → вологий) – від 41,4 % до 55,2 %. Одержані результати надають можливості здійснити розрахунки об'єму акумуляції дощової (зеленої) води ($P_v - WFha$, мм) на агроландшафтах для підтримки гідрофункціонування водозбірної території річки Случ. Встановлено, що у вегетаційний період 2018–2019 рр. акумуляція зеленої води після вирощування основних польових культур склала 215–392 мм/га; у 2019–2020 рр. – 229–389 мм/га; у 2020–2021 рр. – 289–477 мм/га. Загальний об'єм акумуляції зеленої води за вегетаційний період з агроландшафтів для забезпечення водно-балансової стійкості басейну річки склало: у 2018–2019 рр. – 1769 млн м³ або 47,0 % від надходження атмосферних опадів P_v ; 2019–2020 рр. – 1983 млн м³ або 44,8 % від P_v ; 2020–2021 рр. – 2476 млн м³ або 51,2 % від P_v .

Результати проведеного дослідження мають високу сільськогосподарську та екологічну цінність, оскільки дозволяють здійснити коригування та обґрунтування ресурсозберігаючих агротехнологій і сівозмін залежно від кліматичних змін та дефіциту вологи, об'ємів продуктивного водоспоживання окремою культурою, можливості акумуляції дощової (зеленої) води та збереження ґрунтової (синьої) вологи для формування подальших сприятливих умов вегетації польової сівозміни. У екологічному сенсі результати є важливими для розрахунку об'ємів збереження та додаткової акумуляції вологи, визначення водно-балансової стійкості басейну річки.

Висновки. На основі аналізу даних NASA POWER, FAO та дешифрування космічних знімків супутникового апарату Sentinel 2 встановлено просторово-часові закономірності диференціації водного сліду вирощування сільськогосподарських культур та формування водно-балансової стійкості басейну річки Случ в зоні Полісся України за умовах кліматичних змін. Розроблено серію кліматичних карт та балансу споживання зеле-

ної води основними польовими культурами в періоди вегетації, що надало можливості провести дослідження кліматичних змін, формування обсягів водного сліду в залежності від сівозміни та кліматичних умов періоду вегетації, встановити співвідношення споживання дощової (зеленої) води та ґрунтової (синьої) вологи у вегетаційний період, розрахувати об'єми акумуляція зеленої води на агроландшафтах водозбірної території для встановлення водно-балансової стійкості басейну річки Случ. За результатами кореляційного аналізу встановлено, що головним кліматичним компонентом диференціації еталонної евапотранспірації (ET_0) є температура повітря (T). Рівень кореляції середньорічних значень T і ET_0 складає 0,79, середньомісячних 0,95. Об'єми водного сліду розраховано для вегетаційного періоду вирощування сівозміни основних польових озимих і ярих культур за 2018–2021 рр., зокрема: 2018–2019 рр. – середньовологий переходить у посушливий рік; 2019–2020 рр. – посушливий переходить у середньовологий рік; 2020–2021 рр. – середньовологий переходить у вологий рік. Співвідношення насиченості сівозмін за роки досліджень становило: пшениця озима – 24,3 %, жито озиме – 1,9 %, ячмінь ярий – 7,5 %, кукурудза на зерно – 31,3 %, соняшник – 24,8 %, ріпак озимий – 10,2 %. Для культур сівозміни розраховано об'єми використання віртуальної води та співвідношення використання зеленої (дощової) і ґрунтової (синьої) води. Висока насиченість сівозміни технічними культурами обумовлює збільшення об'ємів водного сліду на вирощування 1 тони продукції у 1,5–2,3 рази та евапорацію ґрунтової (синьої) вологи у 1,3–4,0 рази. Тому, висока насиченість сівозміни цими культурами обумовлює низький рівень їх агроекологічної доцільності щодо збереження зеленої води та оптимізації використання ґрунтової (синьої) вологи з метою забезпечення сприятливих умов водно-балансової стійкості басейну річки. Співвідношення використання «зеленої : синьої» води для основних польових культур на агроландшафтах водозбірної території складає: пшениця озима – 0,7 : 0,3; жито озиме – 0,52 : 0,48; ріпак озимий – 0,52 : 0,48; ячмінь ярий – 0,77 : 0,23; кукурудза на зерно – 0,69 : 0,31; соняшник – 0,72 : 0,28. Встановлено, що часка споживання атмосферних опадів сівозміною польових культур у роки вегетації з різними кліматичними умовами варіювала у 2018–2019 рр. (середньовологий → посушливий) від 45,2 % до 61,5 %; у 2019–2020 рр. (посушливий → середньовологий) – від 47,4 % до 61,6 %; у 2020–2021 рр. (середньовологий → вологий) – від 41,4 % до 55,2 %. Це обумовило неоднорідність додаткової акумуляції зеленої води у агроландшафтах на забезпечення водно-балансової стійкості басейну річки на рівні: у 2018–2019 рр. – 1769 млн м³ або 47,0 % від надходження атмосферних опадів (P_v); 2019–2020 рр. – 1983 млн м³ або 44,8 % від P_v ; 2020–2021 рр. – 2476 млн м³ або 51,2 % від P_v . Запропонована схема досліджень та одер-

жані результати є важливими для коригування та обґрунтування ресурсозберігаючих агротехнологій та сівозмін у відповідності до кліматичних змін, визначення водно-балансової стійкості басейну річки через показник додаткової акумуляції зеленої води.

SPATIAL-TEMPORAL DIFFERENTIATION OF THE WATER FOOTPRINT OF AGRICULTURAL CROP GROWING IN THE SLUCH RIVER CATCHMENT AREA UNDER THE CONDITIONS OF CLIMATE CHANGE

*Pichura V.I. – Doctor of Agriculture, Professor,
Potravka L.O. – Doctor of Economics, Professor,
Kherson State Agrarian and Economic University,
pichuravitalii@gmail.com, potravkalarisa@gmail.com*

Water footprint is a common and efficient indicator in evaluating water resources. Quantitative evaluation of green water footprint is important for evaluating water resources at the basin level under conditions of climate change and moisture deficit. Agriculture is a main sector of exploitation of natural resources that has a considerable impact on water balance stability of river basins since it is water-consuming, and the portion of water footprint use reaches 86%. Therefore, under conditions of climate change and unstable moisture supply, it is necessary to enhance the system of evaluation aimed at efficient use of water resources in the system of basin exploitation of natural resources, environmental protection and improvement of life maintenance quality. The purpose of the research was to calculate water footprint in growing the basic field crops and establish the volumes of additional water accumulation to provide the hydro-functioning of the Sluch river basin in the territory of Ukraine under conditions of climate change. The research was based on the data of climate change analysis in 1981–2022, decoding of the actual satellite imagery of the spacecraft Landsat 2 and statistical data on crop rotation structure in the agrolandscapes of the water catchment area in the research region. The scheme of the research of the water catchment area of the Sluch river and calculation of water footprint in growing agricultural crops involve six logical blocks of research organization: identifying water courses and determining the boundaries of the water catchment area, establishing the land structure of the river basin, examining climate change, calculating the balance of water use and spatio-temporal differentiation of water footprint in growing the basic field crops on the basis of the FAO Penman-Monteith method and calculating water balance stability of the Sluch river basin. The volumes of water footprint were calculated for the vegetation periods of the basic field winter and spring crops in 2018–2021: 2018–2019 – a semi-wet year grows into a dry year; 2019–2020 – a dry year grows into a semi-wet year; 2020–2021 – a semi-wet year grows into a wet year. Spatio-temporal regularities of the formation of water footprint and the ratio of green and blue water use in growing different agricultural crops were determined. The total volume of water footprint in growing the field crops of a certain crop rotation equaled: in 2018–2019 – 1991 mln m³, 2019–2020 – 2440 mln m³, 2020–2021 – 2363 mln m³. The total volume of precipitation in the vegetation period

within the river water catchment area was: in 2018–2019 – 3760 mln mm³, 2019–2020 – 4423 mln m³, 2020–2021 – 4839 mln m³. The total volume of additional accumulation of green (rain) water in the vegetation period in the agro-landscapes of the river basin equaled: in 2018–2019 – 1769 mln m³, or 47.0 % of precipitation in the vegetation period (Pv); 2019–2020 – 1983 mln m³, or 44.8 % of Pv; 2020–2021 – 2476 mln m³, or 51.2 % of Pv. The proposed research scheme and the obtained results are important for adjusting and substantiating water- and resource-saving agrotechnologies and crop rotations depending on climate change, for determining water balance stability of the river basin in accordance with the indicators of additional accumulation of green water.

Key words: climate, water footprint, agriculture, field crops, water consumption, river basin, modelling, the Sluch river.

ЛІТЕРАТУРА

1. Pichura V., Potravka L., Vdovenko N., Biloshkurenko O., Stratchuk N., Baysha K. Changes in Climate and Bioclimatic Potential in the Steppe Zone of Ukraine. *Journal of Ecological Engineering*. 2022. Vol. 23(12). P. 189–202. <https://doi.org/10.12911/22998993/154844>
2. Asgarizadeh Z., Gifford R., Colborne L. Predicting climate change anxiety. *Journal of Environmental Psychology*. 2023. Vol. 90. 102087. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2023.102087>
3. Mei H., Li Y.P., Suo C., Ma Y., Lv J. Analyzing the impact of climate change on energy-economy-carbon nexus system in China. *Applied Energy*. 2020. Vol. 262. 1144568. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114568>
4. Prajapati R.N., Ibrahim N., Thapa B.R. Climate change impact on water availability in the Himalaya: Insights from Sunkoshi River basin, Nepal. *HydroResearch*. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.hydres.2023.10.002>
5. Pichura V. I., Potravka L. A., Skrypchuk P. M., Stratchuk N. V. Anthropogenic and climatic causality of changes in the hydrological regime of the Dnieper river. *Journal of Ecological Engineering*. 2020. Vol. 21(4). P. 1–10. <https://doi.org/10.12911/22998993/119521>
6. Yingshuo Lyu Y., Chen H., Cheng Z., He Y., Zheng X. Identifying the impacts of land use landscape pattern and climate changes on streamflow from past to future. *Journal of Environmental Management*. 2023. Vol. 345. 118910. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118910>
7. Chowdhury A., Hasan K., Hasan R., Younos T. B. Climate change impacts and adaptations on health of Internally Displaced People (IDP): An exploratory study on coastal areas of Bangladesh. *Heliyon*. 2020. Vol. 6(9). e05018. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05018>
8. Coleman M. A., Wernberg T. A Glass Half Full: Solutions-Oriented Management under Climate Change. *Trends in Ecology & Evolution*. 2021. Vol. 36(5). P. 385–386. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2021.02.009>
9. Pichura V. I., Domaratsky Y. A., Yaremko Yu. I., Volochnyuk Y. G., Rybak V. V. Strategic Ecological Assessment of the State of the Transbound-

- ary Catchment Basin of the Dnieper River Under Extensive Agricultural Load. *Indian Journal of Ecology*. 2017. Vol. 44(3). P. 442–450.
10. Han Z., Wei Y., Meng J., Zou Y., Wu Q. Integrated water security and coupling of social-ecological system to improve river basin sustainability. *Science of the Total Environment*. 2023. Vol. 905. 167182. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167182>
 11. Pei Y., Qiu H., Yang D., Liu Z., Ma S., Li J., Cao M., Wufuer W. Increasing landslide activity in the Taxkorgan River Basin (eastern Pamirs Plateau, China) driven by climate change. *CATENA*. 2023. Vol. 223. 106911. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.106911>
 12. Pichura V. I., Malchykova D. S., Ukrainskij P. A., Shakhman I. A., Bystrantseva A. N. Anthropogenic Transformation of Hydrological Regime of The Dnieper River. *Indian Journal of Ecology*. 2018. Vol. 45(3). P. 445–453.
 13. Rivaes R. P., Feio M. J., Almeida S.F.P., Calapez A. R., Sales M., Gebler D., Lozanovska I., Aguiar F. C. River ecosystem endangerment from climate change-driven regulated flow regimes. *Science of the Total Environment*. 2022. Vol. 818. 151857. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151857>
 14. Пічура В. І. Басейнова організація природокористування на водозбірній території транскордонної річки Дніпро. Херсон: «ОЛДІ-ПЛЮС», 2020. 380 с.
 15. Montes R., Méndez S., Cobas J., Carro N., Neuparth T., Alves N., Santos M. M., Quintana J. B., Rodil R. Occurrence of persistent and mobile chemicals and other contaminants of emerging concern in Spanish and Portuguese wastewater treatment plants, transnational river basins and coastal water. *Science of the Total Environment*. 2023. Vol. 885. 163737. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163737>
 16. Li M., Lu S., Li W. Stakeholders' ecological-economic compensation of river basin: A multi-stage dynamic game analysis. *Resources Policy*. 2022. Vol. 79. 103083. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.103083>
 17. Lavet N.V.S., Banerjee A., Kartha S. A., Dutta S. Impact of anthropogenic activities on river-aquifer exchange flux in an irrigation dominated Ganga river sub-basin. *Journal of Hydrology*. 2021. Vol. 602. 126811. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126811>
 18. Pichura V., Potravka L., Skok S., Vdovenko N. Causal Regularities of Effect of Urban Systems on Condition of Hydro Ecosystem of Dnieper River. *Indian Journal of Ecology*. 2020. Vol. 47(2). P. 273–280.
 19. Xiong L., Ning J., Wang J., Dong Y. Coupling degree evaluation of heavy metal ecological capacity and enterprise digital transformation in river basins. *Ecological Indicators*. 2021. Vol. 133. 108358. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108358>

20. Madeira C. L., Acayaba R. D., Santos V. S., Villa J.E.L., Jacinto-Hernández C., Azevedo J.A.T., Elias V. O., Montagner C. C. Uncovering the impact of agricultural activities and urbanization on rivers from the Piracicaba, Capivari, and Jundiaí basin in São Paulo, Brazil: A survey of pesticides, hormones, pharmaceuticals, industrial chemicals, and PFAS. *Chemosphere*. 2023. Vol. 341. 139954. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.139954>
21. Prasood S. P., Mukesh M. V., Rani V. R., Sajinkumar K. S., Thrivikramji K. P. Urbanization and its effects on water resources: Scenario of a tropical river basin in South India. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*. 2021. Vol. 23. 100556. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100556>
22. Dudiak N. V., Pichura V. I., Potravka L. A., Strachuk N. V. Geomodelling of Destruction of Soils of Ukrainian Steppe Due to Water Erosion. *Journal of Ecological Engineering*. 2019. Vol. 20 (8). P. 192–198.
23. Santos F. M., Pelinson N. S., Oliveira R. P., Lollo J.A.D. Using the SWAT model to identify erosion prone areas and to estimate soil loss and sediment transport in Mogi Guaçu River basin in Sao Paulo State, Brazil. *CATENA*. 2023. Vol. 222. 106872. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106872>
24. Hoekstra A. Y., Chapagain A. K. Globalization of Water: Sharing the Planet's Freshwater Resources. Blackwell Publishing: Oxford, 2008. 224.
25. Dudiak N. V., Potravka L. A., Stroganov A. A. Soil and climatic bonitation of agricultural lands of the steppe zone of Ukraine. *Indian Journal of Ecology*. 2019. Vol. 46(3). P. 534–540.
26. Wu X., Feng X., Wang Z., Chen Y., Deng Z. Multi-source precipitation products assessment on drought monitoring across global major river basins. *Atmospheric Research*. 2023. Vol. 295. 106982. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2023.106982>
27. Furtak K., Wolińska A. The impact of extreme weather events as a consequence of climate change on the soil moisture and on the quality of the soil environment and agriculture – A review. *CATENA*. 2023. Vol. 231. 107378. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107378>
28. Pichura V., Domaratskiy Ye., Potravka L., Biloshkurenko O., Dobrovol'skiy A. Application of the Research on Spatio-Temporal Differentiation of a Vegetation Index in Evaluating Sunflower Hybrid Plasticity and Growth-Regulators in the Steppe Zone of Ukraine. *Journal of Ecological Engineering*. 2023. Vol. 24(6). P. 144–165. <https://doi.org/10.12911/22998993/162782>
29. Pichura V., Potravka L., Domaratskiy Ye., Petrovas S. Spatiotemporal patterns and vegetation forecasting of sunflower hybrids in soil and climatic conditions of the Ukrainian Steppe zone. *Ukrainian Black Sea Region Agrarian Science*. 2023. Vol. 27(3). P. 31–45. 10.56407/bs.agrarian/3.2023.31.

30. Domaratskiy E. O., Zhuykov O. G., Ivaniv M. O. Influence of Sowing Periods and Seeding Rates on Yield of Grain Sorghum Hybrids under Regional Climatic Transformations. *Indian Journal of Ecology*. 2018. Vol. 45(4). P. 785–789.
31. Domaratskiy E. O., Bazaliy V. V., Domaratskiy O. O., Dobrovol'skiy A. V., Kyrychenko N. V., Kozlova O. P. Influence of Mineral Nutrition and Combined Growth Regulating Chemical on Nutrient Status of Sunflower. *Indian Journal of Ecology*. 2018. Vol. 45(1). P. 126–129.
32. Domaratskiy Ye., Berdnikova O., Bazaliy V., Shcherbakov V., Gamayunova V., Larchenko O., Domaratskiy A., Boychuk I. Dependence of winter wheat yielding capacity on mineral nutrition in irrigation conditions of southern Steppe of Ukraine. *Indian Journal of Ecology*. 2019. Vol. 46(3). P. 594–598.
33. Skok S., Breus D., Almashova V. Assessment of the Effect of Biological Growth-Regulating Preparations on the Yield of Agricultural Crops under the Conditions of Steppe Zone. *Journal of Ecological Engineering*. 2023. Vol. 24(7). P. 135–144.
34. Gao J., Zhuo L., Duan X., Wu P. Agricultural water-saving potentials with water footprint benchmarking under different tillage practices for crop production in an irrigation district. *Agricultural Water Management*. 2023. Vol. 282. 108274. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108274>
35. Wu N., Yin J., Engel B. A., Hua E., Li X., Zhang F., Wang Y. Assessing the sustainability of freshwater consumption based on developing 3D water footprint: A case of China. *Journal of Cleaner Production*. 2022. Vol. 364. 132577. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132577>
36. Pellicer-Martínez F., Martínez-Paz J.M. The Water Footprint as an indicator of environmental sustainability in water use at the river basin level. *Science of the Total Environment*. 2016. Vol. 571. P. 561–574. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.022>
37. Muratoglu A. Water footprint assessment within a catchment: A case study for Upper Tigris River Basin. *Ecological Indicators*. 2019. Vol. 106. 105467. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105467>
38. Strahler A. N. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Geol. Soc. Amer. Bull.* 1952.
39. Приймаченко І. В. Екологічний моніторинг басейну річки Случ. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Агрономія*. 2013. Вип. 183(2). С. 241–248.
40. Бедункова О. О. Оцінка сучасного екологічного стану поверхневих вод річки Случ за басейновим принципом. *Вісник національного університету та природокористування*. 2013. Вип. 4(64). С. 74–82.
41. Бедункова О. О., Статник І. І., Боярин М. В. Вибір індикаторів моніторингу якості поверхневих вод річки Случ. *Водні біоресурси та аквакультура*. 2023. Вип. 1(13). С. 109–123. <https://doi.org/10.32851/wba.2023.1.9>

REFERENCES

1. Pichura V., Potravka L., Vdovenko N., Biloshkurenko O., Stratchuk N., Baysha K. (2022). Changes in Climate and Bioclimatic Potential in the Steppe Zone of Ukraine. *Journal of Ecological Engineering*, Vol. 23 (12), 189–202. <https://doi.org/10.12911/22998993/154844>.
2. Asgarizadeh Z., Gifford R., Colborne L. (2023). Predicting climate change anxiety. *Journal of Environmental Psychology*, Vol. 90, 102087. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2023.102087>.
3. Mei H., Li Y.P., Suo C., Ma Y., Lv J. (2020). Analyzing the impact of climate change on energy-economy-carbon nexus system in China. *Applied Energy*, Vol. 262, 1144568. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114568>.
4. Prajapati R. N., Ibrahim N., Thapa B. R. (2023). Climate change impact on water availability in the Himalaya: Insights from Sunkoshi River basin, Nepal. *HydroResearch*. <https://doi.org/10.1016/j.hydres.2023.10.002>.
5. Pichura V. I., Potravka L. A., Skrypchuk P. M., Stratchuk N. V. (2020). Anthropogenic and climatic causality of changes in the hydrological regime of the Dnieper river. *Journal of Ecological Engineering*, Vol. 21(4), 1–10. <https://doi.org/10.12911/22998993/119521>.
6. Yingshuo Lyu Y., Chen H., Cheng Z., He Y., Zheng X. (2023). Identifying the impacts of land use landscape pattern and climate changes on stream-flow from past to future. *Journal of Environmental Management*, Vol. 345, 118910. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118910>.
7. Chowdhury A., Hasan K., Hasan R., Younos T.B. (2020). Climate change impacts and adaptations on health of Internally Displaced People (IDP): An exploratory study on coastal areas of Bangladesh. *Heliyon*, Vol. 6(9), e05018. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05018>.
8. Coleman M. A., Wernberg T. (2021). A Glass Half Full: Solutions-Oriented Management under Climate Change. *Trends in Ecology & Evolution*, Vol. 36(5), 385–386. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2021.02.009>.
9. Pichura V. I., Domaratsky Y. A., Yaremko Yu. I., Volochnyuk Y. G., Rybak V. V. (2017). Strategic Ecological Assessment of the State of the Transboundary Catchment Basin of the Dnieper River Under Extensive Agricultural Load. *Indian Journal of Ecology*, Vol. 44(3), 442–450.
10. Han Z., Wei Y., Meng J., Zou Y., Wu Q. (2023). Integrated water security and coupling of social-ecological system to improve river basin sustainability. *Science of the Total Environment*, Vol. 905, 167182. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167182>.
11. Pei Y., Qiu H., Yang D., Liu Z., Ma S., Li J., Cao M., Wufuer W. (2023). Increasing landslide activity in the Taxkorgan River Basin (eastern Pamirs

- Plateau, China) driven by climate change. *CATENA*, Vol. 223, 106911. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.106911>.
12. Pichura V. I., Malchykova D. S., Ukrainskij P. A., Shakhman I. A., Bystriantseva A. N. (2018). Anthropogenic Transformation of Hydrological Regime of The Dnieper River. *Indian Journal of Ecology*, Vol. 45(3), 445–453.
 13. Rivaes R. P., Feio M. J., Almeida S. F. P., Calapez A. R., Sales M., Gebler D., Lozanovska I., Aguiar F. C. (2022). River ecosystem endangerment from climate change-driven regulated flow regimes. *Science of the Total Environment*, Vol. 818, 151857. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151857> [in English].
 14. Pichura V. I. (2020). *Basejnova organizacija pryrodokorystuvannja na vodozbirnij terytorii' transkordonnoi' richky Dnipro* [Basin organization of nature management in the catchment area of the transboundary Dnipro River]. Kherson: «OLDI-PLUS». [in Ukrainian].
 15. Montes R., Méndez S., Cobas J., Carro N., Neuparth T., Alves N., Santos M. M., Quintana J. B., Rodil R. (2023). Occurrence of persistent and mobile chemicals and other contaminants of emerging concern in Spanish and Portuguese wastewater treatment plants, transnational river basins and coastal water. *Science of the Total Environment*, Vol. 885, 163737. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163737> [in English].
 16. Li M., Lu S., Li W. (2022). Stakeholders' ecological-economic compensation of river basin: A multi-stage dynamic game analysis. *Resources Policy*, Vol. 79, 103083. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.103083>.
 17. Lavet N. V. S., Banerjee A., Kartha S. A., Dutta S. (2021). Impact of anthropogenic activities on river-aquifer exchange flux in an irrigation dominated Ganga river sub-basin. *Journal of Hydrology*, Vol. 602, 126811. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126811> [in English].
 18. Pichura V., Potravka L., Skok S., Vdovenko N. (2020). Causal Regularities of Effect of Urban Systems on Condition of Hydro Ecosystem of Dnieper River. *Indian Journal of Ecology*, Vol. 47(2), 273–280.
 19. Xiong L., Ning J., Wang J., Dong Y. (2021). Coupling degree evaluation of heavy metal ecological capacity and enterprise digital transformation in river basins. *Ecological Indicators*, Vol. 133, 108358. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108358>.
 20. Madeira C. L., Acayaba R. D., Santos V. S., Villa J. E. L., Jacinto-Hernández C., Azevedo J. A. T., Elias V. O., Montagner C. C. (2023). Uncovering the impact of agricultural activities and urbanization on rivers from the Piracicaba, Capivari, and Jundiá basin in São Paulo, Brazil: A survey of pesticides, hormones, pharmaceuticals, industrial chemicals, and PFAS. *Chemosphere*, Vol. 341, 139954. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.139954> [in English].

21. Prasood S. P., Mukesh M. V., Rani V. R., Sajinkumar K. S., Thrivikramji K. P. (2021). Urbanization and its effects on water resources: Scenario of a tropical river basin in South India. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, Vol. 23, 100556. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100556>.
22. Dudiak N. V., Pichura V. I., Potravka L. A., Strachuk N. V. (2019). Geo-modelling of Destruction of Soils of Ukrainian Steppe Due to Water Erosion. *Journal of Ecological Engineering*, Vol. 20(8), 192–198.
23. Santos F. M., Pelinson N. S., Oliveira R. P., Lollo J.A.D. (2023). Using the SWAT model to identify erosion prone areas and to estimate soil loss and sediment transport in Mogi Guaçu River basin in Sao Paulo State, Brazil. *CATENA*, Vol. 222, 106872. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106872>.
24. Hoekstra A. Y., Chapagain A. K. (2008). Globalization of Water: Sharing the Planet's Freshwater Resources. Blackwell Publishing: Oxford, 224.
25. Dudiak N. V., Potravka L. A., Stroganov A. A. (2019). Soil and climatic bonitation of agricultural lands of the steppe zone of Ukraine. *Indian Journal of Ecology*, Vol. 46(3), 534–540.
26. Wu X., Feng X., Wang Z., Chen Y., Deng Z. (2023). Multi-source precipitation products assessment on drought monitoring across global major river basins. *Atmospheric Research*, Vol. 295, 106982. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2023.106982>.
27. Furtak K., Wolińska A. (2023). The impact of extreme weather events as a consequence of climate change on the soil moisture and on the quality of the soil environment and agriculture – A review. *CATENA*, Vol. 231, 107378. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107378>.
28. Pichura V., Domaratskiy Ye., Potravka L., Biloshkurenko O., Dobrovol'skiy A. (2023). Application of the Research on Spatio-Temporal Differentiation of a Vegetation Index in Evaluating Sunflower Hybrid Plasticity and Growth-Regulators in the Steppe Zone of Ukraine. *Journal of Ecological Engineering*, Vol. 24(6), 144–165. <https://doi.org/10.12911/22998993/162782>.
29. Pichura V., Potravka L., Domaratskiy Ye., Petrovas S. (2023). Spatiotemporal patterns and vegetation forecasting of sunflower hybrids in soil and climatic conditions of the Ukrainian Steppe zone. *Ukrainian Black Sea Region Agrarian Science*, Vol. 27(3), 31–45. 10.56407/bs.agrarian/3.2023.31.
30. Domaratskiy E. O., Zhuykov O. G., Ivaniv M. O. (2018). Influence of Sowing Periods and Seeding Rates on Yield of Grain Sorghum Hybrids under Regional Climatic Transformations. *Indian Journal of Ecology*, Vol. 45(4), 785–789.
31. Domaratskiy E. O., Bazaliy V. V., Domaratskiy O. O., Dobrovol'skiy A. V., Kyrychenko N. V., Kozlova O. P. (2018). Influence of Mineral Nutrition and Combined Growth Regulating Chemical on Nutrient Status of Sunflower. *Indian Journal of Ecology*, Vol. 45(1), 126–129.

32. Domaratskiy Ye., Berdnikova O., Bazaliy V., Shcherbakov V., Gamayunova V., Larchenko O., Domaratskiy A., Boychuk I. (2019). Dependence of winter wheat yielding capacity on mineral nutrition in irrigation conditions of southern Steppe of Ukraine. *Indian Journal of Ecology*, Vol. 46(3), 594–598.
33. Skok S., Breus D., Almashova V. (2023). Assessment of the Effect of Biological Growth-Regulating Preparations on the Yield of Agricultural Crops under the Conditions of Steppe Zone. *Journal of Ecological Engineering*, Vol. 24(7), 135–144.
34. Gao J., Zhuo L., Duan X., Wu P. (2023). Agricultural water-saving potentials with water footprint benchmarking under different tillage practices for crop production in an irrigation district. *Agricultural Water Management*, Vol. 282, 108274. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108274>.
35. Wu N., Yin J., Engel B.A., Hua E., Li X., Zhang F., Wang Y. (2022). Assessing the sustainability of freshwater consumption based on developing 3D water footprint: A case of China. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 364, 132577. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132577>.
36. Pellicer-Martínez F., Martínez-Paz J.M. (2016). The Water Footprint as an indicator of environmental sustainability in water use at the river basin level. *Science of the Total Environment*, Vol. 571, 561–574. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.022>.
37. Muratoglu A. (2019). Water footprint assessment within a catchment: A case study for Upper Tigris River Basin. *Ecological Indicators*, Vol. 106, 105467. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105467>.
38. Strahler A. N. (1952). Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Geol. Soc. Amer. Bull.*
39. Priymachenko I. V. (2013). *Ekologichnyj monitoryng basejnu richky Sluch* [Environmental monitoring of the Sluch river basin]. *Scientific Bulletin of the National University of Bioresources and Nature Management of Ukraine. Series: Agronomy*, Vol. 183(2), 241–248. [in Ukrainian].
40. Biedunkova O. O. (2013). *Ocinka suchasnogo ekologichnogo stanu poverhnevnyh vod richky Sluch za basejnovym pryncypom* [Ecological assessment of modern state of river Sluch surface water is basin principle]. *Bulletin of the National University and Nature Management*, Vol. 4(64), 74–82. [in Ukrainian].
41. Biedunkova O. O., Statnyk I. I., Boiaryn M. V. (2023). *Vybir indykatoriv monitoryngu jakosti poverhnevnyh vod richky Sluch* [Selection of indicators of surface water quality monitoring of Sluch river]. *Water Bioresources and Aquaculture*, Vol. 1 (13), 109–123. DOI <https://doi.org/10.32851/wba.2023.1.9> [in Ukrainian].

МЕТОДИ І МЕТОДИКИ

УДК 631.589.2:631.544.4

DOI <https://doi.org/10.32782/wba.2023.2.11>

ПРОДУКТИВНІСТЬ ТЮЛЬПАНУ ПРИ ВИРОЩУВАННІ В ҐРУНТОВОМУ СЕРЕДОВИЩІ ТА ГІДРОПОННИХ СИСТЕМАХ ПЕРІОДИЧНОГО ЗАТОПЛЕННЯ *FLOOD & DRAIN*

Ковальов М.М. – к.с.-г.н.,

Савченко К.М. – здобувач вищої освіти,

Янковська Я.І. – здобувач вищої освіти,

Центральноукраїнський національний технічний університет,

Nicolaskov80@gmail.com

У статті експериментально досліджено та обґрунтовано особливості росту та розвитку тюльпану в ґрунтовому середовищі та гідропонній системі періодичного затоплення в умовах плівкової теплиці 4 світлової зони України.

Вигонка тюльпанів – це цілеспрямований комплекс агрозаходів, головна мета якого досягти цвітіння у визначений проміжок часу. При чому технологія вигонки тюльпанів використовується не лише до 8 березня, а й до новорічних та травневих свят. Після березневої вигонки можна висадити цибулини на ґрядку у звичні терміни, а от після січневої вигонки робити це недоцільно. Якість отриманої продукції в основному залежить від двох важливих факторів: генетичних особливостей та технології вирощування.

У природі тюльпани зацвітають лише пройшовши період зимового охолодження. Знижена температура сприяє утворенню в цибулини фізіологічно активних речовин, що впливають на весь подальший процес розвитку та цвітіння. Необхідною умовою вигонки тюльпанів є вплив на цибулину зниженими температурами протягом 16–22 тижнів залежно від сорту.

Головним чинником отримання постійних стабільних зрізів різних сортів тюльпану, є технологія вигонки та метод вирощування. Порівняння ґрунтового методу вигонки тюльпанів з гідропонним за п'яти градусною технологією показав позитивні та негативні моменти кожного з них. При статистичній обробці результатів досліджень, встановлено достовірний вплив генотипу сорту тюльпану, технології вигонки, взаємодії факторів на мінливість висоти рослин. Сорти, вирощені на гідропонії, мають більшу висоту, ніж вирощені за ґрунтовым методом.

Сорти, вирощені за гідропонним методом періодичного затоплення Flood & Drain, мають більшу висоту. При вигонці в ґрунтовому середовищі можна отримати рослини з міцним стеблом та великою за розміром квіткою.

Сорти: Matchmaker та Big Smille, рекомендується вирощувати гідропонним методом, а Queensland та Fabio – ґрунтовым. Сорт Belleville – універсальний.

Ключові слова: тюльпан, вигонка, п'ятиградусна технологія, гідропонна технологія Flood & Drain, висота квітки, бутонізація, дисперсійний аналіз.

Постановка проблеми. Промислове квітникарство – одна з прибуткових галузей сільського господарства для багатьох країн світу. В асортименті квіткової продукції четверте місце посідають цибулинні культури. За попитом зрізу тюльпани займають четверте місце після троянд, хризантем та гербер [1, с. 28].

Найпопулярнішими технологіями нині у вітчизняних тепличних господарствах – п'ятиградусна та гідропонна технологія вигонки. Гідропонна вигонка – це відносно новий спосіб вигонки цибулин тюльпану для отримання квітів на зріз. Сам собою цей спосіб не є новим. Перші спроби гідропонного вирощування були проведені в середині 18 століття у домашніх умовах у скляних вазах, наповнених водою. В 60-тих роках минулого століття вперше було зроблено кілька спроб гідропонної вигонки тюльпанів у виробничих умовах [2, с. 15]. Лише наприкінці 90-х років, у міру вирішення низки технічних питань виробництва гідропонний метод набув широкого використання у країнах Європи, а згодом поширився і на весь світ. Гідропонна вигонка в контейнерах, в цілому, аналогічна вигонці в ящиках, заповнених ґрунтом [3, с. 49].

З часом цей спосіб вигонки розвинувся у лідируючий спосіб промислової вигонки цибулин тюльпанів для отримання квітів на зріз. У Нідерландах вигонка більше половини всіх цибулин тюльпанів на зріз здійснюється із застосуванням гідропонного способу. Це пояснюється наявністю ряду переваг у цієї технології. Якщо розглядати процес, загалом, то ці переваги дають змогу зменшити витрати виробництва [4, с. 366].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При гідропонній вигонці тюльпанів використовується спеціальний гідропонний контейнер для вигонки (внутрішній контейнер), який вставляється у стандартний ящик (40х60 см), що зазвичай використовується для ґрунтової вигонки цибулин. За цього способу використовується звичайна система наливу води: цибулини «саджують» у внутрішній контейнер, який потім наповнюють водою. Потім ящик, з поміщеним у ньому внутрішнім контейнером, переносять у приміщення для укорінення [5, с. 37]. При заміні поживного розчину, необхідно слідкувати за його рівнем у внутрішньому контейнері, де він повинен залишатися постійним. Даний спосіб використовується в 95 % випадків при гідропонній вигонці тюльпанів. Найчастіше у цій системі використовуються контейнери «Балб Фаст», меншою мірою – «Флексі-контейнери».

Дослідження показали, що при використанні системи періодичного затоплення вага рослин трохи збільшується. При використанні цієї системи відбувається постійна циркуляція води з розчиненими у ній поживними речовинами [6, с. 247]. У 2005 році кілька великих господарств, що займаються вигонкою тюльпанів, стали використовувати цю систему, яка забезпечує відмінну циркуляцію поживного розчину.

Однак при циркуляції води у системі зростає небезпека поширення хвороб, у тому числі грибних [7, с. 75]. Небезпека поширення хвороб значно зменшується при використанні звичайна система наливу води. Завдяки цій системі кожен контейнер в індивідуальному порядку заповнюється поживним розчином. Патогени, якщо вони присутні на цибулинах у певному контейнері, не розносяться по всіх інших контейнерах. В будь-який гідропонній системи контейнери використовуються багаторазово, тому після кожного циклу вирощування їх необхідно ретельно очищати [8, с. 36].

Постановка завдання. Мета роботи – розробка оптимальної технології гідропонного вирощування тюльпану в умовах плівкових теплиць 4 світлової зони України.

Матеріали і методи дослідження. Дослідження проводили у науковій лабораторії «Гідропонного вирощування овочів в купольній теплиці» кафедри загального землеробства Центральноукраїнського національного технічного університету протягом 2022–2023 рр. Для досліду було вибрано 6 сортів: Fabio з групи Папуга; Scarlet Verona – Махрові середні; Queensland – Махрові ранні; Matchmaker, Big Smile, Belleville – Триумф. Усю партію цибулин було закуплено в Голландії. Сухі цибулини були піддані тепловій обробці, згідно з технологією п'яти градусної вигонки. Повторність досліду трьохкратна [9, с. 20].

Були вивчені кількісні ознаки: висота квітконоса, висота келиха, діаметр квітки, товщина стебла, кількість листя, довжина нижнього листка, кількість днів від появи сходів до знімання товарної продукції; фенологічні: час появи проростка, бутонізації, забарвлення бутону, збирання товарної продукції. За цими ознаками визначається приналежність до першого чи другого сорту [10, с. 41]. Оцінку морфобіометричних показників проводили в три фази розвитку рослини:

1. Розгортанні першого листка.
2. Початок бутонізації.

3. Забарвлення бутону [11, с. 54]. В третій фазі проводили зріз готової продукції [12, с. 47]. В досліді використовувалися гідропонні системи побудовані на принципі періодичного затоплення Flood & Drain.

Результати досліджень. В рамках поставленого досліду було проведено двофакторний дисперсійний аналіз про вплив генотипу сорту та технологій обробітку на перераховані вище кількісні ознаки [13, с. 91; 14, с. 63]. Встановлено достовірний вплив генотипу сорту тюльпану, місця обробітку, взаємодії факторів на мінливість висоти рослин тюльпану. Сорти, вирощені на гідропонії, мають більшу висоту, ніж вирощені за ґрунтовим методом (рисунк 1).

Найбільший вплив на висоту рослини має генотип сорту (45 %), другим фактором за силою впливу є випадкова варіація (30 %), третім –

технологія вигонки (15 %). Взаємодія факторів сорт – технологія вигонки впливає незначно (5 %). Найменшою висотою при гідропонному вирощуванні тюльпана характеризується сорт Fabio 34,4 см, найбільшою – Scarlet Verona 49,5 см. Сорт Fabio достовірно відрізняється за висотою від сортів Scarlet Verona, Matchmaker, Big Smile, Belleville, Queensland. $НІР_{05}$ сорт = 1,98; $НІР_{05}$ технологія вигонки = 0,94; $НІР_{05}$ взаємодія факторів сорт/технологія вигонки = 3,21. Сорт Belleville має однакову висоту при вирощуванні в ґрунті та на гідропонії (39,3 см).

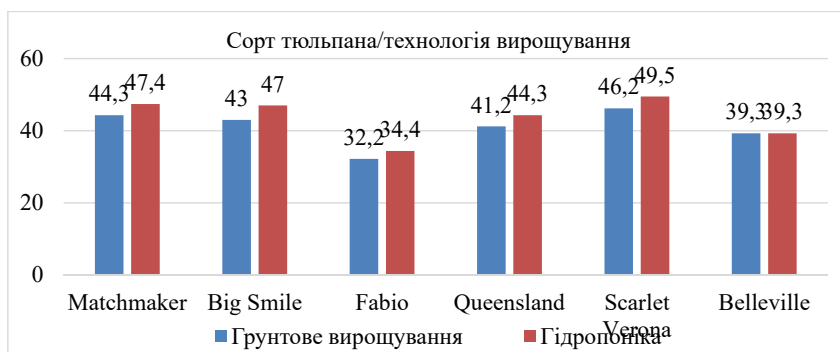


Рис. 1. Середні значення впливу факторів на висоту рослини, см

Висота келиха – важлива ознака з метою оцінки квіткової продукції. Був встановлений достовірний вплив технології вигонки на висоту келиха (рисунок 2).



Рис. 2. Частки впливу факторів на висоту квітки, %

Найбільший вплив надає фактор технологія вигонки (72 %). На другому місці – випадкова варіація (16 %), третьому – сорт (10 %). У сорту Matchmaker квіти з найменшою висотою келиха 4,9 см, найбільша – у сорту Fabio 5,7 см.

За градаціями взаємодії факторів сорт / технологія вигонки встановлено: при вигонці тюльпанів за гідропонним методом висота квітки більше сортів Matchmaker, Big Smille, Fabio, Queensland, Belleville. У сорту Scarlet Verona – висота квітки вище при вирощуванні в ґрунтовому середовищі (рисунок 3).

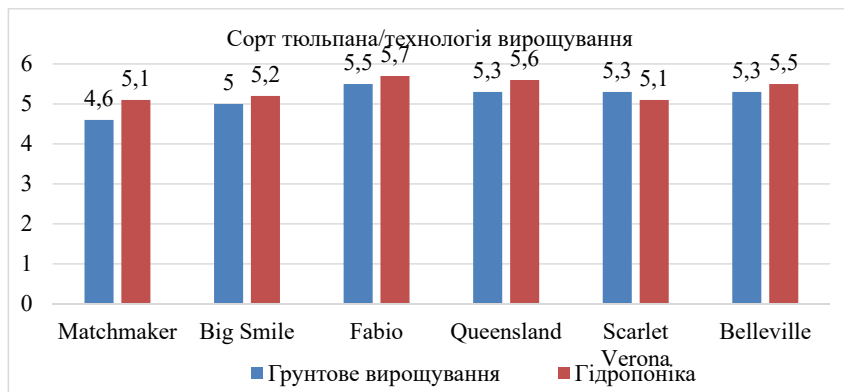


Рис. 3. Середні значення впливу факторів на висоту квітки, см

Сорт-технологія вигонки HP_{05} : сорт = 0,15; технологія вигонки = 0,69; сорт/технологія вигонки = 0,24. Встановлено достовірний вплив сорту на діаметр квітки.

Найбільший вплив на діаметр квітки тюльпана при вигонці надає фактор сорт – 82 %. На другому місці технологія вигонки – 12 %, третьому випадкова варіація – 5 %. У сорту Queensland найбільший діаметр квітки – 4,9 см, найменший – у сорту Big Smille – 2,6 см. За градаціями взаємодії факторів сорт/технологія вигонки встановлено, що при вигонці тюльпанів за гідропонним методом діаметр квітки більший, ніж при вирощуванні у ґрунтовому середовищі. HP_{05} : сорт = 0,15; технологія вигонки = 0,69; сорт/технологія вигонки = 0,24.

Під час вивчення ознаки товщина стебла було встановлено достовірний вплив місця обробітку на товщину. Найбільш сильний вплив зміну товщини стебла (рисунок 4) надає технологія вигонки – 77 %, другим чинником за силою впливу є випадкова варіація – 9 %. На третьому місці сорт – 8 % та найменше сорт-технологія вигонки – 6 %.

При вирощуванні в ґрунті тюльпани мають товщину стебла 1,04 см, а при вирощуванні гідропонним методом – 0,78 см. Серед комбінації ознак сорт-технологія вигонки найменша товщина стебла у сорту Big Smille, що вирощується в гідропонних контейнерах – 0,71 см, найбільша у сорту Fabio, вирощеними в ґрунтовому середовищі – 1,13 см. Комбінація факто-



Рис. 4. Частки впливу факторів на товщину стебла, %

рів Scarlet Verona в ґрунтовому середовищі – 1,11 см, Queensland в ґрунтовому середовищі – 1,07 см, Belleville в ґрунтовому середовищі – 1,04 см відрізняються максимальною висотою (рисунок 5).

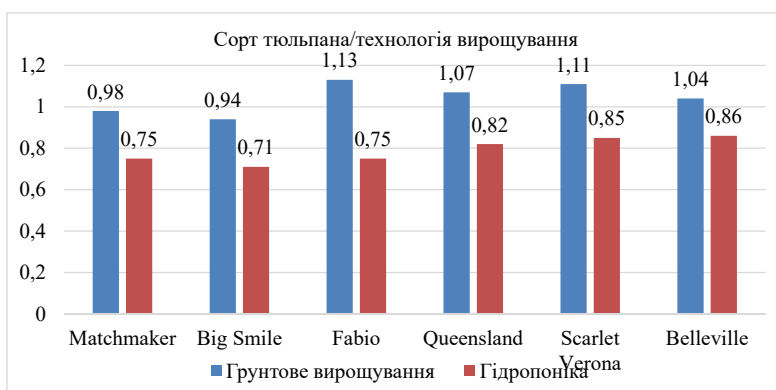


Рис. 5. Середні значення впливу фактору сорт–технологія вигонки на товщину стебла, см

Встановлено достовірний вплив генотипу сорту, місця вирощування та взаємодію факторів на кількість днів від появи сходів до зняття товарної продукції (рисунок 6).

Найбільший вплив на кількість днів від появи сходів до збирання товарної продукції має генотип сорту 83 %. Найменшою кількістю днів вирощування відрізняється сорт Queensland – 43 доби, найбільшою – Matchmaker 65 діб. За градаціями взаємодії факторів сорт – технологія вигонки: вирощування у ґрунті триваліше в середньому за варіантами на 2–5 діб, ніж на гідропоніці. У сорту Fabio при вирощуванні в ґрунто-

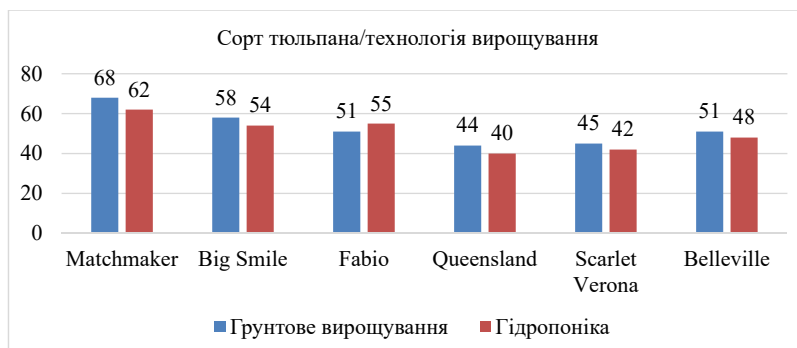


Рис. 6. Середні значення впливу факторів сорт–технологія вигонки на кількість днів від появи сходів до збирання товарної продукції, доба

вому середовищі термін отримання готової продукції на 4 доби менше, ніж при гідропонному вирощуванні.

Висновки та перспективи подальшого розвитку. При вигонці тюльпанів на зріз велике значення має висота рослини. При більшій довжині стебла з'являється більше можливостей флориста для флористичних робіт [15, с. 33].

Сорти, вирощені за гідропонною технологією періодичного затоплення Flood & Drain, мають більшу висоту. При вигонці в ґрунтовому середовищі отримуємо рослини з міцним стеблом та великою за розміром квіткою.

Сорт Matchmaker рекомендується вирощувати гідропонним методом, оскільки за такого методу скорочується термін вирощування на 5 діб, можна отримати більшу за розмірами квітку та довше на 3 см стебло.

У сорту Big Smile рекомендується вирощувати гідропонним методом, при якому висота рослини на 4 см більша, ніж при ґрунтовому вирощуванні.

Сорт Fabio має найбільшу висоту квітки серед усіх представлених в досліді сортів – 5,7 см. При вигонці в ґрунтовому середовищі зменшується термін одержання продукції на 4 дні. А от за гідропонного вирощування висота квітки на 2 см вища ніж при ґрунтовому вирощуванні.

Сорт Queensland відрізняється найбільшою кількістю листя – 4,6 шт. При ґрунтовому вирощуванні термін на 4 доби менший, ніж при вигонці на гідропоніці. Однак висота квітки більша на 3 сантиметри на гідропоніці, ніж при ґрунтовому вирощуванні.

Сорт Belleville – універсальний. Має однакову висоту рослини як при ґрунтовому вирощуванні, так і при гідропонному – 39,5 см, в той же час товщина стебла при вирощуванні при вигонці в ґрунті більша на 0,2 см. Гідропонна технологія вигонки дозволяє на 3 дні раніше отримати готову продукцію.

PRODUCTIVITY OF TULIP WHEN GROWN IN A SOIL ENVIRONMENT AND HYDROPONIC SYSTEMS OF PERIODIC FLOOD & DRAIN

*Kovalov M.M. – PhD of Agriculture, Senior Lecturer at the Department of Geoponics,
Savchenko K.M. – student of higher education,
Yankovska Ya.I. – student of higher education,
Central Ukrainian National Technical University,
Nicolaskov80@gmail.com*

The article experimentally investigated and justified the peculiarities of tulip growth and development in the soil environment and the hydroponic system of periodic flooding in the conditions of the film greenhouse of the 4th light zone of Ukraine.

Distillation of tulips is a purposeful complex of agricultural activities, the main goal of which is to achieve flowering in a certain period of time. Moreover, the technology of distilling tulips is used not only until March 8, but also before the New Year and May holidays. After the March rooting, you can plant the bulbs in the garden at the usual time, but after the January rooting, it is impractical to do this. The quality of the obtained products mainly depends on two important factors: genetic characteristics and cultivation technology.

In nature, tulips bloom only after the winter cooling period. The reduced temperature contributes to the formation of physiologically active substances in the bulbs, which affect the entire further process of development and flowering. A necessary condition for the extraction of tulips is exposure of the bulb to low temperatures for 16–22 weeks, depending on the variety.

The main factor in obtaining constant, stable sections of different varieties of tulips is the distillation technology and the growing method. A comparison of the soil method of growing tulips with the hydroponic method using the five-degree technology showed the positive and negative aspects of each of them. During the statistical processing of the research results, a reliable influence of the genotype of the tulip variety, extraction technology, interaction of factors on the variability of plant height was established. Varieties grown using hydroponics have a higher height than those grown using the soil method.

Varieties grown using the Flood & Drain hydroponic method are taller. When distilled in a soil environment, you can get plants with a strong stem and a large-sized flower.

Varieties: Matchmaker and Big Smille, it is recommended to grow hydroponically, and Queensland and Fabio – soil. The Belleville variety is universal.

Key words: tulip, distillation, five-degree technology, Flood & Drain hydroponic technology, flower height, budding, dispersion analysis.

ЛІТЕРАТУРА

1. Приліпка О. В., Цизь О. М. Агротехнологічні та організаційні засади функціонування підприємств закритого ґрунту : монографія. Київ: Центр учбової літератури, 2016. 384 с.
2. Бедриківська Н. П. Гідропоніка кімнатних квітів. Київ: Наукова думка. 1972. 65 с.
3. Ковальов М. М. Вирощування мікрозелені салату ромен у NFT-системах залежно від впливу типу субстрату. *Зрошуване землеробство: міжвідомчий тематичний науковий збірник*. Вип. 75. 2021. Видавничий дім «Гельветика». С. 48–52.
4. Sharma N., Acharya S., Kaushal K., Singh N., Chaurasia O. P. Hydroponics as an advanced technique for vegetable production: An overview. *Journal of Soil and Water Conservation*. 2019. no. 17(4). pp. 364–371. DOI: 10.5958/2455-7145.2018.00056.5.
5. Ішук Л. П., Олешко О. Г., Черняк В. М., Козак Л. А. Квітникарство. За ред. канд. біол. наук Л. П. Ішук. Біла Церква, 2014. 292 с.
6. Kumar Vipin, Tripathi Sonam, Mandal Mili Rani, Singh Bijendra Hydroponics: A Versatile System for Soilless Vegetable Production. *Annals of Horticulture*, 2022, Vol 15, no. 2, pp. 245–250.
7. Олейнікова О. М. Садові декоративні рослини. Харків: Веста, 2010. 144 с.
8. Богданова В. Д., Слепцов Ю. В., Якубенко Б. Є. Квітникарство закритого ґрунту : навчальний посібник. Київ : Кондор, 2019. 186 с.
9. Методика проведення експертизи сортів рослин групи декоративних, лікарських та ефіроолійних, лісових на придатність до поширення в Україні. Київ: ТОВ «Алефа», 2016. 128 с.
10. Сорокіна С. В. Товарознавство квітів : підручник. Харків: ХДУХТ, 2016. 97 с.
11. Бессонова В. П. Рослини квітників. Довідник. Дніпропетровськ: Вид-во «Свідлер А.Л.», 2010. 176 с.
12. Ковальов М. М., Васильковська К. В., Мороз С. М. Вирощування троянд в умовах гідропонних плівкових теплиць. *Водні біоресурси та аквакультура*. № 2(12). 2022. Видавничий дім «Гельветика». С.44–56.
13. Слепцов Ю. В. Гідропоніка : навч. посіб. К.: Урожай, 2006. 78 с.
14. Jerzy Marek. Kwiaty ciete uprawiane pod oslonamy. Poznan: Panstwowe Wydawnictwo Rolnicze i Lesne, 2006. 332 с.
15. Ronnblom E, Pielegnacja Ogrodu: praktyczne porady na caly rok wiosnalo jesien-zima. Krakow: Wydawnictwo REA-SJ, 2019. 272 p.

REFERENCES

1. Prylipka O. V., Tsyzy' O. M. (2016). *Ahrotekhnolohichni ta orhanizatsiyni zasady funktsionuvannya pidpryyemstv zakrytoho gruntu* [Agro-technological and organizational principles of functioning of closed soil enterprises]. Kyiv: Tsentr uchbovoyi literatury. [in Ukrainian].
2. Bedrykivs'ka N. P. (1972). *Hidroponika kimnatnykh kvitiv* [Hydroponics of indoor flowers]. Kyiv: Naukova dumka. [in Ukrainian].
3. Koval'ov M. M. (2021). *Vyroshchuvannya mikrozeleni salatu romen u NFT-systemakh zalezho vid vplyvu typu substratu* [Growing microgreens of romaine lettuce in NFT systems depending on the influence of the type of substrate]. *Irrigated agriculture: interdepartmental thematic scientific collection. Helvetica Publishing House*, Vol. 75, 48–52. [in Ukrainian].
4. Sharma N., Acharya S., Kaushal K., Singh N., Chaurasia O. P. (2019). Hydroponics as an advanced technique for vegetable production: An overview. *Journal of Soil and Water Conservation*. (electronic journal), Vol. 17, no. 4, 364–371. URL: https://www.indianjournals.com/ijor.aspx?target=ijor%3Aah&volume=15&issue=2&article=016&utm_source=TrendMD&utm_medium=cpc&utm_campaign=Annals_of_Horticulture_TrendMD_0
5. Ishchuk L. P., Oleshko O. H., Chernyak V. M., Kozak L. A. (2014). *Kvitnykarstvo* [Floriculture]. Bila Tserkva. [in Ukrainian].
6. Kumar Vipin, Tripathi Sonam, Mandal Mili Rani, Singh Bijendra Hydroponics: A Versatile System for Soilless Vegetable Production. *Annals of Horticulture*. (electronic journal), Vol. 15, no. 2, 245–250. URL: <https://www.indianjournals.com/ijor.aspx?target=ijor:ah&volume=15&issue=2&article=016>.
7. Olynykova O. M. (2010). *Sadovi dekoratyvni roslyny* [Garden decorative plants]. Kharkiv: Vesta. [in Ukrainian].
8. Bohdanova V. D., Slyeptsov Yu. V., Yakubenko B. Ye. (2019). *Kvitnykarstvo zakrytoho gruntu. Navchal'nyy posibnyk* [Indoor floriculture. Tutorial]. Kyiv: Kondor. [in Ukrainian].
9. Derzhstantart Ukrayiny (2016). *Metodyka provedennya ekspertyzy sortiv roslin hrupy dekoratyvnykh, likars'kykh ta efirooliynykh, lisovykh na prydatnist' do poshyrennya v Ukrayini* [Methodology for examination of varieties of decorative, medicinal and essential oil, forest plant varieties for suitability for distribution in Ukraine], Kyiv: TOV Alefa. [in Ukrainian].
10. Sorokina S. V. (2016). *Tovaroznavstvo kvitiv: Pidruchnyk* [Commodity science of flowers : textbook]. Kharkiv : KhDUKhT. [in Ukrainian].
11. Bessonova V. P. (2010). *Rosliny kvitnykiv* [Flower garden plants]. *Dovidnyk* [Directory]. Dnipropetrovs'k: Svidler A. L. [in Ukrainian].
12. Koval'ov M. M., Vasyly'kovs'ka K. V., Moroz S. M. (2022). *Vyroshchuvannya troyand v umovakh hidroponnykh plivkovykh teplyts'* [Growing roses

- in hydroponic film greenhouses]. *Aquatic Bioresources and Aquaculture*, Vol. 2, no. 12, 44–56. [in Ukrainian].
13. Slyeptsov Yu. V. (2006). *Hidroponika* [Hydroponics : education manual]. Kyiv: Urozhay. [in Ukrainian].
 14. Jerzy Marek. (2006). *Kwiaty ciete uprawiane pod oslonamy* [Cut flowers grown under cover]. Poznan: Panstwowe Wydawnictwo Rolnicze i Lesne. [in Polish].
 15. Ronnblom E. (2019). *Pielegnacja Ogrodu: praktyczne porady na caly rok wiosna-lato jeseien-zima* [Garden care: practical tips for the whole year: spring-summer autumn-winter]. Krakow: Wydawnictwo REA-SJ. [in Polish].

UDC 575/616

DOI <https://doi.org/10.32782/wba.2023.2.12>

BIOLOGICAL SIGNIFICANCE OF EXOSOMES AND MICROPARTICLES

*Botond Géza KÁLMÁN – Adjunct faculty,
Department of Business and Management,
Kodolányi János University of Applied Sciences (Hungary),
kalman.botond.geza@kodolanyi.hu, ORCID ID: 0000-0001-8031-8016*
*Victoria Frants – Graduate student,
Department of Entomology and Biodiversity Preservation,
Uzhhorod National University (Ukraine),
franzvika96@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-2604-6344*

The development of cell and molecular biology is accelerating along with the development of technology. Microvesicles are one of the focal points of ongoing research in this area.

Extracellular vesicles (exosomes, microvesicles) are recently discovered participants in intercellular communication, whose role has been proven in many physiological and pathological conditions. These 100–1000 nm membrane-surrounded particles originating from a wide variety of cells play a role in communication between cells, in the shrinkage of certain tumors, in the formation of metastases, in the formation of blood vessels, and also play a primary role in the regeneration of tissues.

Exosomes were discovered nearly fifty years ago. Today, thanks to their versatile use, they have become important elements of everyday science. Their main function is to contribute to genetic variability. This happens primarily in the way that they are able to transfer genetic material between different species and even between plants and animals. Experiments on the practical use of exosomes in tumor therapy, the treatment of autoimmune diseases, or the cure of infectious diseases are still ongoing.

A large amount of microvesicles circulate in body fluids, which play an important role in intercellular communication and in the detoxification and regeneration processes of cells. Scientists are actively researching the role that exosomes may play in signaling between cells; it is assumed that exosomes, being able to unite with distant cells and empty their contents into them, are thus able to influence the processes taking place in distant cells. Clarifying the exact role of exosomes may open many new possibilities in the future, from their use as biomarkers to their use as therapeutic targets.

This study summarizes the most basic knowledge on the biological significance of exosomes and microparticles.

Key words: exosomes, microvesicles, an autoimmune disease, biomarkers, cellular and molecular biology.

Introduction. Research into exosomes goes back more than thirty years. In their article [1], Théry et al briefly describe the historical background of exosomes research. The beginning is dated to 1981, when Tramsa et al.'s article on

this topic was published [2]. Although the term exosome has been used before, for example by Mishra and Tatum in 1973 [3], the 1981 definition refers to microvesicles produced by cells of a cancer cell line and exhibiting 5'-nucleotidase activity. In 1987, Johnstone already uses the term for small membrane vesicles that are produced and secreted into the intercellular space by eukaryotic cells (reticulocyte culture) [4]. They arise from multivesicular endosomes, and then merge with the plasma membrane and reach the extracellular space. This development from the inside out is called "inward/reverse budding" by Yang and tsai [5]. In 1989, Peters and Mayer demonstrated the fusion of late endosomes and the cell membrane in cytotoxic T cells [6]. In 1996, it was possible to trace the formation of multivesicular endosomes in B cells transformed by the Epstein-Barr virus, and then a more thorough study of exosomes began. Thanks to this, the results were soon confirmed for dendritic cells as well.

Material and method. The purpose of my present work is to present the biological significance of exosomes and microparticles. Since a significant amount of material has been collected during more than 30 years of research, I have chosen the review and processing of the literature as my method. In the introduction, I presented a brief history of the research so far, and in the following, I will review the nomenclature, biogenesis and composition of microvesicles. Next, I will summarize the knowledge gathered so far about the functions of exosomes, and then I will describe in more detail the results of the more frequent areas of research (oncology, circulatory diseases, neurodegenerative diseases, kidney diseases); finally, the relationship between common infections and exosomes. I will summarize the latest results and test methods, and then the future prospects; and in the summary I summarize the biological significance of exosomes and microparticles.

Literature results. The names of the particles are not yet completely uniform in the literature. The following division is based on Beyer and Pisetsky's 2009 classification (taken from: Gy. Nagy and tsai's presentation-10.28.2010) [7] sizes (Table 1):

Table 1. Classification of microvesicles based on diameter size (adapted from Nagy et al. [7])

Name	Measurement range (diameter)
exosome	10–100 sqm
ectosome / microparticle	100–1000 sq m
apoptotic body	1000–4000 sq m

Knowing the above division, in cases where it is not specifically one group or another, but microvesicles in general, I will use the names exosomes and summary microvesicles in the following.

Another possibility for categorization is the morphological classification based on electron microscopy, which Yang and Tsai use in their article [5]. They differentiate:

- cup-shaped and
- saucer-shaped exosomes.

Schorey et al. [8] categorize exosomes based on the mother cell rather than the mechanism of production; for hemopoietic and non-hemopoietic origins.

Edit Buzás also deals with measurement and detection issues in her lecture [9] and proposes the use of differential detergent lysis for the separation of impurities caused by protein complexes.

Now let's briefly review the biogenesis of exosomes! All eukaryotic cells produce similar microvesicles [10]. Their formation usually takes place during cell activation, although they are also continuously produced in certain cells (epithelial cells, immature dendritic cells). They can originate in two ways [10] (Fig. 1).

Those between 30–100 nm (exosomes) are multivesicular bodies branching from the endosome-lysosome pathway (Fig. 2) and leave the cell by exocytosis (this pathway was first described by Pan and Johnstone in reticulocytes in 1983).

Those between 100-1000 nm (microparticles/ectosomes) are created by reverse splicing as a result of an activation signal or an increase in the intracellular Ca^{2+} concentration.

Although there are still areas to be described in the exploration of biogenesis, primarily the mechanisms of the selection of substances entering the vesicles.

In contrast to generation, the description of the composition and functions of exosomes is quite detailed (see the ExoCarta topic later). Exosomes also carry proteins, lipids and nucleic acids (Fig. 3).

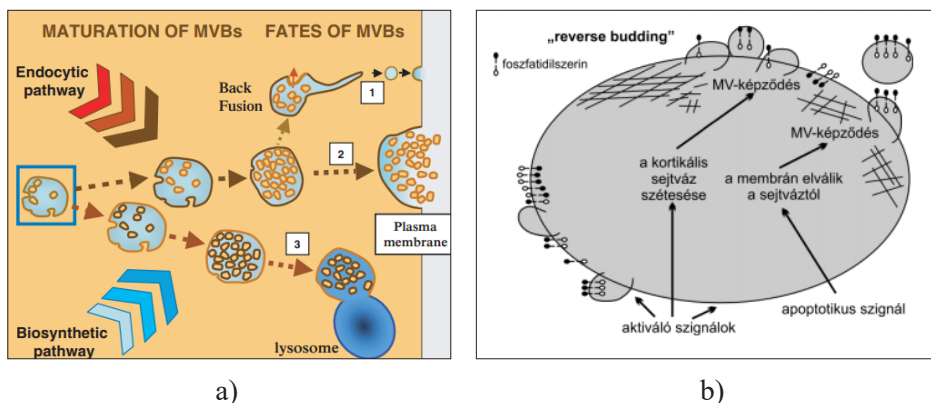


Fig. 1. The two ways of the formation of exosomes (Sources: a) van Niel et al, b) Pap and tsai [10])

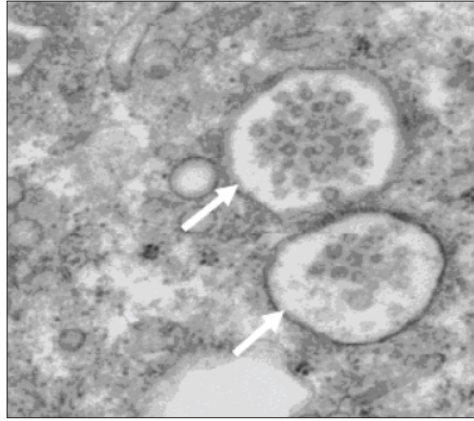


Fig. 2. TEM image of multivesicular bodies (indicated by arrows) from a kidney (Prepared by: Leileata Russo) (Source: Noerholm [25])

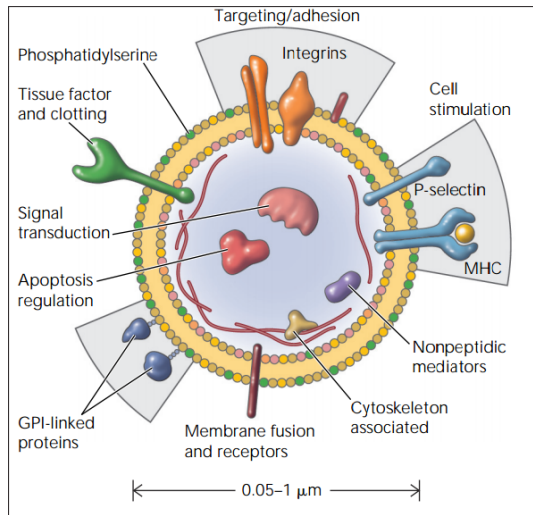


Fig. 3. Structure and functional components of microvesicles (Source: Hugel et al.)

Proteins include:

- cytoskeletal and adhesion proteins (annexin, CD9, CD11, CD18, lactadherin),
- apoptotic proteins (thioredoxin peroxidase II, galectin),
- heat shock proteins (Hsp60, Hsp90),
- antigen-presenting proteins (MHC I, MHC II),
- enzymes (peroxidases, kinases, enolases).

It is important to note that, despite their endogenous origin, we typically do not find ergastoplasmic, mitochondrial, or nuclear proteins among them. Atay

and tsai in 2011 already approx. 300 exosomal proteins have been described that play a role in regulating the microenvironment of the donor cell [11]. And Wang and Tsai report a total of more than 1,000 such proteins in their article [12].

Lipids, the most important components are phosphatidylcholine, phosphatidylserine and sphingomyelin. The important role of exosomal sphingolipids in the development of Alzheimer's disease was described this year by Yuyama and tsai [13].

Among nucleic acids, mRNA and microsomal RNA (miRNA) occur. These are collectively called exosomally delivered RNA (esRNA). miRNA is a non-coding RNA with a length of 19-24 nucleotides that 3'binds to the end of the mRNA in the target cell and inhibits the synthesis of proteins (so-called post-transcriptional silence). This inhibitory effect affects about 30 % of the protein-coding genes of human cells [14]. Tumor markers, viruses, and even *M. tuberculosis* and *T. gondii* can be detected in the exosomes produced by pathologically changed cells, depending on the nature of the change [8]. Exosomes thus play a role both in the cell-to-cell spread of infections (HIV) and in the immune response.

As a result of their complex composition, many functions of exosomes have been described, and the number of known functions is currently growing. I describe them based on the classification of Buzás [9] and He and Hannon [14]:

Alternative protein secretion pathway

Since exosomes can be considered secret packages that contain substances covered with a lipid layer, including proteins, they represent a different pathway for protein secretion than traditional pathways. This pathway is also suitable for removing dangerous molecules from the cell [9].

Intercellular communication

This area is of increased interest [1], because this intercellular communication mechanism is significantly different from the traditional ones (when the cell produces a protein that binds to the receptor of the neighboring cell and transmits the information, or the transmembrane channels – gap junction – pass through the information). The traditional substances of chemical message transmission (neurotransmitters, hormones, etc.) enter the intercellular space on their own, while microvesicles contain the substances in a “packaged” form [10]. This protects the transmitters from intercellular degradation and “extends” the spatial functions of the producing cell. Matkó classifies the intercellular information flow as follows [15]:

direct cell-cell contacts:

- immunological synapse (15–40 nm intercellular gap),
- nanotube communication (50–100 micron intercellular distance),

indirect intercellular communication:

- cytokine network (auto- or paracrine regulation via receptors),
- microvesicles, microparticles, exosomes.

In contrast to the traditional 1 receptor-1 signal molecule mechanism, microvesicles are also capable of targeting molecular combinations (proteins, nucleic acids, lipids) through their internal molecular content and materials integrated into their membrane, triggering complex stimuli and the simultaneous initiation of stimulatory or inhibitory cascades. Therefore, microvesicles have a pleiotropic effect, i.e. vesicles from a given cell can interact with several cells, i.e. common pathways for different functions [10].

Antigen presentation (and the related biodiagnostic marker role [9].

Raposo et al. started researching the topic in 1996 [16]. It was then described that the antigen-presenting cells (they examined B-lymphoblasts, but macrophages also have this ability) are rich in MHC-II type proteins, so-called they contain a late endocytotic compartment and also secrete MHC-II proteins. It was shown that the secreted MHC-II is packaged in exosomes and is excreted from the cell, and that exosomes can also play a role in antigen presentation in vivo. Their research continued in two directions. On the one hand, we managed to learn a lot about the role of exosomes in tumor immunity, and on the other hand, about their immunosuppressive effect. The two phenomena are partly related to each other, because some tumor cells secrete exosomal substances that weaken the immune system by inducing the inhibition or apoptosis of T-cells (helper and killer) or myeloid suppression. The relationship between tumors and exosomes is the broadest front of exosome research, so I will cover this topic separately after explaining the functions.

Exosomes also play a role in the pathogenesis of autoimmune diseases (e.g. rheumatoid arthritis). This effect is partly the result of complement components and activator molecules detectable on the surface of their membrane, and partly the result of citrullinated and nuclear proteins detectable in exosomes. The relationship between exosomes and autoimmune diseases was summarized by Mária Szenté-Páztói in her doctoral dissertation in 2009 [17].

Exosome research in pregnancy is also of an immunological nature [18], and the Institute of Genetics, Cell and Immunobiology of the Semmelweis University also conducts studies in this direction [10]. The essence of these researches is that, although the fetus is a foreign substance in the mother's body from the point of view of maternal immunity, it does not trigger a rejection reaction. Exosomes also play a role in communication between mother and fetus [18]. Exosomes can be found in the serum of all pregnant women from the 28th to the 30th day of pregnancy. week, but in those pregnancies that end in premature birth, their activity is less pronounced, which proves that immunological factors also play a role in premature birth.

Lässer et al also investigated breast milk exosomes and determined their role in the development of the newborn's immune system [19]. Exosomes from saliva, blood and breast milk were first detected and proved to contain mRNA. It was

proven that esRNA remains functional even after being taken up by macrophages. The uptake of breast milk exosomes is also possible under the acidic conditions of the alimentary canal [20]. Thus, esRNA of maternal origin may play a role in the development of the infant's immune system. Redman and tsai (2011) suggested that changes in not only the number but also the size of exosomes may play an important role in the development of preeclampsia of pregnancy [21], through their proinflammatory, antiangiogenic and procoagulant effects.

RNA transfer (new cell properties).

Many substances are transported in exosomes. So are nucleic acids. Nucleic acids (mRNA and miRNA) of exosomes are functional even after entering the target cell (appearance of new proteins). Because of their importance, the two exosomal RNAs were named exosomal shuttle RNA (esRNA) by Valadi et al [22]. It appears, for example, that RNA transfer may also play a role in chemotherapy resistance of tumors.

Transfer of infectious agents between cells [22].

Ever since Beatty et al. described and investigated the bacilli Calmette-Guérin hiding in apparently healthy cells, the exosomal connection of the hiding ability of infectious agents has been brought to light [23]. During immuno- and fluorescence examination of living cells, the authors found *Mycobacterium* components associated with the organelles of apparently healthy cells. According to this, *Mycobacterium* are able to hide from the immune system by merging with the lysosomal compartment of macrophages and thus presenting themselves to the immune system as their own. Complementing this with the known immunomodulatory effect of the bacterial cell wall, it becomes clear how *Mycobacterium* can spread from the focus of infection with the help of exosomes and infect the surrounding cells unnoticed. Later, other “hiding” ones were also detected (e.g. the causes of slow virus type infections, such as prions or HIV) (Fig. 4).

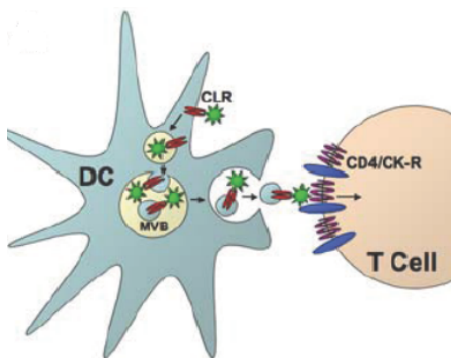


Fig. 4. Mechanism of HIV transfection via exosomes
(Source: Matkó J. 2011.12.01)

As a result of this line of research, the so-called “Trojan exosome” hypothesis [24], which provides a new explanation for the spread of retroviruses. Retroviruses from the receptor and the so-called He explains his infectivity independent of the Env protein and his ability to “hide” from the otherwise healthy immune system by the fact that retroviruses use the exosome biogenesis and pathway already present in cells for both infection and hiding. The current importance of the theory is given by its application in AIDS research [15] and Figure 4: The HIV virus is ingested by the cells of the immune system and reaches the surface of the (helper) T-cell as exosomes, and then fuses with its cell membrane to enter the T-cell and destroy the helper cell. Oncogenic receptors can also be transferred from one cell to another via similar pathways [9], which can play a role in the formation and spread of tumors.

A more detailed description of some areas follows:

Tumors and exosomes

Mikkel Noerholm [25] lists the following known (marked with !) and suspected (marked with ?) exosome functions in relation to tumors in his November 2011 presentation (Fig. 5):

- endocrine signaling between adjacent tumor cells (?),
- autocrine signaling between distant tumor cells (?),
- stimulate tumor angiogenesis and tumor stroma regenerative processes(!),

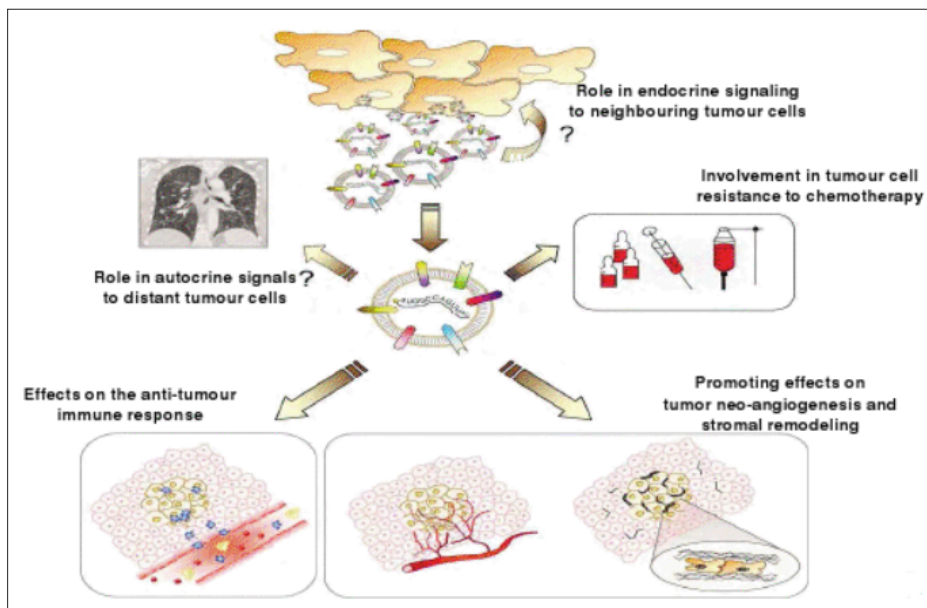


Fig. 5. Known and suspected exosomal functions related to tumors
(Source: Noerholm [25])

- they affect anti-tumor immune processes (!),
 - they play a role in the development of tumor cell chemoresistance (!).
- Yang and Robbins (5) summarize the role of tumor cell-derived exosomes:
- Antitumor effects
- Immunogenic effect – as a result of carried tumor antigens.
 - Induction of tumor cell apoptosis – Bcl-2 and Bax genes trigger the metabolic cascades that lead to tumor cell death.
 - Neoplasmodic role (Fig. 6).

Tumor cells produce exosomes, the composition of which is characteristic of the cell that secretes them, and they play the following role in the progression of the neoplasm [26]:

Immunosuppressive effect – inhibition of T cells, by influencing myeloid cell differentiation and through their antigens;

Enhancement of tumor invasion and metastasis formation – with angiogenic factors (tetraspanin);

Stroma-enhancing effect (on fibroblasts) – with metalloproteinases antiapoptotic and oncogenic effect – with RNA and protein transport.

Development of chemoresistance.

Valadi and tsai [22] showed that RNA in exosomes remains functional even after delivery. This may play a role in chemotherapy resistance of tumors.

Although the exact “result” of the processes has not yet been described, it seems that the tumor stage and the patient’s immune status determine whether the neoplasmodic or the opposite processes dominate.

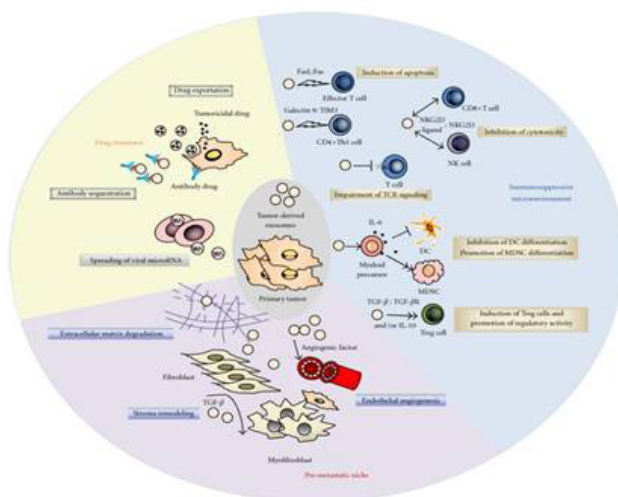


Fig. 6. Neoplasmodic effects of tumor cell exosomes
(Source: Yang and Robbins [5])

Regarding immunomodulation, Karlsson et al developed the so-called tolerosome theory [27]. Tolerosomes are approx. Exosome-like vesicles with a diameter of 40 nm, which carry MHC-II protein complexes. Intestinal epithelial cells produce and secrete them into the intestinal lumen. After oral antigen administration, they can also be detected in the plasma soon after. Based on their structure, they are highly effective antigen presenters, so they play an important role in tolerance to orally introduced antigens, i.e. in inhibiting intense immune reactions against such antigens. Researchers assume that exosomes play a similar role in the immunosuppressive effect of tumors.

Another mechanism of the anti-immune effect is the so-called Fas tumor-counterattack theory from Andreola et al. [28]. The Fas (also known as FasL) ligand is a type II transmembrane protein belonging to the tumor necrosis factor (TNF) family. Its trimerized form acts most actively. By binding to its T-cell receptor, it weakens the immune system through the apoptosis of the target cell and helps the tumor to hide from the immune system and to progress. It reaches the extracellular space in the form of an exosome. In particular, many active acquired Fas ligands are expressed by certain types of tumors (e.g. melanoma, breast cancer, colon cancer, esophageal cancer), as reported by O'Connell et al. in their article [29]. It has also been shown that the degree of Fas expression observed in ovarian, breast, liver and breast cancer as well as melanoma is inversely proportional to a good prognosis (Fig. 7).

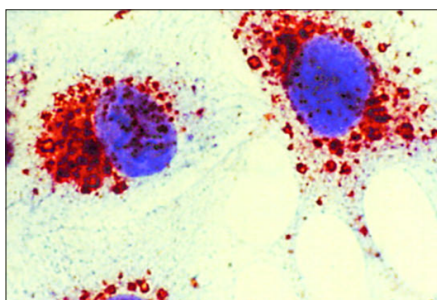


Fig. 7. FasL expression in human melanoma cells detected by immunocytochemistry
(Source: Andreola et al [28])

In connection with the research results related to exosomes, new directions for tumor therapy are being outlined. One direction is the idea of an anti-cancer vaccine, which has already been raised by several research groups. Results, considerations and issues related to this are described in Clayton and Mason's 2009 article [30]. Raposo and tsai [16] and then Zitvogel and tsai [31] showed that exosomal markers from antigen-presenting cells, e.g. heat shock protein number 70 (Hsp70) increases the migration and cytolytic activity of natural killer T cells.

The 2012 article by Hartmann et al also deals with the issue of tumor vaccination [32]. One of the reasons for the low effectiveness of the traditional vaccination method is that many non-cell surface antigens (exosomes) also play an important role in the case of tumors, AIDS and other diseases. The adenovirus vector transduction procedure proposed by the authors facilitates the presentation of exosomal antigens. The experiment was carried out with tumor cells, but the results seem to be applicable to viral and parasitic diseases, so research continues in all directions: *T. gondii*, *M. bovis*, *S. pneumoniae* [33], SARS and adenoviruses [34] are also research areas, such as autoimmune arthritis and so-called late hypersensitivity [35]. We can also be diagnostic and therapeutic helpers in many other diseases (heart attack, arteriosclerosis). Their use in relation to infarction is described in the article by Lai Ruenn Chai et al [36].

Another direction of research is aimed at the more specific use of existing drugs with fewer side effects through the artificial production and modification of microparticles (nanomedicine) [37], which, through its specificity, enhances the effect of cytostatics (cytostatics “packaged” in exosomes can be delivered to tumor cells in a targeted manner) and enables makes chemotherapy-resistant cancer cells end their resistance. In this way, the dose of cytostatics (e.g. cisplatin, doxorubicin, paclitaxel) can be reduced, thus reducing their systemic toxicity. With the possibility of specific treatment, the basis of personalized medicine (theranostics) was born. The essence of the trend is that it does not use epidemiological data and statistics based on the examination of a large number of patients, but rather examines the individual effect of the applicable drugs in the given patient and selects the ideal therapy based on this. The use of personalized medicine has already started in our country: on July 22, 2010, the Hungarian Society of Personalized Medicine (www.mszzmt.hu) was established.

After tumors, let's move on to the topic of circulatory diseases [36]. Cardiovascular diseases are important targets for experimental stem cell treatment. Although, in principle, the transplanted stem cells differentiate and replace the damaged tissues. But they seem to reduce tissue damage and stimulate regeneration through the secretions they produce. The authors investigate the role of exosomes in the treatment of cardiovascular diseases (mainly myocardial infarction). Mesenchymal stem cells secrete in two ways (paracrine secretion – Fig. 8):

- traditional way: delivering soluble proteins to the extracellular space, which exert their effect by binding to the receptors of the target cell;

- with exosomes: their “packaged” proteins and nucleic acids are much more stable and protected; and they exert their effect not only on cell surface receptors, but also by reaching the target cell. Due to their complex “inner content”, they are also capable of complex effects. Parolini et al showed that the exosome assembly activity and efficiency of cells depends on several

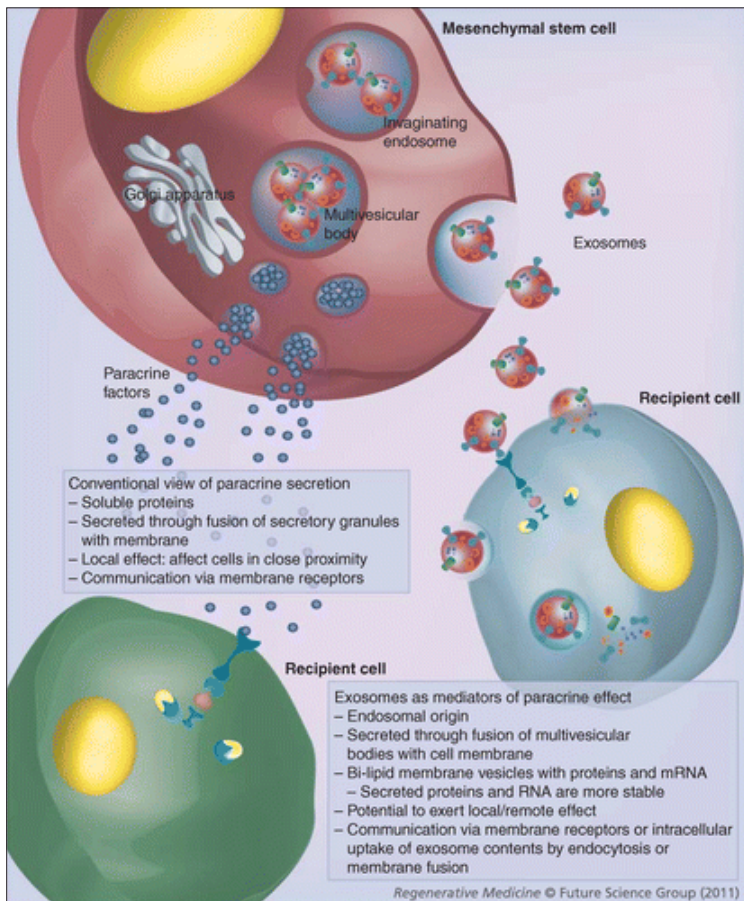


Fig. 8. Paracrine mechanisms of mesenchymal stem cells

([http://www.futuremedicine.com/action/](http://www.futuremedicine.com/action/showPopup?citid=citart1&id=f1&doi=10.2217%2Frme.11.35)

showPopup?citid=citart1&id=f1&doi=10.2217%2Frme.11.35 - status as of 02/09/2012)

microenvironmental conditions, including tissue pH value (20). The therapeutic efficiency of stem cell secretions therefore correlates well with the fact already described by Schrader in 1985 that ischemic heart cells are characterized by acidic conditions (38). Exosomes are ideal candidates for therapeutic use. They are mainly photogenic because, paradoxically, the artificial enhancement of blood and oxygen supply to ischemic myocardial tissue leads to the exacerbation of ischemia-induced cell insults. Among exosomal proteins, the role of enzymes is particularly important in this case, as they break down ischemic metabolic products, thus correcting the cell-damaging cascade processes. The enthusiasm caused by the positive results of the animal experiments was unfortunately dampened by the fact that the stem cells often do not integrate into the heart

muscle tissue or are not able to survive there. These problems can be solved by subcellular exosomes, which are capable of exerting a complex local effect without reactions occurring against the cells.

In addition to infarction, the role of exosomes in atherosclerosis, diabetes or hypertension has been suggested. The white blood cell-endothelial adhesion effect of microparticles is a key initial step in the development of atherosclerosis [39]. An important new result is the 2011 discovery by Vickers et al. of the relationship between the presence of HDL-miRNA complexes and familial hypercholesterolemia [40].

The relationship between neurodegenerative diseases and exosomes can be summarized as follows: I mentioned earlier that the role of exosomal sphingolipids in the development of Alzheimer's disease was described this year by Yuyama and Tsai [13]. Exosomes related to Alzheimer's disease were also investigated by Street and his research group [41]. They investigated whether the cerebrospinal fluid also contains exosomes and, if so, the variability of exosomal proteins related to individuals. With their method based on ultracentrifugation, they managed to detect two characteristic exosome markers (Flotillin-1 and TSG101), which was also confirmed by transmission electron microscopy. Since the tests were carried out on a more concentrated sample than the physiological one, the goal was to develop a method for analyzing samples with a physiological concentration. Another goal is the development of detection methods, because with the current ones it is not possible to extract exosomes from biological fluids without contamination with non-exosomal proteins. One of the hallmarks of Alzheimer's disease is the extracellular accumulation of tau protein. Its role is similarly neurodegradative as that of alpha-synuclein in Parkinson's disease or prions in Creutzfeldt-Jacobs disease. The presence and accumulation of all three groups of substances indicates the presence and role of exosomes in the development of neurodegenerative pathologies.

The relationship between kidney diseases and exosomes deserves attention because the damage to the kidneys is often irreparable and the patient eventually needs dialysis or a kidney transplant. Balkom et al. [42] investigated the exosomal relationship between kidney physiology and diseases. They managed to show that the absence or mutation of the Tamm-Horsfall protein (uromodulin), which is also found in exosomes, can be the cause of kidney diseases. Unfortunately, the diagnostic rapid test is still waiting to be developed, but encouraging initial steps are reported in the differential diagnosis of kidney diseases (polycystic kidney, Nieman-Pick disease, cystinosis, Gitelman and Bartter syndrome). Urinary-derived exosomes can also be used to detect liver damage, as these are also associated with secondary renal manifestations. They also play a role in diagnosing hypertension and monitoring drug therapy, as well as comparing the effectiveness of drugs for a given patient (personalized medicine).

Finally, a few words about another topic: common upper respiratory tract infections. Lässer and his research team, already mentioned in relation to pregnancy [19], examined exosomes from nasal secretions in another experiment [43]. They were the first to reveal the RNA content of the exosomes of this secretion and its significance in the communication taking place in the nose, as well as the role of esRNA biomarker in upper respiratory diseases.

Based on the research so far, development continues at an ever-faster pace, so in 2011 many new results were achieved. Let's start with exosomal RNA research! Kosaka and Ochiya summarized the knowledge gathered on microRNA secretion [43]. MicroRNA is a biological fine-tuner, its deregulation leads to diseases, including cancer. It can be found in the circulation of both healthy and sick people, namely – since the circulation also contains RNase enzyme – in microvesicles, apoptotic bodies or linked to nucleic acid-binding proteins, this was demonstrated by Kwak et al. in 2011 (44). Because of the intervention in gene regulation, it became the focus of research on the development and diagnosis of cancer. In 1978, Stroun et al. described the in vitro modifying effect of extracellular RNA on DNA synthesis, and the possibility of this in vivo also arose [45]. The relationship between serum RNA, tumor mass and therapeutic sensitivity was described by Wieczorek et al. in 1987 [46], and Garzon et al. in 2010 that deregulation of miRNA leads to the development of cancer and changes in normal tissues, thus the miRNA diagnostic came into being, prognostic and therapeutic use in oncology [47]. The authors proved the communication significance of secreted miRNA in the transfer of information between cancer cells and with their microenvironment (Fig. 9).

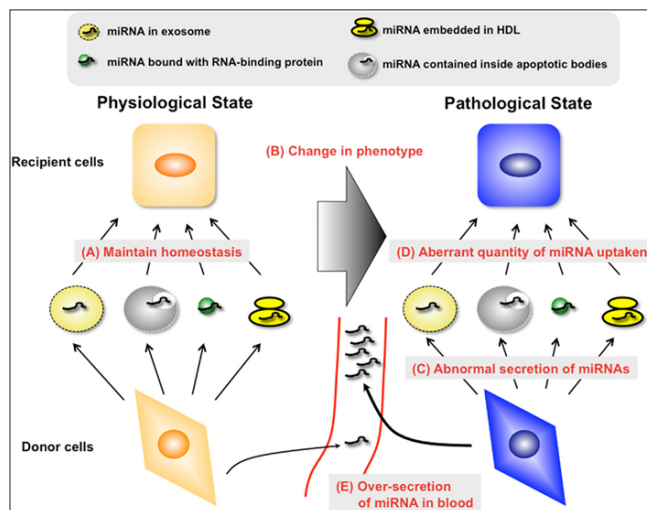


Fig. 9. The effect of miRNA secretion of healthy and pathological cells on the recipient cell (Source: Kosaka and Ochiya [43])

A new discovery (Lim and tsai, 2011) is that the intercellular transport of miRNA can also take place via gap junctions [48]. The mechanism that selects the miRNA entering the exosomes and binds it to proteins still needs to be described and clarified, but there are many indications that the Ago2 protein plays an important role in the process [49].

Hood et al (2011) describe that miRNA plays a role in melanoma's ability to break through the immune barrier of lymph nodes and metastasize to distant organs through genetic modification of the target organ [50].

It has been known for nearly a decade that RNA transport takes place in plants and nematodes as well, through transmembrane channels formed by SID-1 proteins; and also, that the membrane of human cells also contains proteins similar to SID-1. From the report of Molnar et al. [51], we can conclude that the intercellular transport of RNA is characteristic of all multicellular organisms.

It was a real surprise, however, when Zhang and Tsai reported in 2011 that exogenous plant-derived miRNA was detected in animal tissues and serum [52]. MIR168a from rice, which has a very strong regulatory effect, probably entered the animal body through nutrition, since esRNA can withstand the acidic pH of the alimentary canal, as Lasser et al. showed at about the same time [19]. In addition, MIR168a has already been found in the serum of the healthy Chinese population. In the examined sera, Zhang and tsai detected nearly 30 similar miRNAs. They also managed to prove that the materials of the exosomes are taken up by the cells of the small intestine and passed on to the cells of the body. Exogenous MIR168a inhibits hepatocyte LDL uptake, thereby increasing serum LDL levels. The authors came to the conclusion that the exosomal RNAs taken up with plant food – with their regulatory effects – are just as essential nutrients as e.g. the vitamins. The article is the first report that there can be a direct interaction between plant and human cells at the molecular level.

Gan and Gould research the process of development of retroviruses, with particular reference to the HIV virus [53]. The relationship between viral development and exosomes is being investigated. They found that neither the HIV protease nor the lack of p6 glycosaminoglycan sequences characteristic of the virus inhibits viral development, as previously assumed. However, surprisingly, the virus's own Gag-Pol protein has a developmental inhibitory effect. The inhibitory signal for the development of HIV is therefore found in the virus itself. Nabhan and tsai report [54] that some developing viruses take advantage of the cell's TSG101 protein and the endosomal sorting mechanism (ESCRT) so that virus particles are transferred to exosomes instead of physiological particles, thus spreading from cell to cell.

One of the latest immunological publications discusses the role of exosomes in the development of atypical allergic rhinitis [55]. The pathological role of CD8+ type T cells, which are activated by exosomes produced in mucosal

cells and containing microbial substances indicative of previous infection, has been confirmed.

In their article published this year, Choi and Tsai report on the protein networks created by exosomes [56] and Figure 10. Exosomes have been shown to possess a number of cluster-forming proteins that are similar to proteins in other subcellular networks.

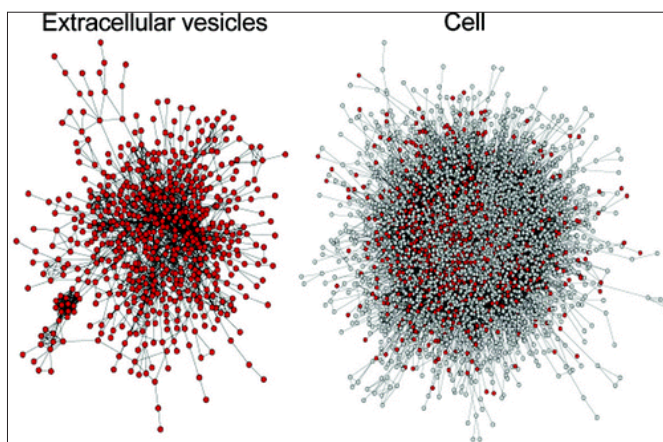


Fig. 10. Network of exosomal proteins (left) and the cell covered by them (right)
(Source: choi et al. [56])

It was experimentally proven that the protein interactions in the cell have an influence on the biogenesis of exosomes and the sorting of their proteins.

Of course, new discoveries are also due to new techniques. Let's look at some of them!

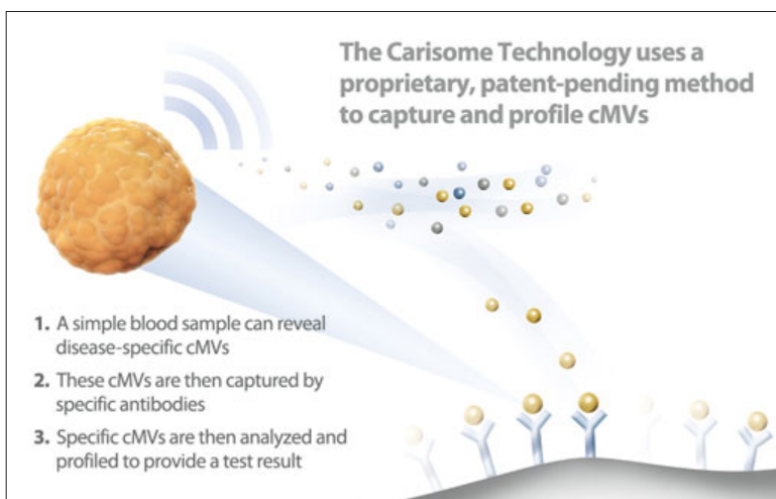
On April 7, 2011, Global Newswire reported on the new technology developed by Caris Life Sciences [57]. The procedure is a so-called a blood-based test that is based on the role of circulating microvesicles and is just as effective in the diagnosis of colon, breast, lung and prostate cancer as other, much more complicated procedures. The essence of the test is the “capture” of circulating microvesicles with the help of specific antibodies, followed by the analysis, examination, and classification of the captured vesicles (Fig. 11, 12) [58]. The exact details of the technology are not known as they are under patent protection.

The test fits perfectly into the toolset of Theranostics, a new trend that uses nanodiagnostic and nanotherapeutic procedures primarily used in tumor treatment [37].

The procedure allows for diagnostic, therapeutic and theranostic conclusions based on the different miRNA profiles of microvesicle populations



*Fig. 11. Logo of Carisome technology
(Source: Caris Life Science [58])*



*Fig. 12. The essence of the Carisome process
(Source: Caris Life Science [58])*

detectable in the blood circulation. In this case, the researchers used the biomarker function of exosomes.

The procedure is suitable for detecting certain cancers and some other complex diseases. Its complexity is enhanced by the fact that it uses all three size ranges of circulating microvesicles (exosomes – ectosomes – apoptotic bodies).

Almost two years before the appearance of the Carisome method, NanoSight [59] reported on an instrument (Fig. 13) and a procedure that allows for multifaceted analysis of nanoparticles (size, concentration, aggregation) with one instrument.

The fast and direct procedure (Nanoparticle Tracking Analysis – NTA) detects, measures and counts nanoparticles in a soluble state (Fig 14).

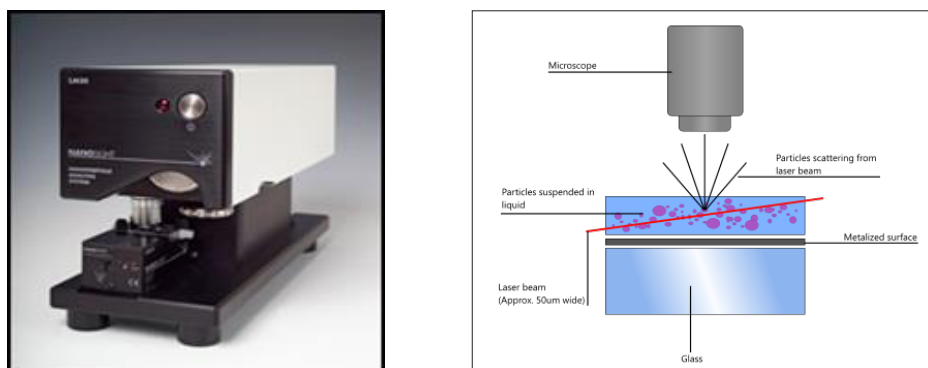


Fig. 13. Nanosight's instrument, the LM20, and its operation diagram
(Source: <http://www.nanosight.com/technology/nanosights-technology> –
2 02/09/2012 status)

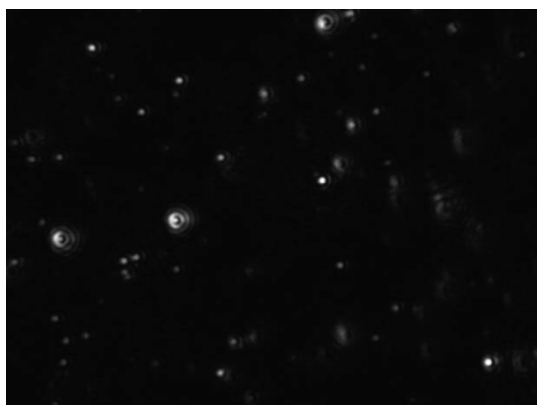


Fig. 14. Video frame to illustrate NTA
(Source: <http://www.nanosight.com/technology/nanosights-technology> –
2 02/09/2012 status)

The smallest detectable size is 10–20 nm, which can be detected even at a concentration of 10^7 – 10^9 particles/ml. The procedure is based on fluorescence, which enables visual validation in a unique way: the movement of the particles, reminiscent of Brownian motion, can be recorded on video and archived for later use.

The advantage of the procedure is that it is cheap, fast, easy to use and high-performance, the disadvantage is that it always requires a diluted sample and, since it is a new procedure, the limits of its reliability range require further testing. However, it is still used today for the additional validation of already introduced measurement procedures, and the NTA can also be calibrated with their help.

A similar procedure, also based on Brownian motion, is Dynamic light scattering (DLS) from Malvern [60]. With this, even particles smaller than 1 nm can be detected. The procedure has already been calibrated and cooperates with the ISO 13321 and 21 CFR Part 11 standards. The conventional 90° instrument has been replaced by two types of Non Invasive Back Scatter: Zetasizer Nano S and Nano ZS, which already operate at an angle of 173°.

Mikkel Noerholm, director responsible for European operations of Exosome Diagnostics, also reported on his company's latest research results in the aforementioned November 2011 presentation [25]. Their technology examines the RNA content of exosomes extracted from body fluids (they call it exoRNA, but it is the same as the nucleic acid called esRNA by Valadi et al.) [22]. The Exosome Biofluid Molecular Diagnostic Procedure developed for this purpose is used to detect prostate cancer, glioblastoma multiforme and malignant melanoma. The procedure was trademarked in 2008 by Harvard/Massachusetts General Hospital.

Cataloging of the components of exosomes is currently underway, based on published and unpublished results [61]. This catalog is ExoCarta (www.exocarta.org). During the printing time of Mathivanan et al.'s article (61), so much changed that 19.12.2011. Since version 3.2 is currently available and can be downloaded, browsed and searched with more than fourteen thousand data. The data are contained in five text files (Table 2):

Table 2. ExoCarta's downloadable databases
(Source: <http://exocarta.org/download> - as of February 10, 2012)

ExoCarta Download - 3.2 (Release date: 19 December 2011)	
Protein/mRNA data	ExoCarta protein mRNA details 3.2.txt
miRNA data	ExoCarta miRNA details 3.2.txt
Lipid data	ExoCarta lipid details 3.2.txt
Exosome study details	ExoCarta experiment details 3.2.txt
Gene details	ExoCarta gene details 3.2.txt

In addition to being a freely usable database, it also creates an opportunity for a forum, through which researchers can jointly search for solutions to their questions and share their results. The biological interaction database BioGRID (can be used as a supplement to ExoCarta.

The challenges of the future

Research on exosomes is multidirectional. Biogenesis is being researched, the components are being explored in more and more detail, and the role of microvesicles is emerging in connection with more and more new diseases. In

biogenesis, the mechanisms for the selection of substances entering the vesicles still need to be clarified.

Based on the above results, one of the future possibilities of using exosomes is vaccine production. With their application, it will be possible to produce a vaccine that is cell-free, induces the immune system, and thus prevents tumor cells from hiding from the defense system.

The future of secretory RNA research has three directions: on the one hand, the complete typing of miRNA has begun, and on the other hand, the detailed exploration of the secretion mechanism; and the third direction is the description of the functions of secretory RNA and the examination of its precise relationship with physiological and pathological conditions – goal: prevention, diagnosis and treatment of diseases related to secretory RNA.

Micro- and nanovesicles that can be detected in the circulation play an increasingly important role as disease markers, so more and more procedures are being developed for their detection and measurement. These (electron microscopy, flow cytometry, specific ligands or antibodies) were described in his presentation by dr. Paul Harrison [62]. The procedures are currently being refined and standardized, because they provide important diagnostic and prognostic tools.

Summary. Exosomes were first described more than 30 years ago. The biological role of these particles, produced in cells and then secreted, bounded by a lipid membrane, seems to extend to almost all areas of the living world. They have been described in plants, animals and humans. It has been shown that different species and even biological countries (in taxonomy: regnum), e.g. it is also possible to transfer exosomes between plants and animals. This also increases the significant genetic variability created by mutations and recombinations through the transfer of nucleic acids. The process is practically an alternative path of evolution. It can also be seen as the “fast lane” that has existed since the time of single-celled earth history, in addition to the traditionally slow “evolution highway”. Just like on the evolutionary high street, positive (resistance) and negative (apoptosis) changes can occur here as well. Changes at the cellular level in higher organisms can result in disease or even healing.

Therefore, the importance of exosomes is increasing in several areas, e.g. in cancer research, viral (e.g. HIV, HSV) or prion infections (Jacobs-Kreutzfeld) or Alzheimer’s disease. These determine the main research directions, but of course further investigations are also underway. The main practical research areas are:

- isolation and characterization methods (detection, measurement, analysis),
- normal physiological role of exosomes, communication between cells,
- infection processes (HIV, prions, Trypanosoma),

- exosomal RNA (and tumors),
- use of exosomes as a therapeutic carrier (e.g. autoimmune vaccination).

In the three decades that have passed since their discovery, exosomes have become an independent scientific subfield, whose practitioners are already specializing and researching one area of expertise (detection, diagnostic use, therapy). For years, multi-section conferences have been held to summarize exosome research, and more and more research results reach the phase of practical application.

БІОЛОГІЧНЕ ЗНАЧЕННЯ ЕКЗОСОМ І МІКРОЧАСТИНОК

*Ботонд Геза Калман, Університет прикладних наук Яноша Кодолані (Угорщина),
Вікторія Франц, Ужгородський національний університет (Україна)*

Разом з розвитком технологій прискорюється розвиток клітинної та молекулярної біології. Мікроевезикули є одним із фокусів поточних досліджень у цій галузі.

Позаклітинні везикули (екзосоми, мікроевезикули) є нещодавно відкритими учасниками міжклітинної комунікації, роль яких доведена у багатьох фізіологічних і патологічних станах. Ці оточені мембраною частинки розміром 100–1000 нм, що походять із широкого спектру клітин, відіграють важливу роль у спілкуванні між клітинами, у зменшенні певних пухлин, у формуванні метастазів, у формуванні кровоносних судин, а також відіграють основну роль в регенерації тканин.

Екзосоми були відкриті майже п'ятдесят років тому. Сьогодні, завдяки різнобічному використанню, вони стали важливими елементами повсякденної науки. Їх основна функція полягає в тому, щоб сприяти генетичній мінливості. Це відбувається насамперед через те, що вони здатні передавати генетичний матеріал між різними видами і навіть між рослинами та тваринами. Експерименти з практичного використання екзосом в терапії пухлин, лікуванні аутоімунних захворювань або лікуванні інфекційних захворювань все ще тривають.

У рідинах організму циркулює велика кількість мікроевезикул, які відіграють важливу роль у міжклітинній комунікації та в процесах детоксикації та регенерації клітин. Вчені активно досліджують роль, яку можуть відігравати екзосоми в передачі сигналів між клітинами; передбачається, що екзосоми, будучи здатними з'єднуватися з віддаленими клітинами і вливати в них свій вміст, тим самим здатні впливати на процеси, що відбуваються в далеких клітинах. З'ясування точної ролі екзосом може відкрити багато нових можливостей у майбутньому, від їх використання як біомаркерів до використання як терапевтичних мішеней.

Дана стаття підсумовує найосновніші дослідження мікроевезикул та їх значення в клітинній і молекулярній біології.

Ключові слова: екзосоми, мікроевезикули, аутоімунні захворювання, біомаркери, клітинна та молекулярна біологія.

REFERENCES

1. Clotilde Théry, Matias Ostrowski & Elodie Segura. (2009). Membrane vesicles as conveyors of immune responses. *Nat. Rev. Immunol.*, 9, 581-593. doi:10.1038/nri2567.
2. Eberhard G. Trams a, Carl J. Lauter a, Jr. Norman Salem a, Ursula Heine b (2981). Exfoliation of membrane ecto-enzymes in the form of micro-vesicles *Biochim. Biophys. Acta*, Vol. 645, Issue 1, 63-70.
3. Mishra N.C., Tatum E.L. (1973). Non-Mendelian inheritance of DNA-induced inositol independence in *Neurospora*. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 70(12), 3875-9.
4. Johnstone, R.M., Adam, M., Hammond, J.R., Orr, L. and Turbide, C. (1987). Vesicle formation during reticulocyte maturation. Association of plasma membrane activities with released vesicles (exosomes). *J. Biol. Chem*, 262, 9412–9420.
5. Yang C, Robbins P.D. (2011). The roles of tumor-derived exosomes in cancer pathogenesis. *Clin Dev Immunol*, 842849.
6. Peters, C., and Mayer, A. (1998). Ca^{2+} /calmodulin signals the completion of docking and triggers a late step of vacuole fusion. *Nature*, 396, 575–580.
7. György Nagy, Bence György, Zsuzsanna Baka, Károly Módos, Éva Pállinger, Krisztina Pálóczi, Mária Pásztói, Petra Misják, Mária Deli, Áron Sipos, Anikó Szalai, István Voszka, Anna Polgár, Kálmán Tóth, Mária Csete, Steffen Gay, András Falus, Ágnes Kittel, Buzás Edit: Microparticles and the vasculature (DROP3 lecture, 28.10.2012. URL: www.rheumatology.hu/.../E11-Nagy-Gyorgy-Microparticulumok.ppt
8. Jeffrey S. Schorey, Sanchita Bhatnagar: Exosome Function: From Tumor Immunology to Pathogen Biology. *Traffic*, 9, 871-881. doi: 10.1111/j.1600-0854.2008.00734.x
9. Buzás Edit (2011). The extracellular vesicular compartment. Huzella Tivadar memorial lecture. URL: https://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:iO8bg6boy1kJ:semmelweis-egyetem.hu/hirek/files/2011/11/Buz%25C3%25A1s-Edit-Huzella-el%25C5%2591ad%25C3%25A1s.pdf+nanoparticle+tracking+analysis&hl=hu&gl=hu&pid=bl&srcid=ADGEEShgLT1ITJrBIZ1YjqANhTtAJ7qs92UdnYFifLew4wiKYIjUjWuc6uJtwgreKwHx_N8mt_5CsVWYaeGWI9VaRAj69G9PZj0jcf9sWyVgy7oqEFyyF0w2Cqkt_sR94C_xvzRFui pRA&sig=AHIEtbSfFAzpaM5kavMxvp4qSipkwdpbsQ
10. Erna Pap, Éva Pállinger, András Falus (2009). How do cells talk? Or micro-vesicles as newly recognized actors of communication between cells. *Magy Tud.*, 12, 1488–1495.
11. Atay, S., Gercel-Taylor, C., Kesimer, M., and Taylor, D. D. (2011). Morphologic and proteomic characterization of exosomes released by cultured extravillous trophoblast cells. *Exp. Cell. Res.*, 317, 1192–1202.

12. Wang, Z., Hill, S., Luther, J.M., Hachey, D.L. and Schey, K.L. (2012). Proteomic analysis of urine exosomes by multidimensional protein identification technology (MudPIT). *Proteomics*, 12, 329–338. doi: 10.1002/pmic.201100477).
13. Yuyama K, Sun H, Mitsutake S, et al. (2012). Sphingolipid-modulated exosome secretion promotes the clearance of amyloid- β by microglia. *J. Biol. Chem.*, Feb 2.
14. He L, Hannon G.J. (2004). MicroRNAs: small RNAs with a big role in gene regulation. *Nat. Rev. Genet.*, 5, 522–531.
15. Matkó J. (2011). Communication between the cells of the natural and adaptive immune systems Lecture at ELTE. 2011.12.01.
16. Raposo G., Nijman H.W., Stoorvogel W., Liejendekker R., Harding C.V., Melief C.J., Geuze H.J. (1996). B lymphocytes secrete antigen-presenting vesicles. *J. Exp. Med.*, 183, 1161–1172.
17. Mária Szenté-Pásztói (2009). Investigation of the role of regulatory and effector factors in the pathomechanism of autoimmune diseases, Doctoral thesis – Semmelweis University Molecular Medical Sciences Doctoral School, Budapest. URL: phd.sote.hu/mwp/phd_live/vedes/export/szentepaztoimaria_m.pdf
18. Douglas D. Taylor, Sibel Akyol, and Cicek Gercel-Taylor (2006). Pregnancy-Associated Exosomes and Their Modulation of T Cell Signaling. *J. Immunol.*, 176, 1534–1542.
19. Cecilia Lässer, Vesta Seyed Alikhani, Karin Ekström, Maria Eldh, Patricia Torregrosa Paredes, Apostolos Bossios, Margareta Sjöstrand, Susanne Gabrielsson, Jan Lötvald and Hadi Valadi (2011). Human saliva, plasma and breast milk exosomes contain RNA: uptake by macrophages. *J. Transl. Med.*, 9, 9. doi: 10.1186/1479-5876-9-9
20. Parolini I, Federici C, Raggi C et al. (2009). Microenvironmental pH is a key factor for exosome traffic in tumor cells. *J. Biol. Chem*, 284, 34211–34222.
21. Redman C.W., Tannetta D.S., Dragovic R.A., et al. (2012). Does size matter? Placental debris and the pathophysiology of pre-eclampsia. *Placenta*, Feb., 48–54.
22. Valadi H., Ekstrom K., Bossios A., Sjostrand M., Lee J.J., Lotvall J.O. (2007). Exosome-mediated transfer of mRNAs and microRNAs is a novel mechanism of genetic exchange between cells. *Nat. Cell. Biol.*, 9, 654–659.
23. Beatty, W.L., Rhoades, E.R., Ullrich, H.-J., Chatterjee, D., Heuser, J.E. and Russell, D.G. (2000). Trafficking and Release of Mycobacterial Lipids from Infected Macrophages. *Traffic*, 1, 235–247. doi: 10.1034/j.1600-0854.2000.010306.x
24. Stephen J. Gould*, Amy M. Booth*, and James EK Hildreth: The Trojan exosome hypothesis (2003). *Proc. Natl. Acad. Sci.*, Vol. 100, no. 19, 10592–10597.

25. In November 2011, Mikkel Noerholm, director of European operations at Exosome Diagnostics, reported on his company's latest research results in his presentation entitled Microvesicles for Non-Invasive Molecular Diagnostics held at the biomarker conference in Munich. URL: http://www.google.hu/url?sa=t&rct=j&q=biofluid%20molecular%20diagnostics&source=web&cd=6&sqi=2&ved=0CGcQFjAF&url=http%3A%2F%2Fwww.m4.de%2Fuploads%2Fmedia%2F51-4-Noerholm_Exosome_Diagnostics.pdf&ei=BtEzT63yDMGk-gaRpYWkAg&usg=AFQjCNE1isshsPNJj_1_a33nvqNUHCSuZQ
26. Iero M., Valenti R., Huber V., Filipazzi P., Parmiani G., Fais S., Rivoltini L. (2008). Tumour-released exosomes and their implications in cancer immunity. *Cell Death Differ.* 15(1), 80-8. Epub 2007 Oct 12.)
27. Malin Karlsson, Samuel Lundin, Ulf Dahlgren, Helena Kahu, Inger Pettersson, Esbjörn Telemo (2001). "Tolerosomes" are produced by intestinal epithelial cells, *Eur. J. Immunol.* 31(10), 2892-2900.
28. Andreola G., Rivoltini L., Castelli C., Huber V., Perego P., Deho P., Squarcina P., Accornero P., Lozupone F., Lugini L., Stringaro A., Molinari A., Arancia G., Gentile M., Parmiani G. et al. (2002). Induction of lymphocyte apoptosis by tumor cell secretion of FasL-bearing microvesicles. *J. Exp. Med.*, 195, 1303–1316.
29. O'Connell J., Bennett M.W., O'Sullivan G.C., Collins J.K., Shanahan F. (1999). The Fas counterattack: cancer as a site of immune privilege. *Immunol. Today*, 20(1), 46–52.
30. Clayton A., Mason, M.D. (2009). Exosomes in tumor immunity. *Curr. Oncol.*, 16(3), 46-9.
31. Zitvogel L., Regnault A., Lozier A., Wolfers J., Flament C., Tenza D., Ricciardi-Castagnoli P., Raposo G., Amigorena S. (1998). Eradication of established murine tumors using a novel cell-free vaccine: dendritic cell-derived exosomes. *Nat. Med.*, 4(5), 594–600.
32. Hartman Z.C., Wei J., Glass O.K., et al. (2011). Increasing vaccine potency through exosome antigen targeting. *Vaccine*, 29(50), 9361-7.
34. Kuate S., Cinatl J., Doerr H.W., Uberla K. (2007). Exosomal vaccines containing the S protein of the SARS coronavirus induce high levels of neutralizing antibodies. *Virology*, 362, 26–37.
35. Kim S.H., Bianco N.R., Shufesky W.J., Morelli A.E., Robbins P.D. (2007). MHC class II+ exosomes in plasma suppress inflammation in an antigen-specific and Fas ligand/Fas-dependent manner. *J. Immunol.* 179, 2235–2241.
36. Ruenn Chai Lai, Tian Sheng Chen and Sai Kiang Lim (2011). Mesenchymal stem cell exosome: a novel stem cell-based therapy for cardiovascular disease. *Regen. Med.*, 6(4), 481-92.

37. Sumer B., Gao J. (2008). Theranostic nanomedicine for cancer. *Nanomedicine (Lond)*, 3(2), 137–40.
38. Schrader J. (1985). Mechanisms of ischemic injury in the heart. *Basic Res. Cardiol.*, 80(Suppl. 2), 135–139.
39. Luciano C.P. Azevedo, Marcelo A. Pedro, Francisco R.M. Laurindo. (2007). Circulating microparticles as therapeutic targets in cardiovascular diseases. *Recent. Pat. Cardiovasc. Drug. Discov.*, 2(1), 41–51.
40. Vickers, K.C., Palmisano, B.T., Shoucri, B.M., Shamburek, R.D., Remaley, A.T. (2011). MicroRNAs are transported in plasma and delivered to recipient cells by high-density lipoproteins. *Nat. Cell Biol.*, 13, 423–433.
41. Street J.M., Barran P.E., Mackay C.L., et al. (2012). Identification and proteomic profiling of exosomes in human cerebrospinal fluid. *J. Transl. Med.*, 10(1), 5.
42. Bas W.M. van Balkom, Trairak Pisitkun, Marianne C. Verhaar and Mark A. Knepper (2011). Exosomes and the kidney: prospects for diagnosis and therapy of renal diseases. *Kidney Int.*, 80, 1138–1145. doi: 10.1038/ki.2011.292.
43. Kosaka N., Ochiya T. (2011). Unraveling the Mystery of Cancer by Secretory microRNA: Horizontal microRNA Transfer between Living Cells. *Front. Genet.*, 97.
44. Kwak, P.B., Iwasaki, S., and Tomari, Y. (2011). The microRNA pathway and cancer. *Cancer Sci.*, 101, 2309–2315.
45. Stroun, M., Anker, P., Beljanski, M., Henri, J., Lederrey, C., Ojha, M., and Maurice, P.A. (1978). Presence of RNA in the nucleoprotein complex spontaneously released by human lymphocytes and frog auricles in culture. *Cancer Res.*, 38, 3546–3554.
46. Wieczorek, A.J., Sitaramam, V., Machleidt, W., Rhyner, K., Perruchoud, A.P., Block, L.H. (1987). Diagnostic and prognostic value of RNA-proteolipid in sera of patients with malignant disorders following therapy: first clinical evaluation of a novel tumor marker. *Cancer Res.*, 47, 6407–6412.
47. Garzon, R., Marcucci, G., and Croce, C.M. (2010). Targeting microRNAs in cancer: rationale, strategies and challenges. *Nat. Rev. Drug. Discov.*, 9, 775–789.
48. Lim, P.K., Bliss, S.A., Patel, S.A., Taborga, M., Dave, M.A., Gregory, L.A., Greco, S.J., Bryan, M., Patel, P.S., Rameshwar, P. (2011). Gap junction-mediated import of microRNA from bone marrow stromal cells can elicit cell cycle quiescence in breast cancer cells. *Cancer Res.*, 71, 1550–1560.
49. Arroyo, J.D., Chevillet, J.R., Kroh, E.M., Ruf, I.K., Pritchard, C.C., Gibson, D.F., Mitchell, P.S., Bennett, C.F., Pogosova-Agadjanyan, E.L., Stirewalt, D.L., Tait, J.F., Tewari, M. (2011). Argonaute2 complexes carry a

- population of circulating microRNAs independent of vesicles in human plasma. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 108, 5003–5008.
50. Hood, J.L., San, R.S., Wickline, S.A. (2011). Exosomes released by melanoma cells prepare sentinel lymph nodes for tumor metastasis. *Cancer Res.*, 71, 3792–3801.
51. Molnar, A., Melnyk, C.W., Bassett, A., Hardcastle, T.J., Dunn, R., and Bauglcombe, D.C. (2010). Small silencing RNAs in plants are mobile and direct epigenetic modification in recipient cells. *Science*, 328, 872–875.
52. Zhang, L., Hou, D., Chen, X., Li, D., Zhu, L., Zhang, Y., Li, J., Bian, Z., Liang, X., Cai, X., Yin, Y., Wang, C., Zhang, T., Zhu, D., Zhang, D., Xu, J., Chen, Q., Ba, Y., Liu, J., Wang, Q., Chen, J., Wang, J., Wang, M., Zhang, Q., Zhang, J., Zen, K., and Zhang, C.Y. (2011). Exogenous plant MIR168a specifically targets mammalian LDLRAP1: evidence of cross-kingdom regulation by microRNA. *Cell Res.* PMID: 21931358.
53. Gan X., Gould S.J. (2012). HIV Pol Inhibits HIV Budding and Mediates the Severe Budding Defect of Gag-Pol. *PLoS One*, 7(1), e29421.
54. Nabhan J.F., Hu R., Oh R.S., Cohen S.N., Lu Q. (2012). Formation and release of arrestin domain-containing protein 1-mediated microvesicles (ARMMs) at plasma membrane by recruitment of TSG101 protein. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, Feb 6.
55. Lässer C., O’Neil S.E., Ekerljung L., Ekström K., Sjöstrand M., Lötvall J. (2011). RNA-containing exosomes in human nasal secretions. *Am. J. Rhinol. Allergy*, 25(2), 89-93. Epub 2010 Dec 17.
56. Choi D.S., Yang J.S., Choi E.J., et al. (2012). The protein interaction network of extracellular vesicles derived from human colorectal cancer cells. *J. Proteome Res.*, 11(2), 1144-51.
57. <http://www.globenewswire.com/newsroom/news.html?d=218181>
58. <http://www.carislifesciences.com/blood-based-diagnostics>
59. <http://www.nanosight.com/technology/nanosights-technology>
60. http://www.malvern.com/LabEng/technology/dynamic_light_scattering/dynamic_light_scattering.htm
61. Mathivanan S., Fahner C.J., Reid G.E., et al. (2012). ExoCarta 2012: database of exosomal proteins, RNA and lipids. *Nucleic. Acids. Res.*, 40, D1241-4.
62. Dr. Paul Harrison (2010). How to detect and measure microparticles (Presentation abstract, 2010-06-11. URL: <http://www.multiwebcast.com/eha/2010/15th/4889/paul.harrison.how.to.detect.and.measure.microparticles.html>).

НОТАТКИ

ВОДНІ БІОРЕСУРСИ ТА АКВАКУЛЬТУРА

Water bioresources and aquaculture

Науковий

журнал

2(14)/2023

Коректура • М. Бабич
Комп'ютерна верстка • В. Гайдабрус

Формат 70x100/16. Гарнітура Times New Roman.
Папір офсетний. Цифровий друк. Обл.-вид. арк. 12,11. Ум. друк. арк. 16,09.
Підписано до друку 29.12.2023. Наклад 100 прим. Замовлення № 1223/800.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»
65101, м. Одеса, вул. Інглезі, 6/1
Телефон +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08
E-mail: mailbox@helvetica.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 7623 від 22.06.2022 р.