



УДК 574.587(262.5:282.243.7)
DOI 10.47143/1684-1557/2026.1.7

СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНА ОРГАНІЗАЦІЯ МАКРОЗООБЕНТОСУ ПРИГІРЛОВОГО УЗМОР'Я ДУНАЮ (УКРАЇНСЬКИЙ ШЕЛЬФ)

Бондаренко О.С. – к.б.н., с.н.с., ORCID 0000-0003-2280-060X

Синьогуб І.О. – м.н.с., ORCID 0000-0003-4787-1332

Кудренко С.А. – к.б.н., н.с., ORCID 0000-0001-8827-6316

Рибалко О.А. – пров. інж., ORCID 0009-0007-1435-9849

ДУ «Інститут морської біології НАН України»

olena.bondarenko@gmail.com

Наведені дані щодо структурно-функціональної організації угруповань макрозообентосу української ділянки пригирлового узмор'я р. Дунай за результатами досліджень 2004–2021 рр. Всього в угрупованні зареєстровано 82 таксони макрофауни, що належали до 7 типів: Cnidaria (2 види), Platyhelminthes (таксони нижчого рангу не визначали), Nemertea (таксони нижчого рангу не визначали), Annelida (21 вид класу Polychaeta; представників класу Clitellata до таксонів нижчого рангу не визначали), Phoronida (1 вид), Mollusca (25 видів) та Arthropoda (31 вид). До постійних видів за частотою трапляння віднесені поліхети *Heteromastus filiformis* (80,8%), *Alitta succinea* (70,4%), *Nephtys hombergii* (52,6%), *Polydora cornuta* (51,9%) та двостулкові молюски *Anadara kagoshimensis* (56,7%) і *Mya arenaria* (52,2%). Середня чисельність макрофауни за період дослідження склала 2824 ± 292 екз. \cdot м⁻², біомаса – $214,86 \pm 30,36$ г \cdot м⁻². За чисельністю переважали кільчасті черви Annelida (54,6%), за біомасою – молюски Mollusca (91,1%). Серед окремих видів за чисельністю домінували *H. filiformis* (23,6%) та *Lentidium mediterraneum* (22,3%), за біомасою – *A. kagoshimensis* (34,9%), *M. arenaria* (24,5%) та *Mytilus galloprovincialis* (23,5%). Виявлено, що найвищі показники чисельності характерні для станцій поблизу дельти Дунаю на глибинах до 15 м, тоді як показники біомаси демонстрували агрегований тип розподілу. Біорізноманіття району характеризувалося відносно низькими показниками: кількість таксонів на станціях коливалась від 1 до 22, а індекс Шеннона ($H'log_2$) варіював в межах 0,03–3,27 біт \cdot особина⁻¹, демонструючи поступове зростання від краю дельти у бік відкритого моря. Трофічну структуру макрозообентосу формували шість груп: хижакі, детритофаги, сестонофаги, фітофаги, поліфаги та рослинно-детритоїдні. За кількістю таксонів та чисельністю домінували детритофаги (43,9% та 58,9% відповідно), а за біомасою – сестонофаги (88,4%). Встановлено, що найбільша щільність детритофагів характерна для глибини 10–20 м, тоді як сестонофаги за чисельністю переважали на глибинах до 15 м, а за біомасою домінували у всьому дослідженому діапазоні (до 25,4 м).

Ключові слова: структурно-функціональна організація, угруповання, макрозообентос, узмор'я Дунаю, український шельф.

Вступ

Пригирлове узмор'я Дунаю представляє собою контакту зону «річка-море» або потамоконтур, в якій постійно відбувається змішування річкових та морських вод. Українська частина пригирлового узмор'я охоплює акваторію від берегової лінії Кілійської частини дельти Дунаю до межі морської води з солоністю близько 17‰, зовнішня межа залежить від об'єму стоку Дунаю та вітрового режиму (Bogatova 2013). На узмор'ї в процесі трансформації дунайської води в морську формуються зони

з різкими градієнтами солоності. відбувається осадження більшої частини органічних та неорганічних компонентів річкового стоку, а хімічні та біологічні процеси в регіоні характеризуються високими швидкостями (Berlinsky et al. 2006; Bogatova 2013). Ці процеси визначають узмор'я Дунаю як буферну систему, де акумулюються органічні та неорганічні сполуки, включаючи токсиканти та радіонукліди (Зайцев и Поликарпов 2002). Саме безпосередній вплив річкового стоку, особливості гідролого-гідрохімічних умов регіону формують унікальні оселища

для гідробіонтів та обумовлюють високі структурно-функціональні характеристики і біорізноманіття їхніх угруповань (Екосистема ... 1998).

Одним з важливих біологічних елементів екосистеми є бентичні безхребетні, які відіграють важливу роль у функціонуванні екосистем пригирлових зон. Макрозообентос забезпечує широкий спектр екологічних функцій, включаючи біотурбацію, біоіригацію, кругообіг поживних речовин, а також відіграє важливу роль у формуванні трофічних зв'язків (Atwood et al. 2015; Chakraborty et al. 2022; Martinetto et al. 2023). Завдяки своїй діяльності бентосні організми активно змінюють фізичні та хімічні властивості донних відкладів через процеси риття, перемішування осаду, вентиляції нір (Lehuen et al. 2024). Біотурбація сприяє покращенню аерації осаду, інфільтрації води та перерозподілу поживних речовин (Morys, Powilleit and Forster 2017; van de Velde et al. 2020). Бентосні організми відіграють ключову роль у циркуляції хімічних елементів та поживних речовин безпосередньо через фізіологічні процеси такі як харчування, дихання та виділення (Miernik, Janas and Kendzierska 2023). Особливу роль макрозообентос відіграє у регуляції потоків речовин між водною товщею та донними відкладами. Наприклад, сестоно-

фаги переносять завислі речовини з води в осад, тоді як детритофаги забезпечують переробку органічної речовини (Politi et al. 2019; Bhuiyan et al. 2025).

Метою даної роботи було дослідити структурно-функціональну організацію угруповань макрозообентосу української частини пригирлового узмор'я Дунаю.

Матеріал та методи дослідження

Угруповання макрозообентосу пригирлового узмор'я Дунаю вивчали в період 2004–2021 рр. на 20-ти станціях (рис. 1).

Станції відбору проб були розташовані на мулах (190 проб), замуленому піску (21 проба), черепашковому (27 проб) і змішаному (53 проби) типах субстратів та охоплювали діапазон глибини 3,8–25,4 м. Всього зібрано та оброблено 291 пробу макрозообентосу.

Визначення структурно-функціональної організації угруповань макрозообентосу регіону проведено на ділянках дна, які не зазнають прямих антропогенних тисків, пов'язаних з будівництвом та експлуатацією глибоководного суднового ходу «Дунай–Чорне море» – зони днопоглиблення та дампуingu ґрунту. Специфіка умов формування та функціонування бентичних угруповань в цих зонах є питанням для окремого дослідження.

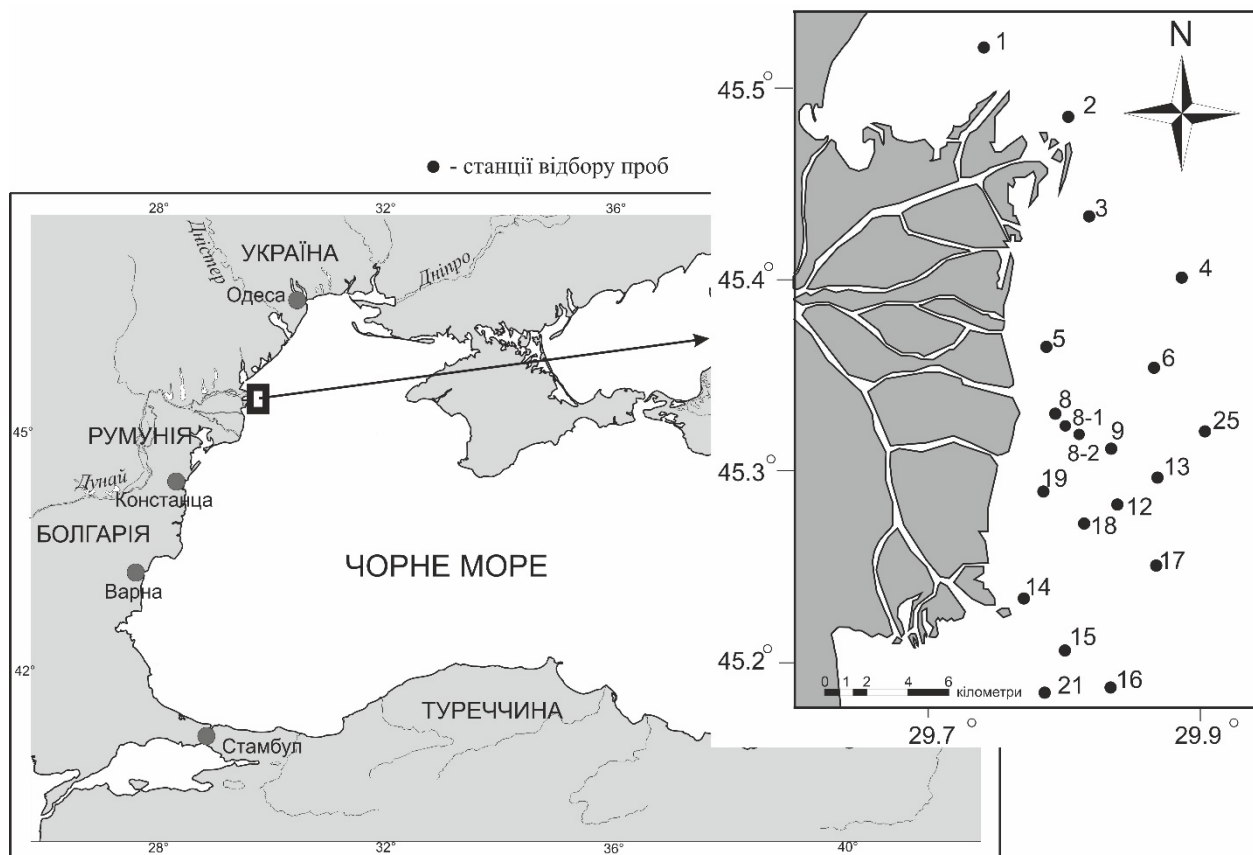


Рис. 1. Схема розташування станцій відбору проб макрозообентосу у пригирловому узмор'ї Дунаю в період 2004–2021 рр.

Проби макрозообентосу збирали з борту судна з використанням дночерпака Петерсена з площею розкриття 0,1 м². Зразки промивали через систему ґрунтових сит з мінімальним вічком 1 мм. Організми макрозообентосу разом з залишками субстрату поміщали в пластикові банки ємністю 0,5 л, фіксували нейтралізованим 4-х % розчином формальдегіду та транспортували до лабораторії для подальших досліджень. В лабораторних умовах зразки обробляли відповідно до загальноживаних методик (Володкович 1980; Todorova and Konsulova 2005).

Ідентифікацію організмів макрозообентосу проводили з використанням стереомікроскопу MICROmed XS-6320, за необхідності – світлового мікроскопу BRESSER Science TRM 301. Кожен організм визначали за можливості до найнижчого таксономічного рангу. Для кожного таксону в окремих зразках, шляхом прямого обліку визначали кількість особин та їхню вологу масу. Перед визначенням вологості маси тварин підсушували на фільтрувальному папері. Зважування проводили з використанням лабораторних ваг ТВЕ-0,21-0,001 з точністю до 0,001 г. Чисельність та біомасу для кожного таксону розраховували на 1 м². Назви видів наведені у відповідності до Світового реєстру морських видів (WoRMS) (<https://www.marinespecies.org/>). Для оцінки структури макрозообентосу для кожного визначеного таксону розраховано індекс трапляння. До основних відносили таксони, що траплялись на ≥50% станцій, до другорядних – 49,9–25% станцій, до випадкових – на <25% відповідно. Оцінку біорізноманіття макрозообентосу проводили з використанням індексу Шеннона ($H' \log_2$) (Shannon and Weaver 1949):

$$H = -\sum \frac{n_i}{N} \log_2 \frac{n_i}{N}$$

n_i – рясність і-го виду, N – сума рясностей всіх видів.

Для оцінки функціональної організації донних угруповань індикаторами слугували чисельність та біомаса трофічних груп. Приналежність окремого таксону до певної трофічної групи визначали за опублікованими даними (Грезе 1977; Лосовская 1977; Киселева 1981).

Результати та обговорення

В пригирловому узмор'ї р. Дунай за період дослідження зареєстровано 82 таксони макрозообентосу, які відносились до 7 типів: Cnidaria (2 види), Platyhelminthes (таксони нижчого рангу не визначали), Nemertea (таксони нижчого рангу не визначали), Annelida (21 вид класу Polychaeta; представників класу Clitellata до таксонів нижчого рангу не визначали), Phoronida (1 вид), Mollusca (25 видів) та Arthropoda (31 вид). За частотою трапляння до постійних та другорядних віднесено по 6 видів (табл. 1), інші 70 таксонів класифіковані як випадкові.

На досліджуваній ділянці пригирлового узмор'я Дунаю загальна чисельність донних макробезхребетних на окремих станціях варіювала від 5 екз.·м⁻² до 52060 екз.·м⁻², біомаса – від 0,01 г·м⁻² до 3938,70 г·м⁻². Середня чисельність за період дослідження склала 2824±292 екз.·м⁻², середня біомаса – 214,84±30,36 г·м⁻². Значні коливання чисельності та біомаси макрозообентосу на окремих локаціях відображають високу гетерогенність екологічних умов пригирлового узмор'я для донних безхребетних. За чисельністю превалювали представники Annelida (54,6% від багаторічного показника чисельності) та Mollusca (39,5% відповідно), за біомасою домінували Mollusca (91,1% від багаторічного показника біомаси) (рис. 2).

Таблиця 1

Структурні показники основних та другорядних видів макрозообентосу пригирлового узмор'я Дунаю (2004–2021 рр.)

Вид	Частота трапляння, %	Чисельність, екз.·м ⁻²	Біомаса, г·м ⁻²
Основні види			
<i>Heteromastus filiformis</i> (Claparède, 1864)	80,8	667±94	2,09±0,25
<i>Alitta succinea</i> (Leuckart, 1847)	70,4	207±22	5,68±0,65
<i>Anadara kagoshimensis</i> (Tokunaga, 1906)	56,7	90±15	75,01±10,77
<i>Nephtys hombergii</i> Savigny in Lamarck, 1818	52,6	60±7	2,59±0,26
<i>Mya arenaria</i> Linnaeus, 1758	52,2	126±32	52,66±20,97
<i>Polydora cornuta</i> Bosc, 1802	51,9	161±38	0,19±0,04
Другорядні види			
<i>Melinna palmata</i> Grube, 1870	47,8	332±71	5,40±1,07
<i>Amphibalanus improvisus</i> (Darwin, 1854)	39,9	37±7	1,18±0,24
<i>Harmothoe imbricata</i> (Linnaeus, 1767)	33,0	11±2	0,12±0,02
<i>Ampelisca diadema</i> (A. Costa, 1853)	36,1	101±24	0,30±0,06
<i>Cerastoderma glaucum</i> (Bruguière, 1789)	34,7	54±16	5,62±1,14
<i>Mytilus galloprovincialis</i> Lamarck, 1819	30,6	50±12	50,45±12,52

Серед окремих видів за чисельністю переважали *H. filiformis* (23,6%), *Lentidium mediterraneum* (O.G. Costa, 1830) (22,3%), *M. palmata* (11,7%) та *A. succinea* (7,3%), за біомасою – *A. kagoshimensis* (34,9%), *M. arenaria* (24,5%) та *M. galloprovincialis* (23,5%).

Високі показники загальної чисельності донних макробезхребетних характерні для станцій наближе-

них до краю дельти Дунаю і знижуються на морських станціях. Показники загальної біомаси макрозообентосу демонстрували агрегований тип розподілу (рис. 3).

Так на малій глибині на піщаних субстратах висока чисельність макрозообентосу формується за рахунок щільності поселення характерного для даного оселища дрібного двостулкового моллюска

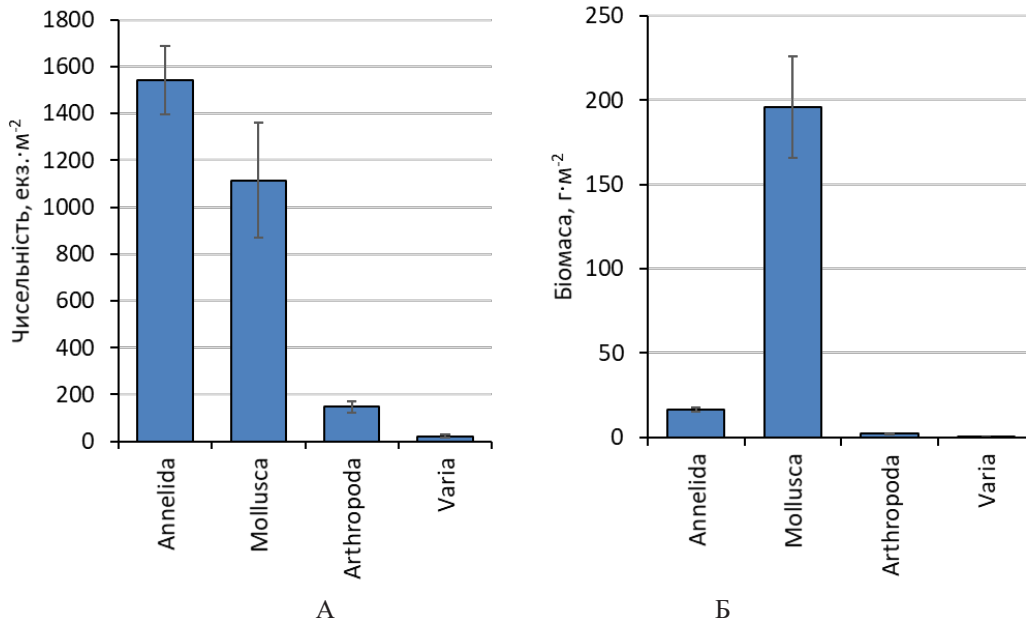


Рис. 2. Середні багаторічні показники чисельності (екз.·м⁻², А) та біомаси (г·м⁻², Б) таксонів високого рангу донних безхребетних пригирлового узмор'я Дунаю в 2004–2021 рр.

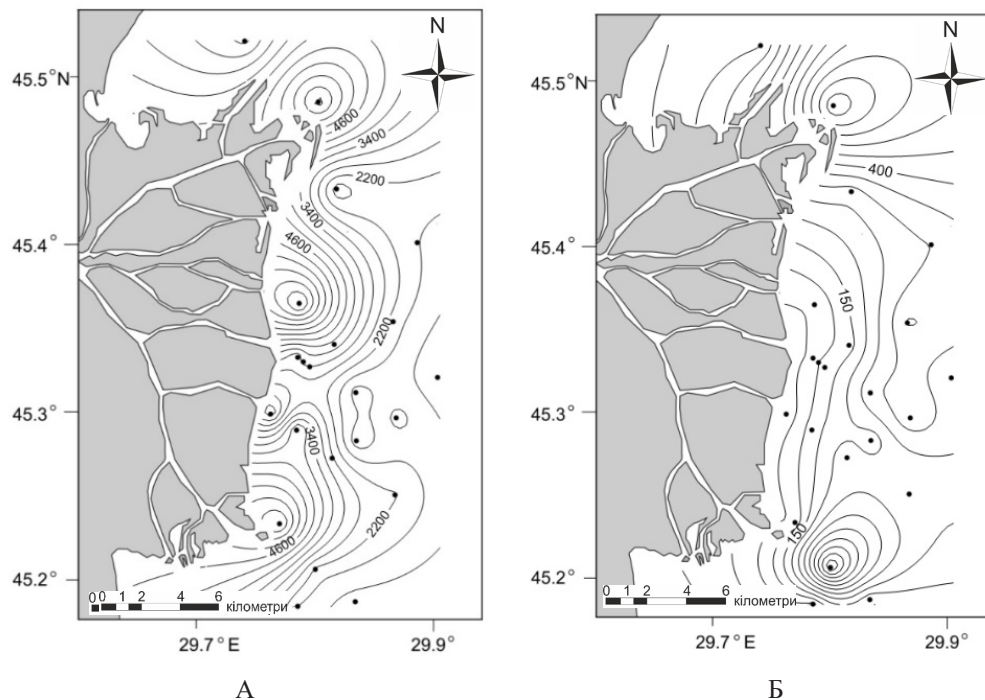


Рис. 3. Просторовий розподіл середніх багаторічних показників чисельності (екз.·м⁻², А) та біомаси (г·м⁻², Б) макрозообентосу в пригирловому узмор'ї Дунаю (2004–2021 рр.)

L. mediterraneum. Найвищий зареєстрований показник його чисельності склав 50400 екз.·м⁻², біомаса – 102,50 г·м⁻². В Чорному морі він найчастіше трапляється на опріснених ділянках, біля гирл річок та в лиманах (Определитель ... 1972). На окремих ділянках мілководдя українського шельфу щільність його поселень сягала до 250000 екз.·м⁻², а біомаса – до 2–3 кг·м⁻². Він є важливим кормовим об'єктом для багатьох промислових риб (Black Sea ... 1998). На станціях розташованих на мулистих субстратах в зоні інтенсивного осадження органічних та неорганічних компонентів річкового стоку, характерна найбільша щільність видів-опортуністів – *H. filiformis* та *A. succinea*. На мористих станціях на мулистих субстратах формуються поселення *M. palmata* з високою щільністю.

Для низки локацій дослідженого регіону характерні високі біомаси двостулкових молюсків. Висока біомаса *A. kagoshimensis* формується на різних ділянках узмор'я – як на мулистих субстратах, мулах з детритом, так і на змішаних ґрунтах та черепашках. *M. galloprovincialis* в основному заселяє змішані типи субстратів та черепашки, які в регіоні займають незначні площі дна, окремі скупчення мідій трапляються на мулистих субстратах. Поселення *M. arenaria* з високою біомасою трапляються майже на всьому полігоні досліджень.

Біорізноманіття макрозообентосу пригирлового узмор'я Дунаю характеризувалось відносно низькими показниками. Кількість таксонів макробезхребетних на окремих стаціях коливалась від 1 до 22 таксонів, індекс біорізноманіття Шеннона ($H' \log_2$) варіював від 0,03 біт·особина⁻¹ до 3,27 біт·особина⁻¹. Аналіз просторового розподілу біорізноманіття макрозообентосу на основі індексу Шеннона демонструє його поступове збільшення від краю дельти Дунаю до мористих станцій (рис. 4). Збільшення біорізноманіття донних угруповань в мористій частині узмор'я може бути пов'язане з послабленням інтенсивності процесів пов'язаних з трансформацією річкових вод у морські.

Трофічну структуру макрозообентосу пригирлового узмор'я Дунаю формували шість груп: хижаки, детритофаги, сестонофаги, фітофаги, полі-

фаги та рослинно-детритоїдні. В цілому в регіоні за кількістю таксонів переважали три трофічні групи: детритофаги (43,9% від загальної кількості таксонів макрозообентосу), хижаки (25,6%) та сестонофаги (19,5% відповідно). Інші трофічні групи були представлені незначною кількістю видів (табл. 2).

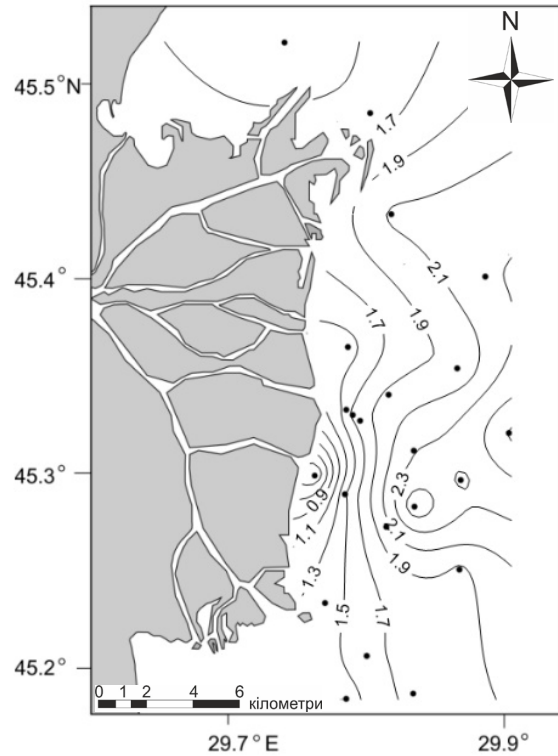


Рис. 4. Просторовий розподіл біорізноманіття макрозообентосу за середніми багаторічними показниками індексу Шеннона (H', \log_2) в пригирловому узмор'ї Дунаю (2004–2021 рр.)

За чисельністю домінували детритофаги (58,9% від загальної чисельності макрозообентосу), значна частка у цьому показнику була у сестонофагів (36,1% відповідно), разом вони формували 95% від загальної чисельності донної макрофауни. За біомасою домінували сестонофаги, відсоток яких в показнику загальної біомаси макрозообентосу регіону склав 88,4%.

Таблиця 2

Трофічні групи макрозообентосу та їхні структурні показники в пригирловому узмор'ї Дунаю

Трофічна група	Кількість таксонів	Чисельність, екз.·м ⁻²	Біомаса, г·м ⁻²
Хижаки	21	104±10	7,14±2,60
Детритофаги	36	1662±149	17,65±1,60
Сестонофаги	16	1018±244	189,92±30,00
Фітофаги	4	38±8	0,10±0,02
Поліфаги	1	<1	0,04±0,03
Рослинно-детритоїдні	4	1±<1	0,01±0,01
Всього	82	2824±292	214,86±30,36

Детритофаги в пригирловому узмор'ї Дунаю були представлені переважно Arthropoda (19 видів) та Annelida (13 видів поліхет та олігохети). При цьому за чисельністю та біомасою домінували Annelida (87,9% від загального показника чисельності детритофагів та 77,7% від загального показника біомаси) (рис. 5).

Серед детритофагів за чисельністю переважали *H. filiformis* (667 ± 94 екз. \cdot м⁻²), *M. palmata* (332 ± 71 екз. \cdot м⁻²), *A. succinea* (207 ± 22 екз. \cdot м⁻²) та *P. cornuta* (161 ± 38 екз. \cdot м⁻²). За біомасою домінували *A. succinea* ($5,68 \pm 0,65$ г \cdot м⁻²) та *M. palmata* ($5,40 \pm 1,07$ г \cdot м⁻²).

Трофічну групу сестонофагів за всіма структурними показниками формували переважно Mollusca (рис. 6). Вони були представлені 14 видами, їхні чисельність та біомаса склали 94,9% та 99,3% від загальних показників відповідно. За чисельністю домінував *L. mediterraneum* (629 ± 234 екз. \cdot м⁻²), за біомасою переважали *A. kagoshimensis* ($75,01 \pm 10,77$ г \cdot м⁻²) і *M. arenaria* ($52,66 \pm 20,97$ г \cdot м⁻²).

Хижачи були представлені типами Cnidaria (2 види), Platyhelminthes (до таксонів нижчого рангу не визначали), Nemertea (до таксонів нижчого рангу не визначали) (рис. 7).

Серед хижаків за чисельністю домінували Annelida, склавши 73,5% від загальної чисельності даної трофічної групи. Відносно висока чисельність зареєстрована для хижої поліхети *N. hombergii* (80 ± 7 екз. \cdot м⁻²). За біомасою переважали Mollusca (47,8% від загальної біомаси хижаків) та Annelida (38,5% відповідно). Основу біомаси хижаків формували *R. venosa* ($3,29 \pm 2,52$ г \cdot м⁻²) та *N. hombergii* ($2,59 \pm 0,26$ г \cdot м⁻²).

Отже угруповання макрозообентосу пригирлового узмор'я Дунаю характеризуються високою чисельністю дрібних видів детритофагів, переважно поліхет, та відносно високою біомасою сестонофагів, здебільшого двостулкових молюсків. Значні щільності дрібних детритофагів свідчать про високі швидкості біологічних процесів

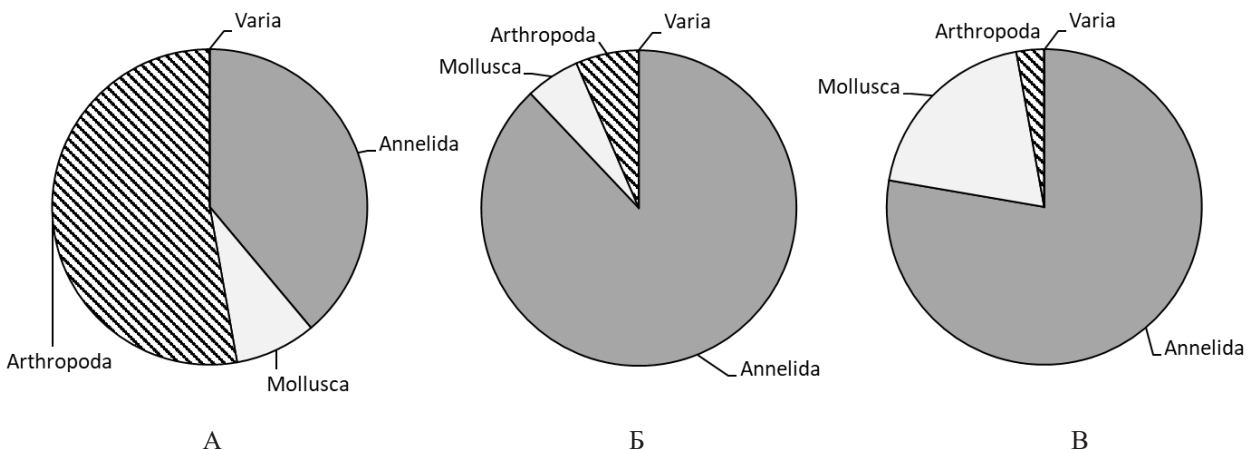


Рис. 5. Співвідношення кількості видів (А), чисельності (екз. \cdot м⁻², Б) та біомаси (г \cdot м⁻², В) різних таксонів в трофічній групі детритофаги

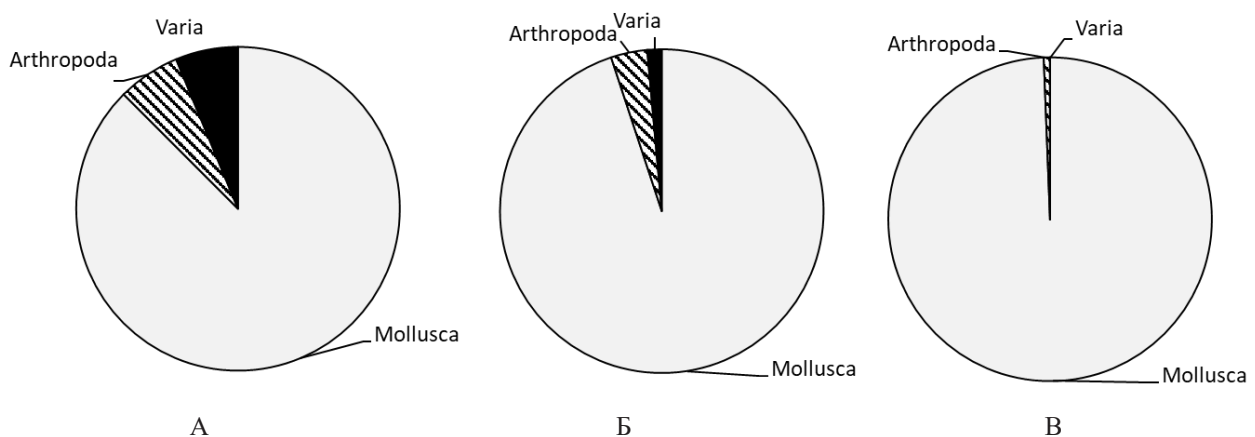


Рис. 6. Співвідношення кількості видів (А), чисельності (екз. \cdot м⁻², Б) та біомаси (г \cdot м⁻², В) різних таксонів в трофічній групі сестонофаги

в донних оселищах регіону, що в цілому є характерним для потамоконтуру.

В результаті аналізу змін загальних чисельності та біомаси макробоентосу в пригирловому районі Дунаю в залежності від глибини, яка збільшується з віддаленням у бік моря від краю дельти Дунаю, встановлено, що найбільші показники загальної чисельності формуються в діапазонах глибини до 10–15 м (4144 ± 835 екз.·м⁻² та 3964 ± 996 екз.·м⁻² відповідно) (рис. 8).

Характерно, що найнижчі показники загальної біомаси макробоентосу в регіоні формуються на глибині до 10 м ($67,08 \pm 9,69$ г·м⁻²) та збільшуються приблизно в чотири рази в інших досліджуваних діапазонах.

Найвищі показники чисельності детритофагів характерні для глибини 10–20 м, при цьому високі

показники їхньої біомаси спостерігаються з 10 м до 25 м. Висока чисельність сестонофагів формуються на глибині до 15 м, біомаса – на глибині 10–25,4 м (табл. 3).

Серед детритофагів на глибині до 10 м та 10,1–15 м за чисельністю домінували *H. filiformis*, *A. diadema*, *A. succinea* та *P. cornuta*, за біомасою *A. succinea* та *H. filiformis*. В діапазоні глибини 15,1–20 м серед детритофагів за чисельністю домінували *H. filiformis*, *P. cornuta*, *A. succinea* та *M. palmata*. За біомасою переважала поліхета *A. succinea*. На глибині 20,1–25 м за чисельністю та біомасою домінувала *M. palmata*. Серед сестонофагів на глибині до 15 м за чисельністю превалював дрібний моллюск *L. mediterraneum*, на глибині 15,1 – 25 м – *A. kagoshimensis*, *M. galloprovincialis* та *M. arenaria*, які за біомасою домінували у всьому діапазоні глибин.

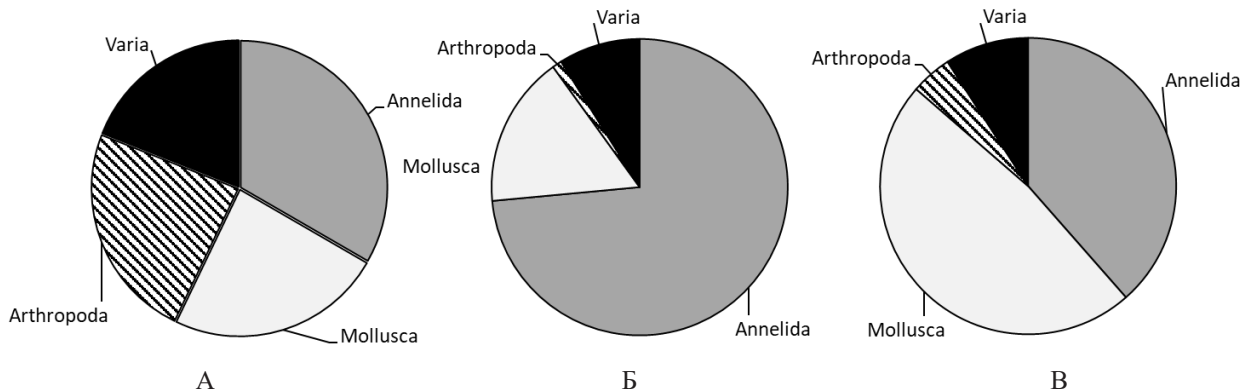


Рис. 7. Співвідношення кількості видів (А), чисельності (екз.·м⁻², Б) та біомаси (г·м⁻², В) різних таксонів в трофічній групі хижаків

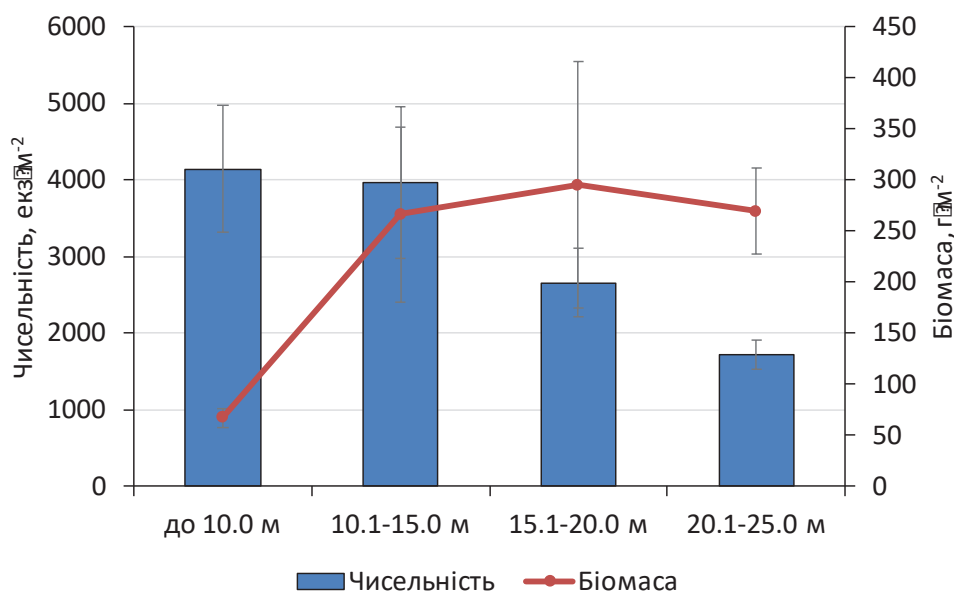


Рис. 8. Багаторічні показники чисельності (екз.·м⁻², А) та біомаси (г·м⁻², Б) макробоентосу пригирлового узмор'я Дунаю на різній глибині (2004–2021 рр.)

Чисельність (екз. · м⁻²) та біомаса (г · м⁻²) трофічних груп макрозообентосу в пригирловому узмор'ї Дунаю на різній глибині

Трофічна група	Глибина			
	до 10 м	10,1–15 м	15,1–20 м	20–25 м
Чисельність, екз. · м ⁻²				
Хижаки	29±10	32±9	154±27	151±19
Детритофаги	1758±291	2267±540	2211±439	1213±168
Сестонофаги	2334±773	1632±771	286±79	297±46
Фітофаги	15±6	23±9	23±8	63±17
Поліфаги	–	–	<1	<1
Рослинно-детритоїдні	–	9±8	–	<1
Всього	4144±835	3964±996	2660±447	1726±191
Біомаса, г · м ⁻²				
Хижаки	1,59±0,55	1,60±0,55	4,64±0,86	13,36±6,09
Детритофаги	12,76±2,01	16,02±3,00	20,72±2,47	20,02±3,26
Сестонофаги	52,70±8,78	248,55±84,39	269,49±120,24	235,83±40,54
Фітофаги	0,04±0,01	0,07±0,03	0,05±0,02	0,18±0,05
Поліфаги	–	–	0,029±0,03	0,08±0,07
Рослинно-детритоїдні	–	0,029±0,02	–	0,02±0,02
Всього	67,08±9,69	266,27±85,27	294,93±120,22	269,47±41,65

Висновки

Угруповання макрозообентосу пригирлового узмор'я Дунаю в період 2004–2021 рр. формували 82 таксони з 7 типів: Cnidaria, Platyhelminthes, Nemertea, Annelida, Phoronida, Mollusca та Arthropoda. За частотою трапляння до основних видів віднесені *Heteromastus filiformis* (80,8%), *Alitta succinea* (70,4%), *Nephtys hombergii* (52,6%), *Polydora cornuta* (51,9%), *Anadara kagoshimensis* (56,7%) та *Mya arenaria* (52,2%).

Врегіонібагаторічні середні значення чисельності та біомаси макрозообентосу склали 2824±292 екз. · м⁻² та 214,86±30,36 г · м⁻² відповідно. За чисельністю переважали Annelida (54,6%) та Mollusca (39,5%), за біомасою – Mollusca (91,1%). Висока чисельність макрозообентосу формується на ділянках біля краю дельти Дунаю (глибина до 10 м, 4144±835 екз. · м⁻²), найменша – на мористих станціях (глибина 20,1–25 м, 1726±191 екз. · м⁻²). Низька біомаса характерна для глибини до 10 м (67,08±9,69 г · м⁻²), висока – на глибині 15,1–20 м (294,93±120,22 г · м⁻²). Індекс Шеннона ($H' \log_2$) коливався від 0,03 біт · особина⁻¹ до 3,27 біт · особина⁻¹. З наростанням глибини збільшується біорізноманіття макрозообентосу.

Трофічну структуру макрозообентосу пригирлового узмор'я Дунаю формували хижаки, детритофаги, сестонофаги, фітофаги, поліфаги та рослинно-детритоїдні безхребетні. За кількістю таксонів (43,9%) та чисельністю (58,9%) домінували детритофаги, за біомасою – сестонофаги (88,4%). На глибині до 10 м за чисельністю домінували детритофаги (42,5%) та сестонофаги (56,4%), на інших глибинах – детритофаги (максимум в діапазоні глибини 15,1–20 м – 82,7%). За біомасою у всьому досліджуваному діапазоні глибини домінували сестонофаги (78,6–93,3%).

Отже біля краю дельти Дунаю угруповання макрозообентосу формують дрібні види з високою щільністю та низькою біомасою. В мористій частині узмор'я знижується чисельність угруповань, підвищується біомаса, зростає їхнє біорізноманіття. Виявлені закономірності розподілу структурних показників макрозообентосу значною мірою формуються внаслідок впливу річкових вод та їхньої трансформації в морську. Значні щільності дрібних детритофагів в донних оселищах регіону свідчать про високі швидкості біологічних процесів в бенталі, що в цілому є характерним для потамоконтуру.

Список використаних джерел

1. Володкович Ю.Л. Методы изучения морского бентоса. *Руководство по методам биологического анализа морской воды и донных отложений*. Ленинград : Гидрометеоздат, 1980. С. 150–165.
2. Гресе И.И. Бокоплавцы. *Фауна Украины. Высшие ракообразные*. Киев : Наукова думка, 1985. Т. 5. 172 с.
3. Зайцев Ю.П., Поликарпов Г.Г. Экологические процессы в критических зонах Чёрного моря: синтез

результатов двух направлений исследований с середины XX до начала XXI веков. *Морской экологический журнал*. 2002. Т. 1. № 1. С. 33–50.

4. Киселева М.И. Бентос рыхлых грунтов Черного моря. Киев : Наукова думка, 1981. 168 с.

5. Лосовская Г. В. *Экология полихет Черного моря*. Киев : Наукова думка, 1977. 91 с.

6. Определитель фауны Черного и Азовского морей : в 3 т. / отв. ред. В.А. Водяницкий. Киев : Наукова думка, 1972. Т. 3 : Свободноживущие беспозвоночные. Членистоногие (продолжение), моллюски. 340 с.

7. Экосистема взморья украинской дельты Дуная / Ю.П. Зайцев, Л.В. Воробьева, Б.Г. Александров и др. ; отв. ред. Л.В. Воробьева. Одесса : Астропринт, 1998. 332 с.

8. Atwood T.B., Connolly R.M., Ritchie E.G. et al. Predators help protect carbon stocks in blue carbon ecosystems. *Nature Climate Change*. 2015. Vol. 5. № 12. P. 1038–1045. DOI: <https://doi.org/10.1038/nclimate2763>.

9. Berlinsky N., Bogatova Yu., Garkavaya G. Estuary of the Danube. *The Handbook of Environmental Chemistry*. Vol. 5 : Water Pollution. Pt. H : Estuaries / ed. by P.J. Wangersky. Berlin : Springer, 2006. P. 233–264. DOI: https://doi.org/10.1007/698_5_034.

10. Black Sea Biological Diversity: Ukraine / Yu.P. Zaitsev, B.G. Alexandrov (eds). New York : United Nations Publications, 1998. 351 p.

11. Bogatova Yu.I. Hydrochemical Regime of the Ukrainian Part of Danube Nearshore Area. *Water Resources*. 2013. Vol. 40. № 3. P. 305–314.

12. van de Velde S.J., Hidalgo-Martinez S., Callebaut I. et al. Burrowing fauna mediate alternative stable states in the redox cycling of salt marsh sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2020. Vol. 276. P. 31–49. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gca.2020.02.021>.

13. Martinetto P., Montemayor D.I., Alberti J. et al. Crab bioturbation and herbivory may account for variability in carbon sequestration and stocks in south west atlantic

salt marshes. *Frontiers in Marine Science*. 2016. Vol. 3. Art. 122. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmars.2016.00122>.

14. Lehuen A., Oulhen R.-M., Zhou Z. al. Multispecies macrozoobenthic seasonal bioturbation effect on sediment erodibility. *Journal of Sea Research*. 2024. Vol. 201. Art. 102525. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seares.2024.102525>.

15. Chakraborty A., Saha G.K., Aditya G. Macroinvertebrates as engineers for bioturbation in freshwater ecosystem. *Environmental Science and Pollution Research*. 2022. Vol. 29. № 43. P. 64447–64468.

16. Miernik N.A., Janas U., Kendzierska H. Role of Macrofaunal Communities in the Vistula River Plume, the Baltic Sea – Bioturbation and Bioirrigation Potential. *Biology*. 2023. Vol. 12. № 2. Art. 147. DOI: <https://doi.org/10.3390/biology12020147>.

17. Morys C., Powilleit M., Forster S. Bioturbation in relation to the depth distribution of macrozoobenthos in the southwestern Baltic Sea. *Marine Ecology Progress Series*. 2017. Vol. 579. P. 19–36. DOI: <https://doi.org/10.3354/meps12236>.

18. Politi T., Zilius M., Castaldelli G. et al. Estuarine Macrofauna Affects Benthic Biogeochemistry in a Hypertrophic Lagoon. *Water*. 2019. Vol. 11. № 6. Art. 1186. DOI: <https://doi.org/10.3390/w11061186>.

19. Bhuiyan M.K.A., Godoy O., González-Ortegón E. et al. Salt marsh macrofauna: An overview of functions and services. *Marine Environmental Research*. 2025. Vol. 205. Art. 106975. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2025.106975>.

20. Shannon C.E., Weaver W. The mathematical theory of communication. Urbana : University of Illinois Press, 1949. 117 p.

21. Todorova V., Konsulova T. Manual for quantitative sampling and sample treatment of marine soft-bottom macrozoobenthos. Sofia : IO-BAS, 2005. 37 p.

22. WoRMS Editorial Board. *World Register of Marine Species*. Available from <https://www.marinespecies.org> [Accessed 20 Apr. 2026].

References

1. Volodkovich, Yu.L. (1980). Metody izucheniya morskogo bentosa [Methods for studying marine benthos]. In: *Rukovodstvo po metodam biologicheskogo analiza morskoy vody i donnykh otlozheniy* [Manual on methods of biological analysis of sea water and bottom sediments]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 150–165 [in Russian].

2. Greze, I.I. (1985). *Bokoplavy. Fauna Ukrainy. Vysshiyerakoobraznyye* [Amphipods. Fauna of Ukraine. Higher Crustaceans]. Kyiv: Naukova Dumka, Vol. 5 [in Russian].

3. Zaitsev, Yu. P., & Polikarpov, G.G. (2002). Ekologicheskiye protsessy v kriticheskikh zonakh Chernogo morya: sintez rezultatov dvukh napravleniy issledovaniy s serediny XX do nachala XXI vekov [Ecological processes in the critical zones of the Black Sea: synthesis of the results of two research directions from the middle of the 20th to the beginning of the 21st centuries]. *Morskoy ekologicheskij zhurnal*, 1(1), 33–50 [in Russian].

4. Kiseleva, M.I. (1981). *Bentos rykhlykh gruntov Chernogo morya* [Benthos of soft sediments of the Black Sea]. Kyiv: Naukova Dumka [in Russian].

5. Losovskaya, G.V. (1977). Ecology of Black Sea polychaetes [Ekologiya polikhet Chernogo morya]. Kyiv: Naukova Dumka [in Russian].

6. Vodyanitsky, V.A. (Ed.). (1972). *Opredelitel fauny Chernogo i Azovskogo morey* [Identification key to the fauna of the Black and Azov Seas]. Kyiv: Naukova Dumka, Vol. 3 [in Russian].

7. Zaitsev, Yu.P., Vorobyova, L.V., Aleksandrov, B.G. et al. (1998). *Ekosistema vmorya ukrainskoy delty Dunaya* [Ecosystem of the nearshore area of the Ukrainian Danube Delta]. L.V. Vorobyova (Ed.). Odessa: Astroprint [in Russian].

8. Atwood, T.B., Connolly, R.M., Ritchie, E.G. et al. (2015). Predators help protect carbon stocks in blue carbon ecosystems. *Nature Climate Change*, 5(12), 1038–1045.

9. Berlinsky, N., Bogatova, Yu., & Garkavaya, G. (2006). Estuary of the Danube. In: P. J. Wangersky (Ed.), *The Handbook of Environmental Chemistry, Vol. 5: Water Pollution, Pt. H: Estuaries* (pp. 233–264). Berlin: Springer.

10. Zaitsev, Yu.P., & Alexandrov, B.G. (Eds.). (1998). *Black Sea Biological Diversity: Ukraine*. New York: United Nations Publications.

11. Bogatova, Yu. I. (2013). Hydrochemical Regime of the Ukrainian Part of Danube Nearshore Area. *Water Resources*, 40(3), 305–314.

12. van de Velde, S.J., Hidalgo-Martinez, S., Callebaut, I. et al. (2020). Burrowing fauna mediate

alternative stable states in the redox cycling of salt marsh sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 276, 31–49.

13. Martinetto, P., Montemayor, D. I., Alberti, J. et al. (2016). Crab bioturbation and herbivory may account for variability in carbon sequestration and stocks in south west atlantic salt marshes. *Frontiers in Marine Science*, 3, 122.

14. Lehen, Oulhen, Zhou et al. (2024). Multispecies macrozoobenthic seasonal bioturbation effect on sediment erodibility. *Journal of Sea Research*, 201, 102525.

15. Chakraborty, A., Saha, G. K., & Aditya, G. (2022). Macroinvertebrates as engineers for bioturbation in freshwater ecosystem. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(43), 64447–64468. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-21950-8>

16. Miernik, N. A., Janas, U., & Kendzierska, H. (2023). Role of Macrofaunal Communities in the Vistula River Plume, the Baltic Sea – Bioturbation and Bioirrigation Potential. *Biology*, 12(2), 147.

17. Morys, C., Powilleit, M., & Forster, S. (2017). Bioturbation in relation to the depth distribution of macrozoobenthos in the southwestern Baltic Sea. *Marine Ecology Progress Series*, 579, 19–36.

18. Politi, T., Zilius, M., Castaldelli, G. et al. (2019). Estuarine Macrofauna Affects Benthic Biogeochemistry in a Hypertrophic Lagoon. *Water*, 11(6), 1186.

19. Bhuiyan, M. K. A., Godoy, O., González-Ortegón, E. et al. (2025). Salt marsh macrofauna: An overview of functions and services. *Marine Environmental Research*, 205, 106975.

20. Shannon, C.E., & Weaver, W. (1949). *The mathematical theory of communication*. Urbana: University of Illinois Press.

21. Todorova, V., & Konsulova, T. (2005). *Manual for quantitative sampling and sample treatment of marine soft-bottom macrozoobenthos*. Sofia: IO-BAS.

22. WoRMS Editorial Board (2026). *World Register of Marine Species*. Available from <https://www.marinespecies.org> [Accessed 20 Apr. 2026].

STRUCTURAL AND FUNCTIONAL ORGANIZATION OF MACROZOOBENTHOS OF THE DANUBE NEARSHORE AREA (UKRAINIAN SHELF)

Bondarenko O.S., PhD, Senior researcher, **Synyogub I.A.**, Junior researcher, **Kudrenko S.A.**, PhD, Researcher, **Rybalko A.O.**, Engineer

Institute of Marine Biology of the National academy of Sciences of Ukraine
olena.bondarenko@gmail.com

Data on the structural and functional organization of macrozoobenthos communities in the Ukrainian sector of the Danube nearshore area are presented based on research conducted between 2004 and 2021. Over this period, a total of 82 macrozoobenthos taxa were recorded, belonging to 7 phyla: Cnidaria (2 species), Platyhelminthes (lower taxa were not identified), Nemertea (lower taxa were not identified), Annelida (21 species of the class Polychaeta; members of the class Clitellata were not identified to lower taxa), Phoronida (1 species), Mollusca (25 species), and Arthropoda (31 species).

According to the frequency of occurrence, the following species were classified as constant: the polychaetes *Heteromastus filiformis* (80.8%), *Alitta succinea* (70.4%), *Nephtys hombergii* (52.6%), *Polydora cornuta* (51.9%), and the bivalve mollusks *Anadara kagoshimensis* (56.7%) and *Mya arenaria* (52.2%). The average abundance of macrofauna during the study period was 2824 ± 292 ind. \cdot m⁻², and the biomass was 214.9 ± 30.4 g \cdot m⁻². In terms of abundance, the region was dominated by annelids (Annelida, 54.6%), while mollusks (Mollusca, 91.1%) prevailed in terms of biomass. Among individual species, *H. filiformis* (23.6%) and *Lentidium mediterraneum* (22.3%) dominated by abundance, whereas *A. kagoshimensis* (34.9%), *M. arenaria* (24.5%), and *Mytilus galloprovincialis* (23.5%) dominated by biomass. It was found that the highest abundance values are characteristic of stations near the Danube Delta at depths up to 15 m, while biomass values showed an aggregated distribution pattern.

The biodiversity of the area was characterized by relatively low values: the number of taxa per station ranged from 1 to 22, and the Shannon index ($H' \log_2$) varied from 0.03 to 3.27 bit.ind.⁻¹, demonstrating a gradual increase from the edge of the delta toward the open sea. The trophic structure of the macrozoobenthos in the Danube nearshore area consisted of six groups: predators, deposit feeders, suspension feeders, herbivores, polyphages, and plant-detritus feeders. Deposit feeders dominated in terms of the number of taxa and abundance (43.9% and 58.9%, respectively), while suspension feeders dominated in terms of biomass (88.4%). It was established that the highest density of deposit feeders is characteristic of depths between 10 and 20 m, whereas suspension feeders prevailed in abundance at depths up to 15 m and dominated in biomass throughout the entire studied range (up to 25.4 m).

Key words: structural and functional organization, communities, macrozoobenthos, Danube nearshore area, Ukrainian shelf.

Дата першого надходження статті до видання: 26.03.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 28.04.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)