

## ДИНАМІКА СТАНУ ПОСЕЛЕНЬ МІДІЇ *MYTILUS GALLOPROVINCIALIS* LAMARCK, 1819 У ТИЛІГУЛЬСЬКОМУ ЛИМАНИ

Стадніченко С.В. – к.б.н., с.н.с.

ДУ «Інститут морської біології НАН України»

svestad63@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5944-3170>

У статті представлено порівняльний аналіз популяційної структури мідій із донних природних поселень Тилігульського лиману за період 2002–2025 рр. Довжина мідії в поселеннях коливається від 16,2 до 98,4 мм, середні її значення змінюються за роками – від 46,01 до 72,2 мм. Середня волога маса м'яких тканин мідій змінювалася впродовж часу: мінімальні її показники становили 0,868 г, максимальні – 7,907 г. Для порівняння стану мідій у поселеннях Тилігульського лиману аналізували їх розмірно-масові характеристики за два періоди часу: 1-й період – з 2002–2010 рр.; 2-й період – з 2021–2025 рр. Визначено, що середня довжина, ширина та товщина черепашки мідії розрізняються між періодами дослідження: індекс опуклості черепашки нижчий у молюсків, відібраних у 2-й період, що свідчить про зниження захисних властивостей мідій у формуванні її скелету.

На основі емпіричних даних розраховані рівняння регресії за співвідношенням вологої ( $W_w$ ), сухої ( $W_d$ ) маси м'яких тканин і маси черепашки до довжини молюсків для кожного періоду. Визначено, що за довжини мідії 40 мм розрахована маса черепашки у 2002–2010 рр. становила 4,022 г, а у 2021–2025 рр. для цієї довжини молюска – лише 1,465 г. Таким чином, черепашки мідій стали більш тонкостінними за останні роки.

Розподіл особин за фенотипом за наявності чи відсутності фіолетового пігменту в призматичному шарі зовнішньої поверхні черепашки мідії в часі демонструє постійну кількість коричневих мідій, зменшення частки темно-фіолетових мідій, збільшення частки смугастих молюсків у поселеннях в останні роки.

Морфологічна структура мідій, виділених за характером розвитку призматичного шару черепашки в зоні лігаменту, різниться: кількість мідій морфологічного типу  $G_B$  змінюється в середньому від 3,94 % до майже 38,6 % за аналізовані періоди часу, достовірно збільшуючись упродовж 2021–2025 рр.

Визначено, що зміни екологічних умов Тилігульського лиману впливають на морфологію мушель *M. galloprovincialis* у донних природних поселеннях.

Ключові слова: Тилігульський лиман, *Mytilus galloprovincialis*, мас-розмірні співвідношення, морфологія черепашки, фенотип.

### Вступ

Однією із характерних особливостей північно-західного узбережжя Чорного моря є лимани, які формують унікальні природні комплекси з високою біологічною продуктивністю, тому значний науковий інтерес становлять екологічні проблеми цих водних об'єктів, біорізноманіття та сучасний стан гідробіонтів у цих водоймах.

Тилігульський лиман – один із найбільших у північно-західній частині Чорного моря. У північну частину лиману впадає р Тилігул, а південна частина лиману з'єднується з морем через штучний канал завдовжки 3,3 км, який останні десятиліття функціонує 3–4 місяці на рік. Місцезнаходження лиману, його розміри та достатньо високі біопродукційні характеристики визначають важливе значення цього водоймища для регіону.

Основна гідроекологічна проблема Тилігульського лиману – це зміна водно-солевого режиму: зниження рівня води та підвищення її солоності. Якщо у 2003 р. значення солоності води в центральній частині водойми варіювали в діапазоні 13–17 ‰, то влітку 2013 р. вони вже були 21–23 ‰, до кінця вересня досягли 23,5 ‰, а в червні 2014 р. – 24,5 ‰ (Адобовський, и Ланин 2014). Унаслідок замулення і зменшення пропускної здатності каналу, інтенсивного випаровування і зниження рівня води в лимані відзначали зростання солоності до 26–28 ‰ впродовж 2012–2018 рр. (Богатова, Кірсанова, та Секундяк 2019), розвиток евтрофікації, порушення балансу вмісту сполук азоту та фосфору (Тучковенко, и Тучковенко 2013; Снігірьова, та Богатова 2020). Порівняння гідрохімічних параметрів морської та води в лимані виявило, що в морській воді міститься менше фосфатів,

органічного азоту та фосфору, розчиненої біогенної речовини (РБР), ніж у водах лиману (Тучковенко, Богатова, и Тучковенко 2015). Характерною особливістю лиману став щорічний розвиток улітку в південній глибоководній частині стратифікації водних мас і придонної гіпоксії (Тучковенко, Адобовський, и Тучковенко 2011; Водні ресурси ... 2014; Богатова, Кірсанова, та Секундяк 2019).

Дослідження зообентосу в Тилігульському лимані розпочалися в середині минулого століття (Гринбарт 1953; Мороз 1993) та продовжилися в цьому столітті (Улізко 2003; Тучковенко, и Синегуб 2014; Перспективи ... 2021; Варігін 2023). Так, уже наприкінці минулого століття згадувалося (Старушенко, и Бушуев 2001) про присутність у нижній частині лиману мідії *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819, яка є найбільш масовим видом двостулкових моллюсків Чорного моря (Шурова 2013; Одесский регион ... 2017; Varigin 2018). Мідія мешкає у найрізноманітніших умовах – в обростаннях природних і штучних твердих субстратів (скелі, каміння, гідроспороди), на поверхні донних відкладів із різним гранулометричним складом (пісок, черепашник, замулені ґрунти), у різних умовах щодо глибини, температури, вмісту кисню, солоності та інших факторів середовища. Однак в умовах Тилігульського лиману визначення стану мідій у природних донних поселеннях та їх популяційні характеристики раніше не аналізувалося, тому метою цього дослідження є визначення динаміки популяційних властивостей мідії в екологічних умовах Тилігульського лиману упродовж 2002–2025 рр.

#### Матеріал та методи досліджень

Визначення популяційних характеристик донних природних поселень мідії *M. galloprovincialis* проводилося за пробами моллюска, відібраними у 2002, 2007, 2010, 2021, 2023–2025 рр. улітку або на початку осені в акваторії лиману з використанням легководолазного спорядження. У зв'язку з розрідженим характером розподілу моллюска відбиралися лише якісні проби без прив'язки до площі поселень мідій. Проби мідій відбирали в пониззях Тилігульського лиману в районі Любопольської коси на глибині 1,5–6 м. Усього відібрано і проаналізовано 485 особин мідії *M. galloprovincialis*. Моллюсків промивали через набір ґрунтових сит із мінімальним розміром вічка 1 мм. У відібраних мідій вимірювалися штангенциркулем із точністю до 0,1 мм по передньо-задній, дорсо-вентральній та латеральній осях максимальна довжина ( $L$ ), висота ( $H$ ) та товщина 2 стулок ( $B$ ) за поширеною схемою вимірювань двостулкових моллюсків (McDonald et al. 1991). Для визначення форми черепашки використовували показники співвідношення: висоти черепашки до її довжини  $H/L$  (видовженість), товщини до дов-

жини  $B/L$  (опуклість), висоти до товщини ( $H/B$ ) (Moschino 2015). Оцінювали характеристики маси мідій, попередньо осушених на фільтрувальному папері за допомогою ваг ТВЕ-0,21 з точністю до 0,001 г: загальну масу моллюска в стулці ( $W$ , г), вологу ( $W_w$ , г) і суху ( $W_d$ , г) масу їх м'яких тканин, масу стулок ( $W_{st}$ , г). Результати вимірювань маси і розмірів мідій слугували основою для аналізу зміни пропорцій стулок моллюсків в онтогенезі та співвідношення між їх лінійними і масовими показниками:  $Y = a + L^b$ , де  $Y$  – одна із характеристик маси черепашки мідії ( $W$ ,  $W_w$ ,  $W_d$ ,  $W_{st}$ );  $L$  – довжина,  $a$  і  $b$  – алометричні коефіцієнти, які визначаються за емпіричними даними.

Для визначення популяційних характеристик мідій донних природних поселень аналізували розмірну, фенотипічну й морфологічну структури моллюсків.

Розмірну структуру аналізували за співвідношенням між особинами різного розміру впродовж часу. В цьому дослідженні як основну характеристику розміру використано довжину черепашки мідії. Визначали середню, мінімальну та максимальну довжину моллюска за роками.

Морфологічну структуру поселень мідій аналізували за співвідношенням груп моллюсків, виділених за характером розвитку призматичного шару черепашки в районі лігаменту, у зв'язку із чим мідії були поділені на дві групи:  $G_A$  – призматичний шар прилягає до заднього кінця лігаменту,  $G_B$  – призматичний шар у вигляді клина заходить під задню частину лігаменту (Золотарев, и Шурова 1997). Частку кожного морфологічного типу ( $y$  %) обчислювали від загальної кількості моллюсків у виборці. Мідій морфологічного типу  $G_B$  розглядали як *trossulus*-подібні, оскільки за морфологією черепашки (наявність під німфою зовнішнього призматичного шару) вони схожі з *M. trossulus* із Каліфорнійської затоки, де нещодавно інтродукована чорноморська мідія *M. galloprovincialis*. Чорноморські моллюски морфологічного типу  $G_A$  розглядалися як *galloprovincialis*-подібні.

Фенотипи мідій за наявністю фіолетового пігменту в призматичному шарі черепашок виявляли після видалення периостракума. За забарвленням зовнішнього призматичного шару черепашок чорноморські мідії діляться на три групи: темно-фіолетові особини із синьо-фіолетовим забарвленням зовнішнього шару ( $Fb$ ), коричневі особини без включень фіолетового пігменту ( $Fa$ ), частіше темно-коричневі смугасті мідії з наявними пігментованими і непігментованими радіальними ділянками ( $Fc$ ) черепашки (Шурова, и Золотарев 2008).

**Статистична обробка даних.** Статистичну обробку отриманих даних, дисперсійний (ANOVA) і кореляційний аналізи, порівняння ліній регресії

виконували з використанням пакета прикладних програм *Statgraphics Plus 5.0. for Windows*. Відмінності однойменних залежностей, отримані для поселень мідії з різних районів, вважали значущими, якщо порівнювані лінії регресії розрізнялися кутом нахилу або одна з них значимо перевищувала іншу за рівня значущості не менше ніж 95 % і високого значення критерію Фішера ( $F_{\text{факт.}}$ ).

**Результати та обговорення**

У Тилігульському лимані поселення мідій характеризуються нерегулярним і малочисельним поповненням молоддю. Мінімальна довжина мідій змінювалася від 16,2 мм у 2002 р. до 36,7 мм у 2010 р. у відібраних якісних пробах мідій.

Поселення молюсків представлено у вигляді рідких, невеликих друз, розташованих на мулистих ґрунтах із піску та черепашнику, в яких переважали великі особини. Довжина мідії в поселеннях значно коливається – від 16,2 до 98,4 мм, середні її значення змінюються за роками в широких межах – від 46,01 до 72,2 мм (табл. 1). Якщо протягом 2002–2010 рр. максимальний розмір мідій варіював з 92,6 до 98,4 мм, то у 2021–2024 рр. зменшився до 84,5 мм, у 2025 р. особини довжиною понад 60 мм були відсутні. Зменшення максимального розміру є наслідком заморних явищ, що мають місце влітку в Тилігульському лимані, тому що великі та маленькі особини гинуть через нестачу кисню частіше.

Середня волога маса м'яких тканин мідій змінювалася впродовж часу відповідно до середньої довжини черепашок: мінімальні її показники становили 0,868 г, максимальні – 7,907 г (табл. 1). Середня суха маса м'яких тканин варіює незначно – від 0,161 до 2,693 г, достовірно не розрізняється в часі. Середня маса стулок змінюється за роками від 1,629 до 7,884 г ( $F = 7,93$ ;  $p = 0,0006$ ).

Для з'ясування мінливості розмірної структури мідій визначали частку молюсків за розмірними класами по довжині черепашки з інтервалом 10 мм (від 10 до 100 мм) за аналізований період часу (табл. 2). Модальні класи за довжиною мідій змінювалися протягом часу. Так, частка мідій розмірного класу 20–30 мм домінувала лише у 2002 р., 40–50 мм – у 2021 та 2025 рр., 70–90 мм – у 2007, 2010 і 2023 рр. У 2002 і 2007 рр. виявлено максимальну кількість розмірних класів (8) мідій за довжиною черепашки, у 2021 р. зафіксовані лише 4 (табл. 2). Таким чином, наявність у 2002 р. в донних поселеннях мідій довжиною 10–30 мм свідчить про поповнення Тилігульського лиману осілою молоддю на початку весни 2002 р.

Внутрішньовидова мінливість форми та товщини черепашок у двостулкових молюсків пов'язана з різноманітністю факторів: типом ґрунту, щільністю поселень, трофічними умовами, хвильовим впливом і хижакками. Як маркер екологічного благополуччя за аналізований період часу були використані морфометричні параметри, пов'язані з розмірними характеристиками мідій: довжиною, шириною та товщиною черепашки, на основі яких розраховані індекси, що характеризують відношення морфометричних параметрів один до одного. Ці індекси визначають геометрію черепашки, яка формується під впливом різних екологічних факторів, зокрема солоності, вмісту основних біогенних елементів – азоту та фосфору, які змінювалися впродовж 2000-х років у лимані.

Для порівняння стану мідій донних природних поселень Тилігульського лиману аналізували їх популяційні характеристики за два періоди часу: 1-й період – з 2002–2010 рр.; 2-й період – з 2021–2025 рр. Визначено, що середня довжина, ширина

Таблиця 1

**Популяційні характеристики мідій в Тилігульському лимані протягом 2002–2025 рр.**

Показник	Рік							
	2002	2007	2010	2021	2023	2024	2025	
<i>h</i> , м	6	5	5	4	5	5	1,6	5
<i>L</i> <sub>серед</sub>	47,96 ± 3,99	70,97 ± 1,86	72,20 ± 1,77	46,01 ± 0,89	59,33 ± 1,72	64,30 ± 2,24	37,73 ± 1,09	46,86 ± 1,06
<i>L</i> <sub>мін</sub> – <i>L</i> <sub>макс</sub>	16,2–98,4	26,3–95,1	36,7–92,6	31,8–66,2	20,3–77,8	31,5–84,5	20,5–51,3	26,6–59,9
<i>H/B</i>	1,312 ± 0,041	1,334 ± 0,016	–	1,50 ± 0,01	1,43 ± 0,023	1,42 ± 0,017	1,58 ± 0,16	1,54 ± 0,02
<i>H/L</i>	0,595 ± 0,014	0,547 ± 0,005	–	0,583 ± 0,004	0,542 ± 0,004	0,539 ± 0,006	0,57 ± 0,005	0,57 ± 0,004
<i>B/L</i>	0,461 ± 0,013	0,414 ± 0,005	–	0,390 ± 0,004	0,381 ± 0,003	0,381 ± 0,003	0,36 ± 0,003	0,37 ± 0,003
<i>W</i> <sub>в</sub>	5,136 ± 0,683	–	–	3,106 ± 0,326	6,109 ± 0,367	7,907 ± 0,630	0,868 ± 0,114	2,037 ± 0,147
<i>W</i> <sub>д</sub>	0,959 ± 0,12	–	–	0,806 ± 0,075	1,211 ± 0,084	2,693 ± 0,203	0,161 ± 0,026	0,409 ± 0,033
<i>W</i> <sub>ст</sub>	6,063 ± 1,081	–	–	2,554 ± 0,228	6,493 ± 0,491	7,884 ± 0,692	1,629 ± 0,191	2,630 ± 0,167
<i>D</i> <sub>GB</sub> <sup>а</sup> , %	–	5,0	2,0	31,9	12,1	31,7	14,9	54,8
<i>D</i> <sub>Fa</sub> <sup>а</sup> , %	–	15,0	10,2	20,3	20,7	14,6	6,4	14,3
<i>D</i> <sub>Fb</sub> <sup>а</sup> , %	–	55,0	36,7	0	19,0	9,8	19,2	9,5
<i>D</i> <sub>Fc</sub> <sup>а</sup> , %	–	30,0	53,1	79,7	60,3	75,6	74,5	76,2

**Примітка – тут та в табл. 3:** *h* – глибина, м; *L* – довжина стулки, мм; *H/B* – співвідношення висоти і товщини черепашки, мм; *H/L* – коефіцієнт видовженості; *B/L* – коефіцієнт опуклості, *W*<sub>в</sub> – волога маса м'яких тканин, *W*<sub>д</sub> – суха маса м'яких тканин; *W*<sub>ст</sub> – маса стулок молюска; морфотип, частка, %: *D*<sub>GB</sub> – *trossulus*-подібні; фенотип, частка особин, %: *D*<sub>Fa</sub> – коричневі; *D*<sub>Fb</sub> – темно-фіолетові; *D*<sub>Fc</sub> – смугасті.

Таблиця 2

## Розподіл частки мідій (%) за розмірними групами в донних поселеннях Тилігульського лиману

Рік	n	Розмірна група моллюсків, мм								
		10–20	20–30	30–40	40–50	50–60	60–70	70–80	80–90	90–100
2002	39	7,7	25,6	10,3	18,0	10,3	2,6	7,7	10,3	7,7
2007	102	–	2,9	11,8	2,0	3,9	12,8	24,5	36,3	5,9
2010	49	–	–	4,1	–	14,3	44,9	22,5	2,0	–
2021	69	–	–	18,8	55,1	23,2	2,9	–	–	–
2023	58	–	3,5	3,5	13,8	27,6	22,4	29,3	–	–
2024	41	–	–	9,9	7,3	12,2	34,2	22,0	14,6	–
2025	47	–	19,2	42,6	36,2	2,1	–	–	–	–
	80	–	2,5	11,3	55,0	31,3	–	–	–	–

Таблиця 3

## Середні мас-розмірні характеристики мідій Тилігульського лиману за аналізовані періоди часу

Показник	Період часу		F-value	p-value
	1 (2002–2010 рр.)	2 (2021–2025 рр.)		
<i>L</i>	64,61 ± 1,94	49,75 ± 0,77	64,55	< 0,0001
<i>H</i>	37,61 ± 0,98	27,98 ± 0,36	123,02	< 0,0001
<i>B</i>	28,81 ± 0,77	18,95 ± 0,31	194,87	< 0,0001
H/B	1,326 ± 0,016	1,497 ± 0,009	101,49	< 0,0001
H/L	0,563 ± 0,006	0,567 ± 0,002	0,54	0,462
B/L	0,430 ± 0,006	0,381 ± 0,002	92,1	< 0,0001
<i>W<sub>w</sub></i>	5,136 ± 0,683	5,085 ± 0,306	0,01	0,9370
<i>W<sub>d</sub></i>	0,959 ± 0,120	1,073 ± 0,064	0,83	0,3640
<i>W<sub>st</sub></i>	6,061 ± 1,081	5,151 ± 0,387	0,97	0,3259

та товщина двох стулок мідій у поселеннях розрізняються між періодами дослідження (табл. 3). Аналіз співвідношення висоти до довжини (коефіцієнт видовженості) черепашки мідії не виявив їх відмінностей, за опуклістю (співвідношення товщини до довжини) форма черепашок мідій розрізняється в часі. Також мають відмінності співвідношення висоти до товщини (*H/B*) черепашок (див. табл. 3). Визначено, що індекс опуклості нижчий у моллюсків, відібраних у 2-й період, що свідчить про зниження захисних властивостей мідій у формуванні її скелета (черепашки), тому що найбільш широка форма черепашки сприяє кращому захисту від несприятливих умов навколишнього середовища, у тому числі розподіл моллюсків на поверхні м'якого ґрунту (пісок, мул), характерного для Тилігульського лиману. Це відображає адаптацію мідії до проживання на м'яких ґрунтах в умовах постійного накопичення мулу та небезпеки надмірного занурення в нього.

На підтвердження зниження захисних властивостей скелета – черепашки мідії в Тилігульському лимані слугує також порівняння рівнянь регресії залежності маси черепашки від її довжини, які достовірно відрізняються для двох інтервалів часу, що аналізуються ( $R^2 = 88,3$ ;  $SE = 0,66$ ):

$$W_s = 0,257 \times L - 6,258 \quad \text{для 1-го періоду;}$$

$$W_s = 0,250 \times L - 8,535 \quad \text{для 2-го періоду.}$$

На підставі отриманих емпіричних залежностей розрахована маса черепашки у 2002–2010 рр. становила 4,022 г за довжини мідії 40 мм, а в 2021–2025 рр. для цієї довжини моллюска – лише 1,465 г.

Відомо, що хімічний склад, кристалічні структури та вміст білка в кальцифікованому скелеті визначають не лише його фізичні властивості з погляду жорсткості та стійкості до умов навколишнього середовища, але й енергетичні витрати на формування черепашки (Palmer 1983, 1992; Meng et al. 2018). Якщо витрати на кальцифікацію зростають, енергетичний бюджет організму може стати незбалансованим, що вплине на його фізіологію. Наприклад, у Балтійському морі мідії, що мешкають у ділянках із більшим рівнем солоності, формують черепашки меншого розміру та товщини. Такі черепашки характеризуються нижчою механічною міцністю, що зумовлено значним зростанням енергетичних витрат на процеси формування скелетних структур у міру підвищення солоності середовища (Clark 2020). Енергетичні витрати, пов'язані з процесами біомінералізації у двостулкових моллюсків, можуть досягати приблизно 31–60 % від загальної кількості енергії, отриманої з їжі (Sanders et al. 2018). Таким чином, зі збільшенням рівня солоності вод Тилігульського лиману від 13–17 ‰ впродовж 2002–2010 рр. (Адобовский, и Ланин 2014) до

28–30 % впродовж 2015–2025 рр. (Богатова, Кірса нова, та Секундяк 2019) у мідій спостерігається тенденція до формування черепашок із тоншими стінками. Це свідчить про довготривалі морфологічні зміни, зумовлені підвищенням енергетичних витрат на біомінералізацію в умовах зростаючої солоності.

На основі емпіричних даних були розраховані регресійні рівняння, що описують залежність вологої маси ( $W_w$ ) та сухої маси ( $W_d$ ) м'яких тканин мідій від довжини моллюсків:

$$W_w = 0,16 \times L - 2,543 \quad \text{для 1-го періоду;}$$

$$W_w = 0,20 \times L - 5,875 \quad \text{для 2-го періоду}$$

( $R^2 = 87,8$ ;  $SE = 1,18$ );

$$W_d = 0,024 \times L - 0,176 \quad \text{для 1-го періоду;}$$

$$W_d = 0,039 \times L - 0,043 \quad \text{для 2-го періоду}$$

( $R^2 = 69,8$ ;  $SE = 0,36$ ).

Отримані результати свідчать про значну мінливість морфологічних характеристик мідій, відібраних у різні роки з донних поселень лиману, що відображає вплив змін середовища на їхній ріст та біомасу.

Аналіз за розподілом фіолетового пігменту в призматичному шарі зовнішньої поверхні черепашки не виявив достовірних відмінностей для частки коричневих мідій ( $F_a$ ). Частка моллюсків фенотипу  $F_a$  в поселеннях у середньому змінювалася від 11,6 % упродовж 2002–2010 рр. до 17,9 % у 2021–2025 рр. Найменша частка цього фенотипу відзначена у 2025 р., яка становила 6,4 % на глибині 1,6 м. Частка моллюсків темно-фіолетового фенотипу  $F_b$  варіювала від 55 % у 2007 р. до повної відсутності моллюсків цього фенотипу у 2021 р. За останні роки частка темно-фіолетових мідій зменшилася: якщо у 2002–2010 рр. їх частка становила  $42,0 \pm 0,06$  %, то впродовж 2021–2025 рр. знизилася до  $10,1 \pm 0,02$  % ( $F = 40,40$ ;  $p < 0,0001$ ). Частка смугастих моллюсків фенотипу  $F_c$  в поселеннях мідій збільшилася від 46,4 % у 2002–2010 рр. до 72,0 % у 2021–2025 рр. ( $F = 15,78$ ;  $p = 0,0001$ ).

Отримані дані розподілення мідій за наявністю фіолетового пігменту в призматичному шарі зовнішньої поверхні черепашки відповідають закономірностям, зафіксованим для донних природних поселень моллюска в акваторії Чорного моря. Так, зі збільшенням солоності морської води частка моллюсків темно-фіолетового фенотипу  $F_b$  знижується, смугастих моллюсків фенотипу  $F_c$  – зростає, а мідії фенотипу  $F_a$  є найбільш еврігалінними, тому їх кількість розрізняється незначно (Шутова 2013).

Аналіз морфологічної структури мідій, виділених за характером розвитку призматичного шару черепашки в зоні лігаменту, виявив, що кількість мідій морфологічного типу  $G_B$  змінюється за роками в середньому від 3,94 % до майже 38,6 % за аналізовані періоди часу, достовірно збільшуючись в останні роки ( $F = 35,51$ ;  $p < 0,0001$ ). Раніше визначено, що індекс висоти черепашки у мідій морфологічного типу  $G_B$  значно менший, ніж  $G_A$ , тобто

чим більша кількість мідій морфологічного типу  $G_B$  перебуває у поселенні моллюска, тим менше середнє значення індексу висоти для мідій цього поселення (Шутова 2013). Тому зниження середнього індексу висоти черепашки у 2021–2025 рр. залежить від збільшення частки мідій морфологічного типу  $G_B$  в поселеннях Тилігульського лиману.

### Висновки

Порівняльний аналіз популяційної структури мідій із донних поселень Тилігульського лиману виявив особливості розмірних і морфологічних характеристик моллюска, що змінюються за роками.

Природні донні поселення мідії *M. galloprovincialis* у Тилігульському лимані представлені невеликими розрідженими друзами на мулуватому-піщаних ґрунтах із домішками черепашнику. У цих поселеннях переважають великі особини. Так, протягом 2002–2025 рр. довжина черепашки мідії коливалася в межах 16,2–98,4 мм, при цьому максимальний розмір моллюсків зменшився з 98,4 мм у 2002 році до 59,9 мм у 2025 р.

За аналізований період часу виявлено спрощення розмірної структури популяції мідії *M. galloprovincialis* у Тилігульському лимані. Кількість розмірних класів мідій (з інтервалом 10 мм у діапазоні від 10 до 100 мм) зазнала змін: якщо у 2002 р. було зафіксовано вісім класів, то у 2025 році їхня кількість скоротилася до чотирьох.

Середня довжина, ширина та товщина черепашки мідії в поселеннях розрізняються між періодами дослідження. Форма черепашок за опуклістю (співвідношення товщини до довжини) змінюється за роками, зменшуючись від 0,43 у 2002–2010 рр. до 0,38 у 2021–2025 рр. Співвідношення висоти до товщини черепашки мідії ( $H/B$ ) розрізняється в часі, збільшується від 1,33 у 2002–2010 рр. до 1,50 у 2021–2025 рр. Таким чином, зміну форми черепашки можливо розглядати як адаптивну відповідь популяції мідії *M. galloprovincialis* на динаміку екологічних умов Тилігульського лиману протягом часу.

Результати цього дослідження підкреслюють, що зміни екологічних умов Тилігульського лиману впливають на морфологію мушель *M. galloprovincialis*, на співвідношення груп мідій за розподілом фіолетового пігменту в призматичному шарі зовнішньої поверхні та за характером розвитку призматичного шару черепашки в зоні лігаменту, що підтверджує значну фенотипічну пластичність цього виду.

**Подяки.** Автор висловлює глибоку подяку співробітникам ДУ «Інститут морської біології НАН України» О. П. Куракіну та О. М. Куракіній за допомогу у зборі й обробці проб мідій.

Робота виконана в рамках теми «Закономірності формування продукційного потенціалу Азово-Чорноморських екосистем під впливом природних та антропогенних змін» (постанова Бюро ВЗБ НАН України від 29.09.2020 № 5, № держ. реєстр. 0121U109750).

Список використаних джерел

1. Адобовский В.В., Ланин В.И. Гидроэкологическая характеристика и проблемы Тилигуло-Бережанской рекреационной зоны. *Лимани північно-західного Причорномор'я: сучасний гідроекологічний стан, проблеми водного та екологічного менеджменту та шляхи їх вирішення* : матеріали Всеукр. наук.-практ. конф., м. Одеса, 1–2 жовтня 2014 р. Одеса : ТЕС, 2014. С. 13–15.
2. Богатова Ю.І., Кірсанова О.В., Секундяк Л.Ю. Сучасний гідрохімічний режим деяких лиманів північно-західного Причорномор'я. *Перспективи гідроекологічних досліджень в контексті проблем довкілля та соціальних викликів* : матеріали VIII з'їзду Гідроекологічного товариства України, 6–8 листопада 2019 р. Київ, 2019. С. 236–240.
3. Варігін О.Ю. Особливості стану макрозообентосу Тилігульського лиману (північне Причорномор'я) у 2021 році. *Морський екологічний журнал*. 2023. № 1–2. С. 7–15. DOI: 10.47143/1684-1557/2023.1-2.1
4. Водні ресурси та гідроекологічний стан Тилігульського лиману / Ю.С. Тучковенко та ін. ; за ред. Ю.С. Тучковенка, Н.С. Лободи. Одеса : ТЕС, 2014. 277 с.
5. Гринбарт С.Б. К изучению зообентоса Тилигульского лимана и его кормовых ресурсов. Одесский госуниверситет. *Сборник биологического факультета*. 1953. № 4. С. 85–105.
6. Золотарев В.Н., Шурова Н.М. Соотношение призматического и перламутрового слоев в раковинах мидий *Mytilus trossulus*. *Биология моря*. 1997. Т. 23, № 1. С. 26–30.
7. Мороз Т.Г. Макрозообентос лиманов и низовьев рек Северо-Западного Причерноморья. Киев : Наукова думка, 1993. 187 с.
8. Одесский регион Черного моря: гидробиология пелагиали и бентали / Л.В. Воробьева и др. ; отв. ред. Б.Г. Александров. Одесса : Астропринт, 2017. 324 с.
9. Перспективи рибогосподарського використання лиманів північно-західного Причорномор'я / за ред. П.В. Шекка, М.І. Бургаз. Житомир : ТОВ «505», 2021. 218 с.
10. Снігір'єва А.О., Богатова Ю.І. Фітопланктон Тилігульського лиману в умовах зміни режиму солоності. *Морський екологічний журнал*. 2020. Т. XIV, № 2. С. 31–38. DOI: 10.47143/1684-1557/2020.2.04.
11. Старушенко Л.И., Бушуев С.Г. Причерноморские лиманы Одесщины и их рыбохозяйственное использование. Одесса : Астропринт, 2001. 152 с.
12. Тучковенко О.А., Синегуб И.А. Характеристика макрозообентоса Тилигульского лимана. *Лимани північно-західного Причорномор'я: сучасний гідроекологічний стан, проблеми водного та екологічного менеджменту та шляхи їх вирішення* : матеріали Всеукр. наук.-практ. конф., м. Одеса, 1–2 жовтня 2014 р. Одеса : ТЕС, 2014. С. 46–48.
13. Тучковенко Ю.С., Адобовский В.В., Тучковенко О.А. Современный гидрологический режим и динамика вод Тилигульского лимана. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2011. № 9. С. 192–209.
14. Тучковенко Ю.С., Богатова Ю.И., Тучковенко О.А. Гидрохимический режим Тилигульского лимана в современный период. *Вісник Одеського державного екологічного університету*. 2015. № 19. С. 126–133.
15. Тучковенко Ю.С., Тучковенко О.А. Главные гидроэкологические проблемы Тилигульского лимана. *Проблеми екології та енергозбереження*: матеріали VIII Міжнар. наук.-техн. конф. Миколаїв, 2013. С. 247–251.
16. Улізко І.В. Моллюски зообентосу пониззя Тилігульського лиману. *Вісник ОНУ*. 2003. № 8 (6). С. 82–88.
17. Шурова Н.М. Структурно-функциональная организация популяции мидий *Mytilus galloprovincialis* Черного моря. Киев : Наукова думка, 2013. 208 с.
18. Шурова Н.М., Золотарев В.Н. Анализ фенотипической структуры поселений мидий Черного моря по окраске наружного призматического слоя их раковин. *Морской экологический журнал*. 2008. Т. VII, № 4. С. 88–97.
19. Clark M.S. Molecular mechanisms of biomineralization in marine invertebrates. *Journal of Experimental Biology*. 2020. Vol. 223 (11), jeb206961. DOI: 10.1242/jeb.206961.
20. McDonald J.H., Seed R., Koehn R.K. Allozyme and morphometric characters of three species of *Mytilus* in the Northern and Southern hemispheres. *Marine Biology*. 1991. Vol. 111. P. 323–335.
21. Meng Y., Fitzer S.C., Chung P., Li C., Thiyagarajan V., Cusack M. Crystallographic Interdigitation in Oyster Shell Folia Enhances Material Strength. *Growth Crystal & Design*. 2018. Vol. 18 (7). P. 3753–3761. DOI: 10.1021/acs.cgd.7b01481.
22. Moschino V., Bressan M., Cavaleri L., Da Ros L. Shell-shape and morphometric variability in *Mytilus galloprovincialis* from micro-tidal environments: Responses to different hydrodynamic drivers. *Marine Ecology*. 2015. Vol. 36 (4). P. 1440–1453. DOI: 10.1111/maec.12244.
23. Palmer A.R. Calcification in marine molluscs: how costly is it? *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 1992. Vol. 89 (4). P. 1379–1382. DOI: 10.1073/pnas.89.4.1379.
24. Palmer A.R. Relative cost of producing skeletal organic matrix versus calcification: Evidence from marine gastropods. *Marine Biology*. 1983. Vol. 75. P. 287–292. DOI: 10.1007/BF00406014.
25. Sanders T., Schmittmann L., Nascimento-Schulze J.C., Melzner F. High calcification costs limit mussel growth at low salinity. *Frontiers in Marine Science*. 2018. Vol. 5. P. 352. DOI: 10.3389/fmars.2018.00352.
26. Varigin A.Y. Biotic links in the fouling community of Odessa Bay (Black Sea). *Biosystems Diversity*. 2018. Vol. 26 (1). P. 24–29. DOI: 10.15421/011804.

References

1. Adobovskiy, V.V., & Lanyn, V.Y. (2014). *Gidroekologicheskaya kharakteristika i problemy Tiligulo-Berezanskoj rekreatsionnoy zony* [Hydroecological characteristics and problems of the Tiligulo-Berezan recreational zone]. Proceedings from: *Vseukrayinska naukovo-praktychna konferentsiya "Lymany pivnichno-zakhidnoho Prychornomor'ya: suchasnyy gidroekologichnyy stan, problemy vodnoho ta ekolohichnoho menedzhmentu ta shlyakhy yikh vyrishennya" – All-Ukrainian Scientific and Practical Conference "Estuaries of the Northwestern Black Sea Region: Current Hydroecological State, Problems of Water and Environmental Management and Ways to Solve Them"* (pp. 13–15). Odesa: TES [in Russian].
2. Bohatova, Yu.I., Kirsanova, O.V., & Sekundiak, L.Iu. (2019). Suchasnyi hidrokhimichnyi rezhym deiakykh lymaniv pivnichno-zakhidnoho Prychornomor'ya [Current hydrochemical regime of various estuaries of the coastal waters of the Black Sea]. Proceedings from: *VIII z'ezd Hidroekologichnoho tovarystva Ukrainy "Perspektyvy gidroekologichnykh doslidzhen v konteksti problem dovkillia ta sotsialnykh vykyktiv" – VIII Congress of the Hydroecological Society of Ukraine "Prospects for hydroecological research in the context of environmental problems and social challenges"* (pp. 236–240). Kyiv [in Ukrainian].
3. Varihin, O.Iu. (2023). Osoblyvosti stanu makrozoobentosu Tylihul'skoho lymanu (pivnichne Prychornomor'ya) u 2021 rotsi [The macrozoobenthos of the Tiligul estuary (on the Black Sea coast) will become special in 2021]. *Morskyi ekolohichnyi zhurnal – Marine ecological Journal*, 1–2, 7–15 [in Ukrainian].
4. Tuchkovenko, Y.S., Loboda, N.S., Hryb, O.M., Gubanova, O.R., Khokhlov, V.M., Hopchenko, E.D., et al. (2014). *Vodni resursy ta hidroekologichnyi stan Tylihul'skoho lymanu* [Water resources and hydroecological state of the Tylihul estuary]. Odesa: TES [in Russian].
5. Grinbart, S.B. (1953). K izucheniyu zoobentosa Tiligul'skoho limana i ego kormovyih resursov [To the study of zoobenthos of the Tiligul estuary and its food resources]. *Odesskiy gosuniversitet. Sbornik biologicheskogo fakulteta – Odessa State University. Collection of the Faculty of Biology*, 4, 85–105 [in Russian].
6. Zolotapev, V.N., & Shupova, N.M. (1997). Sootnoshenye pryzmatycheskoho y perlamutpovoho sloev v pakovynakh mydyi *Mytilus trossulus* [The ratio of prismatic and nacreous layers in mussel shells *Mytilus trossulus*]. *Byolohiya mopia – Marine biology*, 23 (1), 26–30 [in Russian].
7. Moroz, T.G. (1993). *Makrozoobentos limanov i nizovyev rek severo-zapadnogo Prichernomor'ya* [Macrozoobenthos of estuaries and lower reaches of rivers in the northwestern Black Sea region]. Kyiv: Naukova Dumka [in Russian].
8. Vorobyova, L.V., Kulakova, I.I., Synyogub, I.A., Polyschuk, L.N., Nesterova, D.A., Bondarenko, A.S., et al. (2017). *Odesskiy region Chernogo moria: gidrobiologiya pelagialii i bentali* [Odessa region of the Black Sea: hydrobiology of pelagic and benthic areas]. Odesa: Astroprint [in Russian].
9. Serbov, M.G., Tuchkovenko, O.A., Matvienko, T.I., Soborova, O.M., Bezyk, K.I., & Lichna, A.I. (2021). *Perspektyvy rybohospodarskoho vykorystannia lymaniv pivnichno-zakhidnoho Prychornomor'ya* [Prospects for the fishery use of estuaries of the northwestern Black Sea region: monograph]. Zhytomyr: TOV "505" [in Ukrainian].
10. Snihirova, A.O., & Bohatova, Yu.I. (2020). Fitoplankton Tylihul'skoho lymanu v umovakh zminy rezhymu solonosti [Phytoplankton of Tiligul'sky liman in conditions of change of salt regime]. *Morskyi ekolohichnyi zhurnal – Marine ecological journal*, XIV (2), 31–38 [in Ukrainian].
11. Starushenko, L.I., Bushuev, S.G. (2001). *Prichernomorskiye limany Odesshchiny i ikh rybokhozyaystvennoye ispolzovaniye* [Black Sea estuaries of Odessa region and their fishery use]. Odesa: Astroprint [in Russian].
12. Tuchkovenko, O.A., Synegub, I.A. (2014). *Kharakterystyka makrozoobentosa Tylihul'skoho lymana* [Characteristics of the macrozoobenthos of the Tylihul estuary]. Proceedings from: *Vseukrayinska naukovo-praktychna konferentsiya "Lymany pivnichno-zakhidnoho Prychornomor'ya: suchasnyy gidroekologichnyy stan, problemy vodnoho ta ekolohichnoho menedzhmentu ta shlyakhy yikh vyrishennya" – All-Ukrainian Scientific and Practical Conference "Estuaries of the Northwestern Black Sea Region: Current Hydroecological State, Problems of Water and Environmental Management and Ways to Solve Them"* (pp. 46–48). Odesa: ODEKU [in Russian].
13. Tuchkovenko, Yu.S., Adobovskiy, B.B., & Tuchkovenko, O.A. (2011). *Sovremennyy gidrologicheskyy rezhim i dinamika vod Tiligul'skogo limana* [Modern hydrological regime and dynamics of waters of the Tiligul estuary]. *Ukrainskiy hidrometeorologichnyi zhurnal – Ukrainian Hydrometeorological Journal*, 9, 192–209 [in Russian].
14. Tuchkovenko, Yu.S., Bohatova, Yu.Y., & Tuchkovenko, O.A. (2015). *Gidrokhimicheskyy rezhim Tiligul'skogo limana v sovremennyi period* [Hydrochemical regime of the Tiligul estuary in the modern period]. *Visnyk Odeskoho derzhavnogo ekolohichnoho universytetu – Bulletin of the Odessa State Ecological University*, 19, 126–133 [in Russian].
15. Tuchkovenko, Yu.S., & Tuchkovenko, O.A. (2013). *Glavnyye gidroekologicheskyye problemy Tiligul'skogo limana* [The main hydroecological problems of the Tiligul estuary]. Proceedings from: *VIII mizhnarodna naukovo-tekhnichna konferentsiya "Problemy ekolohii ta enerhozberezhennia" – VIII International Scientific and Technical Conference "Problems of Ecology and Energy Saving"* (pp. 247–251). Mykolayiv [in Russian].

16. Ulizko, I.V. (2003). Molyusky zoobentosu ponyzzya Tylihulskoho lymanu [Zoobenthos molluscs from the bottom of the Tyligul estuary]. *Visnyk ONU – ONU Bulletin*, 8 (6), 82–88 [in Ukrainian].
17. Shurova, N.M. (2013). *Strukturno-funkcionalnaya organizatsiya populatsii midii Mytilus galloprovincialis Chornogo moria [Structural and functional organization of the Black Sea mussels Mytilus galloprovincialis]*. Kiev: Naukova Dumka [in Russian].
18. Shurova, N.M., & Zolotarev, V.N. (2008). Analiz fenotipicheskoy struktury poselenij midij Chernogo morja po okraske naruzhnogo prizmatischekogo sloja ih rakovin [Analysis of the phenotypic structure of settled Black Sea mussels based on the color of the outer prismatic layer of their shells]. *Morskoy ekologicheskiy zhurnal – Marine ecological journal*, VII (4), 88–97 [in Russian].
19. Clark, M.S. (2020). Molecular mechanisms of biomineralization in marine invertebrates. *Journal of Experimental Biology*, 223 (11), jeb206961.
20. McDonald, J.H., Seed, R., & Koehn, R.K. (1991). Allozyme and morphometric characters of three species of *Mytilus* in the Northern and Southern hemispheres. *Marine Biology*, 111, 323–335.
21. Meng, Y., Fitzer, S.C., Chung, P., Li C., Thiagarajan, V., & Cusack, M. (2018). Crystallographic Interdigitation in Oyster Shell Folia Enhances Material Strength. *Growth Crystal & Design*, 18 (7), 3753–3761.
22. Moschino, V., Bressan, M., Cavaleri, L., & Da Ros, L. (2015). Shell-shape and morphometric variability in *Mytilus galloprovincialis* from micro-tidal environments: Responses to different hydrodynamic drivers. *Marine Ecology*, 36 (4), 1440–1453.
23. Palmer, A.R. (1992). Calcification in marine molluscs: how costly is it? *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 89 (4), 1379–1382.
24. Palmer, A.R. (1983). Relative cost of producing skeletal organic matrix versus calcification: Evidence from marine gastropods. *Marine Biology*, 75, 287–292.
25. Sanders, T., Schmittmann, L., Nascimento-Schulze, J.C., & Melzner, F. (2018). High calcification costs limit mussel growth at low salinity. *Frontiers in Marine Science*, 5 (352).
26. Varigin, A.Y. (2018). Biotic links in the fouling community of Odessa Bay (Black Sea). *Biosystems Diversity*, 26 (1), 24–29.

## STATE OF MUSSEL SETTLEMENTS MYTILUS GALLOPROVINCIALIS LAMARCK, 1819 IN THE TYLIHUL ESTUARY

**Stadnichenko S.V.**, Ph.D., Senior Researcher

Institute of Marine Biology of the NAS of Ukraine, svestad63@gmail.com

The Tylihul Estuary is one of the largest in the northwestern part of the Black Sea. The article presents a comparative analysis of the population structure of mussels from benthic natural settlements of the Tylihul Estuary during 2002–2025. Mussel length in the settlements ranges from 16.2 to 98.4 mm, with average values varying by year from 46.01 to 72.2 mm. The average weight of raw mussel meat changed over time: minimum values were 0.868 g, maximum 7.907 g. To compare the condition of mussels in the settlements of the Tylihul Estuary, their population characteristics were analyzed for two time periods: Period 1 (2002–2010); Period 2 (2021–2025). It was determined that the average length, width, and thickness of mussel shells differ between the study periods: the convexity index is lower in mollusks sampled in Period 2, indicating a decrease in the protective properties of mussels in the formation of their skeleton. Based on empirical data, regression equations were calculated for the relationship between the mass of soft tissues ( $W_w$ ), dry tissues ( $W_d$ ), and shell mass relative to mussel length for each period. It was found that at a mussel length of 40 mm, the calculated shell mass in 2002–2010 was 4.022 g, while in 2021–2025 for the same length it was only 1.465 g. Thus, mussel shells have become thinner in recent years. Analysis of phenotype distribution by the presence of violet pigment in the prismatic layer of the mussel's outer surface over time shows no differences in the proportion of brown mussels, while the share of blue mussels decreased and the proportion of striped mollusks increased in recent years. The morphological structure of mussels, distinguished by the development of the prismatic layer of the shell in the ligament area, also differs: the proportion of mussels of morphological type  $G_B$  varied on average from 3,94% to almost 38,6% over the analyzed periods, significantly increasing during 2021–2025. It was determined that changes in the hydrochemical regime of the Tylihul Estuary affect the morphology of *M. galloprovincialis* shells in benthic natural settlements.

**Key words:** Tylihul Estuary, *Mytilus galloprovincialis*, mass–size relationships, shell morphology, phenotype.

Дата першого надходження рукопису до видання: 16.10.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 20.11.2025

Дата публікації: 16.12.2025