

## ДИНАМІКА ПОПУЛЯЦІЙНОЇ СТРУКТУРИ МІДІЇ *MYTILUS GALLOPROVINCIALIS* LAM. У ДОННИХ ПРИРОДНИХ ПОСЕЛЕННЯХ ОДЕСЬКОГО РЕГІОНУ ЧОРНОГО МОРЯ В 2005–2020 РР.

Стадніченко С.В. – к.б.н., с.н.с.

ДУ «Інститут морської біології Національної академії наук України»

svestad63@gmail.com

У статті наводяться результати порівняльного аналізу популяційних характеристик – біомаси та чисельності, загальної річної продукції, *P/B*-коефіцієнта, виживання мідії *Mytilus galloprovincialis* Lam. з донних поселень відкритої частини і прибережжя Одеського морського регіону за період 2005–2020 рр. залежно від глибини (6–23 м), типу ґрунту (м'який – мул, пісок, черепашник, твердий – каміння та скелі), гідрохімічних показників водного середовища та донних відкладів.

Чисельність мідій у поселеннях змінювалася від 74 до 5220 екз·м<sup>-2</sup>, становлячи у середньому 1104±131 екз·м<sup>-2</sup>. На динаміку чисельності впливає прозорість морської води, вміст фосфатів і важких металів – купруму і цинку в донних відкладах. Біомаса мідій варіювала від 57,7 г·м<sup>-2</sup> до 17510 г·м<sup>-2</sup> на м'яких субстратах до 28849,7 г·м<sup>-2</sup> на твердому субстраті, змінюючись за роками.

Загальна річна продукція змінюється в широкому діапазоні – від 31,1 г·м<sup>-2</sup> рік<sup>-1</sup> у поселеннях мулу до 11066 г·м<sup>-2</sup> рік<sup>-1</sup> у поселеннях твердого субстрату, відрізняючись за типом ґрунту. На динаміку загальної річної продукції мідій впливає прозорість морської води, вміст завислої форми важких металів – купруму і нікелю у воді, нікелю у донних відкладах, вмісту загального фосфору і завислої речовини. Обґрунтовані рівняння регресії залежності річної загальної продукції мідій донних поселень від типу субстрату.

Річний *P/B*-коефіцієнт у донних поселеннях мідії відкритої частини Одеського району змінювався від 0,38 до 1,58, у середньому становив 0,70.

Загальна середня маса особини на різних типах субстрату – мул, пісок, черепашник, каміння, змінювалася від 0,277 г до 8,088 г, у середньому становила 2,822±0,163 г.

Температура води на поверхні, солоність і вміст розчиненого кисню придонного шару впливають на фенотипічну структуру мідій у поселеннях.

Для можливості отримувати експресні прогностичні оцінки рівня виживання мідій у донних поселеннях на різних типах субстрату визначені залежності між виживаністю та середньою масою особини у поселенні.

**Ключові слова:** *Mytilus galloprovincialis*, міжрічна динаміка, продукція, виживаність, тип ґрунту, гідрохімічні показники середовища.

### Вступ

Однією з основних загроз для мілководної північно-західної частини Чорного моря є антропогенне евтрофування, яке впливає на донні угруповання (Alexandrov, and Zaitsev 1998; Zaitsev, and Mamaev, 1997; Зайцев, и Поликарпов 2002). Антропогенна евтрофікація морських вод внаслідок надлишкового надходження біогенних речовин з річковим стоком може бути джерелом дефіциту кисню, в тому числі і гіпоксії придонних вод, яка виникає, коли швидкість біохімічного споживання кисню перевищує швидкість його надходження внаслідок фізичних чи біологічних процесів (Северо-западная... 2006; Заика, Коновалов, и Сергеева 2011). У прибережній зоні моря гіпоксія, що викликає заморні явища, відбувається практично щорічно (Гаркавая, Богатова, и Гончаров 2006; Берлинский, и Попов 2018) і викликає зміни у структурно-функціональних показниках бентосних угруповань (Alexandrov et al., 2001; Шурова, Варигин, и Стадніченко 2004; Заика, Коновалов, и

Сергеева 2011; Стадніченко, Шурова, и Золотарев 2013; Одесский регион ... 2017). Однак стан екосистеми Чорного моря залежить не тільки від складу та кількості забруднюючих речовин, а й від життєдіяльності гідробіонтів, які здійснюють біомеліоративну функцію, зокрема фільтрацію морської води (Говорин, и Шаццлло 2009; Kotta et al. 2020). Одним із таких організмів-фільтраторів є чорноморська мідія, потужний фільтраційний потенціал якої сприяє зниженню евтрофування та забруднення прибережних морських вод (Говорин, Шаццлло, та Нідзвєцька 2015).

Двостулковий моллюск мідія *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819 мешкає в найрізноманітніших умовах – в обростаннях природних і штучних твердих субстратів (скелі, камені, гідроспоруди), на поверхні донних відкладів з різним гранулометричним складом (пісок, черепашник, замулені ґрунти) в різних умовах по глибині, температурі, вмісту кисню, солоності та інших факторів середовища. Цей моллюск значно впливає на склад

і структуру біотопу, в якому проживає (Gutierrez et al. 2003; Варигин 2018). Черепашки мідій є елементом мікрорельєфу дна, які збільшують неоднорідність місць життя для дрібніших організмів бентосу (Cinar et al. 2008; Norling et al. 2015).

Одним зі складників у виявленні продукційного потенціалу морських акваторій північно-західної частини Чорного моря залежно від інтенсивності дії антропогенних факторів та кліматичних змін є аналіз продуктивності мідій в різних умовах існування. Раніше було виявлено, що продукційні характеристики мідій північно-західного шельфу Чорного моря дуже мінливі просторово (Шурова, и Стадніченко 2001; Стадніченко 2022). Відомо, що моллюски роду *Mytilus* акумулюють важкі метали і на рівень концентрації металів впливає як температура, рН і солоність, так і вік, розмір, статева структура моллюсків (Bartolomé et al. 2010; Besada et al. 2014; Richir, and Gobert 2014; Mandich 2018). Тому мета наших досліджень полягала у визначенні тенденцій тимчасової зміни популяційних характеристик і продукційних властивостей мідій донних природних поселень Одеського морського району північно-західної частини Чорного моря під впливом деяких гідролого-гідрохімічних показників морського середовища.

Основним критерієм вибору району досліджень була можливість визначення як показників популяційної структури донних поселень мідій *M. galloprovincialis*, так і гідролого-гідрохімічних характеристик морського середовища в цих локаціях. Такі дослідження проводились ДУ «Інститут морської біології Національної академії наук України» (до 2014 року – Одеський філіал Інституту біології південних морів НАН України) упродовж 2005–2012 рр. в Одеському морському районі північно-західної частини Чорного моря, який обмежений з півночі пригирловою зоною Малого Аджалицького лиману, з півдня – Сухим лиманом (Гаркавая, Богатова, и Гончаров 2006).

#### Матеріал та методи дослідження

Аналіз популяційної структури мідій з донних природних поселень з відкритої частини Одеського морського регіону (ОМР) за період 2005–2015 рр. у діапазоні глибин від 6 до 23 м на мулі, піску і черепашнику (м'які ґрунти) проводили на основі кількісних проб, відібраних дночерпаком Петерсена з площею захоплення 0,1 м<sup>2</sup> у відкритій частині моря. На твердому ґрунті (каміння, скелі) проби мідій відбиралися водолазом за допомогою облікової рамки площею 0,01 м<sup>2</sup> у районі мису Малий Фонтан, прибережна частина ОМР, у діапазоні глибини від 6,4 до 11,4 м у 2008, 2012, 2014 і 2020 рр. З огляду на нерівномірність розміщення моллюсків у поселеннях на кожній локації відбирали, як правило, 3 проби.

Проби промивали через систему сит з мінімальним розміром вічка 1 мм, усі живі мідії із зімкнутими стулками відбиралися для виявлення стандартних гідробіологічних показників – біомаси і чисельності моллюска в донних поселеннях у перерахунку на 1 м<sup>2</sup>. Біомасу мідій визначали шляхом зважування живих моллюсків разом із рідиною мантії порожнини. Координати і глибина аналізованих станцій ОМР, де відбиралися мідії, представлені у таблиці 1.

Таблиця 1

#### Координати станцій відбору проб мідій в Одеському морському регіоні у 2005–2020 рр.

Станція	Координати	Глибина, м
1	N 46 34.80; E 31 00.30	7
2	N 46 33.70; E 30 55.05	10–13
3	N 46 32.10; E 30 57.00	19–21
6	N 46 32.80; E 30 52.60	10–12
7	N 46 32.20; E 30 49.60	6–7
9	N 46 31.85; E 30 46.35	9
12	N 46 30.30; E 30 45.20	8–9
13	N 46 30.90; E 30 47.40	12–14
17	N 46 28.10; E 30 46.70	10
18	N 46 25.80; E 30 46.80	10–12
19	N 46 25.00; E 30 49.30	22–23
21	N 46 22.30; E 30 45.80	13–15
24	N 46 19.50; E 30 42.00	10–11
41	N 46 17.80; E 30 40.60	12
42	N 46 15.00; E 30 47.30	21
мис Малий Фонтан	N 46 26,472; E 30 46,387	9–10
	N 46 26,498; E 30 46,659	10,7–11,3
	N 46 26,358; E 30 46,370	6,4
	N 46 26,508; E 30 46,663	11,4

Середні значення популяційних характеристик поселень мідій за рік були отримані у разі об'єднання проб моллюска, відібраних в ОМР за аналізований період часу. Для прийняття рішення про достовірність відмінностей як критичний брали рівень значущості  $p = 0,05$ .

Розміри мідій (довжина, висота та ширина черепашок) визначали штангенциркулем з точністю до 0,1 мм. Як основний показник лінійних розмірів моллюсків була вибрана довжина ( $L$ ) їхніх стулок – довжина паралелепіпеда, в який вписуються контури черепашки мідії (Скарлато 1981).

Характер донного ґрунту визначали з переважаючої у пробі фракції, поділяючи на мул, пісок, черепашник та каміння зі скелями.

Для визначення впливу на популяційну структуру мідій донних поселень ОМР аналізували показники придонного і поверхневого шарів морського середовища: рН, температура, прозорість, солоність, розчинений кисень і частка (%) його насичення, зависла речовина (ЗВ), розчинені біогенні речовини (РБР) – мінеральні та органічні сполуки азоту та фос-

фору, кремній, розчинена органічна речовина (РОВ), вміст важких металів (розчинена і зависла форми купрум, кадмію, цинку, нікелю) та нафтопродуктів у донному ґрунті, які було виконано у відділі якості водного середовища ДУ «Інститут морської біології НАН України» упродовж 2005–2012 рр. (Доценко та ін. 2012; Дятлов, Подплетная, и Запорожец 2015; Dyatlov 2015). Окрім того, цей комплекс показників морського середовища дав можливість проаналізувати їхню сукупну дію на продукційні характеристики мідій ОМР.

Основними показниками стану популяції мідій у донних природних поселеннях були біомаса і чисельність моллюсків, річна загальна продукція, річний  $P/B$ -коефіцієнт, щорічна виживаність. Продукцію мідії розраховували за емпіричним рівнянням множинної регресії на основі даних про їх біомасу та середню масу однієї особини в окремих поселеннях (Stadnichenko, and Shurova 2000):

$$\ln P = 1,004 \cdot \ln B - 0,484 \cdot \ln W$$

$$(R^2 = 0,970; SE = 0,237),$$

де  $P$  – річна продукція,  $г \cdot м^{-2} \cdot рік^{-1}$ ,  $B$  – біомаса поселення моллюска,  $г \cdot м^{-2}$ ,  $W$  – маса однієї особини,  $г$ ;  $R^2$  – коефіцієнт детермінації,  $SE$  – стандартна помилка рівняння регресії.

Маса ( $г$ ) однієї особини розраховувалася як відношення біомаси до чисельності мідій в аналізованому поселенні.

Річний  $P/B$ -коефіцієнт моллюсків виявляли співвідношенням їх річної продукції і біомаси. Значення  $B$  у розрахунках цього коефіцієнта визначає біомасу під час відбору проб.

Щорічну виживаність мідій *M. galloprovincialis* ( $V$ ), як наочного показника смертності моллюска, обчислювали за залежністю (Стадніченко 2010):

$$V = 0,984 e^{-P/B}.$$

В аналізі розмірної структури, яка відображає рівень щорічного поповнення поселень молоддю

та смертність і тривалість життя в таких умовах середовища, визначали середню довжину мідій у поселеннях, частку моллюсків довжиною до 20 мм, які є кормовою (для риб) частиною поселень моллюска (Биология ... 1967).

Виділення фенотипів за розподілом фіолетового пігменту в призматичному шарі стулок мідій визначали після розчинення периостракуму 10–15% розчином луґу. За особливостями розподілу фіолетового пігменту у зовнішньому призматичному шарі черепашок мідій *M. galloprovincialis* виділяли три фенотипи (Шурова, и Золотарев 2008): темно-фіолетові особини із синьо-фіолетовим забарвленням зовнішнього шару ( $F_b$ ); коричневі особини зі світлим, коричнево-сірим зовнішнім шаром мушлі без включень фіолетового пігменту ( $F_d$ ); смугасті, для яких характерне чергування в зовнішньому шарі черепашки пігментованих (синьо-фіолетових) і не пігментованих (коричнево-сірих) радіальних ділянок ( $F_c$ ). Мідії перших двох груп розглядаються як гомозиготи, останньої – як гетерозиготи (Шурова 2013).

Статистичну обробку отриманих даних, дисперсійний (ANOVA) і кореляційний аналізи виконували з використанням пакета прикладних програм Statgraphics Plus for Windows.

#### Результати та обговорення

Розподіл чисельності і біомаси моллюска в донних природних поселеннях відкритої частини ОМР на м'якому ґрунті (мулі, піску та черепашнику) за аналізований період часу з 2005 по 2015 рр. виявив їх нерівномірність. Чисельність мідій у поселеннях змінювалася в широкому діапазоні – від 74 до 5220 екз·м<sup>-2</sup>, становлячи у середньому 1104±131 екз·м<sup>-2</sup> для цього району в аналізований проміжок часу, однак за цей період часу ці зміни не є достовірними. Мінімальна середня чисельність мідій донних поселень ОМР становила 667 екз·м<sup>-2</sup> у 2010 р., максимум – 1790 екз·м<sup>-2</sup> зафіксований у 2008 р. (табл. 2).

Таблиця 2

Популяційні характеристики мідій донних поселень Одеського морського регіону в 2005–2015 рр.

Рік	$N$ , екз·м <sup>-2</sup>	$B$ , г·м <sup>-2</sup>	$D_{20}$ , %	$L_{серед}$	$P$ , г·м <sup>-2</sup> рік <sup>-1</sup>	$P/B$	$V$
2005	1110±430	2337,2±835	14,7±1,1	31,30±0,66	1681,4	0,70	48,7
2006	842±177	1643,8±619	39,6±9,3	25,89 ±2,74	1122,7	0,84	47,5
2007	1677±722	6813,4±2535	16,3±3,5	32,73±1,83	3536,4	0,54	59,1
2008	1790±449	5083,4±1257	27,1±8,1	27,95±1,91	3029,1	0,72	53,6
2009	832±131	1777,0±335	27,8±5,0	26,20 ±1,05	1240,6	0,73	49,0
2010	667±164	1686,9±454	28,9±4,0	26,19 ±1,01	1103,9	0,68	51,8
2011	816±241	2811,7±1004	19,3±8,1	30,52±2,56	1568,8	0,60	56,7
2012	754±388	1899,7±1009	22,5±8,3	27,89±1,92	1247,6	0,74	51,7
2013	1083±349	3568,8±1635	15,4±10,3	31,26±2,56	2041,0	0,62	56,0
2015	1090±595	2151,6±955	22,7±6,5	28,88±1,77	1596,4	0,74	47,6

**Примітка:**  $N$  – середня чисельність і її похибка, екз·м<sup>-2</sup>;  $B$  – середня біомаса, г·м<sup>-2</sup>;  $D_{20}$  – частка кормових мідій, %;  $L_{серед}$  – середня довжина, мм;  $P$  – середня річна загальна продукція, г·м<sup>-2</sup> рік<sup>-1</sup>;  $P/B$  – продукційний коефіцієнт;  $V$  – середня річна виживаність, %.

Дисперсійний аналіз залежності чисельності мідій у разі використання коваріатами частки кормових мідій ( $F=8,17$ ;  $p=0,0062$ ) і середньої довжини мідій у поселеннях ( $F=4,92$ ;  $p=0,0311$ ) виявив відмінності за глибиною мешкання на 95% довірчому рівні ( $F=2,9$ ;  $p=0,0006$ ). Також на динаміку чисельності в часі впливає прозорість морської води ( $F=35,70$ ;  $p=0,0003$ ), вміст фосфатів ( $F=17,94$ ;  $p=0,0029$ ) і важких металів у донних відкладах – купруму ( $F=124,64$ ;  $p<0,0001$ ) і цинку ( $F=157,64$ ;  $p<0,0001$ ).

Біомаса мідій у поселеннях значно варіювала – від  $57,7 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$  (ст. 2; 2008 р.) до  $17510 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$  (ст. 1; 2007 р.), змінюючись за роками ( $F=2,29$ ;  $p=0,0335$ ). Дисперсійний аналіз залежності біомаси мідій у разі використання як коваріати вмісту зваженої речовини в морській воді ( $F=7,25$ ;  $p=0,0103$ ) виявив її міжрічні відмінності на 9% довірчому рівні ( $F=4,53$ ;  $p=0,0014$ ).

Загальна річна продукція мідій змінювалась від  $91,6 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{рік}^{-1}$  (ст. 2; 2008 р.) до  $10135,9 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{рік}^{-1}$  (ст. 1; 2007 р.), у середньому за аналізований період часу становила  $1888,1 \pm 233,5 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{рік}^{-1}$ , однак міжрічні відмінності розрізняються лише на 90% довірчому рівні ( $F=1,92$ ;  $p=0,0745$ ) (див. табл. 2). Багатофакторний дисперсійний аналіз показав залежність загальної річної продукції мідій за роками ( $F=119,71$ ;  $p<0,0001$ ) під впливом вмісту завислої форми важких металів: купруму ( $F=57,35$ ;  $p=0,0006$ ), нікелю ( $F=10,64$ ;  $p=0,0224$ ), нікелю у донних відкладах ( $F=70,3$ ;  $p=0,0004$ ), загального фосфору ( $F=118,24$ ;  $p=0,0001$ ), завислої речовини ( $F=43,14$ ;  $p=0,0012$ ) і прозорості морської води ( $F=152,55$ ;  $p=0,0001$ ).

Річний  $P/B$ -коефіцієнт, який у стаціонарних поселеннях відповідає коефіцієнту смертності, в донних поселеннях мідій відкритої частини ОМР у 2005–2015 рр. змінювався від 0,38 до 1,58, у середньому становив  $0,70 \pm 0,02$ , причому щорічна частка виживання мідій становила від 20 до 68% початкової чисельності моллюска. Виявлено, що на міжрічні коливання річного  $P/B$ -коефіцієнта ( $F=3,51$ ;  $p=0,0267$ ) впливає середня довжина мідій в поселенні ( $F=32,35$ ;  $p<0,0001$ ), вміст у придонному шарі азоту органічного  $N_{org}$  ( $F=4,57$ ;  $p=0,0017$ ), розчиненого кисню  $O_2$  ( $F=5,42$ ;  $p=0,0343$ ) і кадмію в донних відкладах ( $F=7,84$ ;  $p=0,0135$ ).

Відомо, що наявність металів у воді та відкладах може призвести до появи у гідробіонтів аномальних форм (некроз, виразка, атрофія), зміни у клітинних мембранах, метаболізмі та інше. Кадмій, хром і нікель також мають мутагенні або канцерогенні властивості (Azizi et al. 2018). Отримані нами результати також демонструють вплив важких металів на продуктивність усього мідійного поселення.

Загальна середня маса особини в донних поселеннях мідій Одеського регіону за аналізований період часу змінювалась від 0,398 г до 6,677 г, у середньому становила  $2,822 \pm 0,163$  г.

Динаміка тимчасових змін розмірно-вікової структури дозволяє виявити механізми пристосування популяції до мінливих умов існування виду і вплив чинників середовища на її формування. Для північно-західної частини Чорного моря, як дуже опрісненого регіону з високим рівнем евтрофування вод, характерна нестабільність розмірно-вікової структури поселень мідій як у просторі, так і в часі. За аналізований період часу середня довжина мідії в донних природних поселеннях відкритої частини ОМР варіювала від 13,41 до 40,49 мм, за роками змінювалась від 25,89 до 32,73 мм, у середньому для цього району становила  $28,45 \pm 0,73$  мм (див. табл. 2). Низькі значення середньої довжини мідії в поселеннях відповідають збільшенню частки кормових для риб моллюсків. Частка моллюсків довжиною менш 20 мм у поселеннях ОМР за аналізований період значно варіює – від 0,28 до 88,9%, що пов'язано як з нестачею осідання молоді, так і з гіпоксією в придонному шарі, коли в поселеннях гинуть найдрібніші та найбільші особини. Визначено відмінності у середньорічній кормової частини поселень мідій. Так, мінімальна середньорічна частка моллюсків довжиною до 20 мм дорівнювала 15% у 2005 і 2013 рр., максимальні її середні значення у 2006 р. становили 39,6%. Дисперсійним аналізом визначені міжрічні зміни часток мідій кормового розміру в поселеннях ( $F=3,67$ ;  $p=0,0249$ ) у разі використання як коваріатів вмісту у придонному шарі азоту органічного  $N_{org}$  ( $F=6,11$ ;  $p=0,0268$ ) та розчиненого кисню  $O_2$  ( $F=5,86$ ;  $p=0,0297$ ).

Проведений регресійний аналіз взаємозалежності параметрів фенотипічної структури поселень *M. galloprovincialis* з гідрохімічними показниками місця існування моллюсків показав, що кореляційний взаємозв'язок виявляється лише з температурою вод на поверхні та з солоністю і киснем придонного шару морської води. Розраховані залежності зв'язку частки коричневих гомозиготних мідій ( $F_a$ ) з вмістом розчиненого кисню ( $O_2$ ) (мгм/л) біля дна:

$$F_a = 3,96 + 6,52 \cdot O_2 \quad (r = 0,97, F = 32,66 \text{ } p = 0,0293),$$

та частки смугастих гетерозигот ( $F_c$ ) з вмістом розчиненого кисню ( $O_2$ ) (мгм/л) у придонному шарі:

$$F_c = 115,27 - 9,13 \cdot O_2 \quad (r = -0,97, F = 30,98 \text{ } p = 0,0308).$$

Аналіз зв'язку частки синьо-фіолетових гомозигот ( $F_b$ ) у поселеннях мідій із солоністю ( $S$ , %) придонних вод і з температурою поверхневих вод ( $T$ )

виявив зворотні кореляційні залежності, які описуються такими рівняннями:

$$F_b = 201,63 - 11,20 \cdot S \quad (r = -0,87, F=48,90 \ p < 0,0001),$$

$$F_b = 33,99 - 1,30 \cdot T \quad (r = -0,73, F=12,35 \ p=0,0048).$$

Проведені раніше дослідження визначили, що глибина є основним фактором просторової зміни частот зустрічальності мідій різних фенотипів, а частка смугастих мідій збільшується у разі зниження рівня солоності (Шурова 2013), що також підтверджується виявленими нами залежностями мінливості фенотипічної структури мідій у часі.

Залежно від характеру субстрату та глибини мешкання мідій, кількісні показники стану мідій у поселеннях відкритої і прибережної частини ОМР за аналізований період часу варіювали у більш широких межах. Найбільші показники середньої чисельності (15650 екз. $\cdot$ м<sup>-2</sup>) у 2012 р. і біомаси (28849,7 г $\cdot$ м<sup>-2</sup>) у 2020 р. відзначені в поселеннях мідії на твердому субстраті (каміння і скелі), які достовірно різняться від цих показників на мулі, піску і черепашнику з відкритої частини ОМР. Найменші показники середньої чисельності (954 екз. $\cdot$ м<sup>-2</sup>) і біомаси (1790,6 г $\cdot$ м<sup>-2</sup>) молюска відзначені в поселеннях на мулі.

Як показали результати дисперсійного аналізу, біомаса і чисельність мідій у поселеннях залежать від характеру ґрунту (F=32,20; p<0,0001 і F=22,37; p<0,0001 відповідно). Максимальні значення середньої біомаси і середньої чисельності мідій визначено для твердого субстрату, який відмінний від м'яких ґрунтів. Однак немає достовірних відмінностей цих характеристик мідій у поселеннях мулу, піску та черепашнику (табл. 3).

Загальна річна продукція змінюється від 31,1 г $\cdot$ м<sup>-2</sup> рік<sup>-1</sup> у поселеннях мулу до 11066 г $\cdot$ м<sup>-2</sup> рік<sup>-1</sup> у поселеннях твердого субстрату, відрізняючись за типом ґрунту (F=24,28; p<0,0001). Для кожного типу ґрунту отримано рівняння мно-

жинної регресії між загальною річною продукцією і стандартними гідробіологічними характеристиками моніторингу прибережних акваторій – біомасою та чисельністю, які дозволяють визначити прогнозу продуктивність мідій у поселеннях залежно від типу субстрату:

$$P = 0,54 \cdot N + 0,39 \cdot B + 45,44$$

(R<sup>2</sup>= 99,03; SE = 133,0) (мул)

$$P = 0,76 \cdot N + 0,35 \cdot B - 13,05$$

(R<sup>2</sup>=99,98; SE=30,50) (пісок)

$$P = 0,87 \cdot N + 0,32 \cdot B - 44,82$$

(R<sup>2</sup>=99,87; SE=133,0)  
(черепашник)

$$P = 0,78 \cdot N + 0,30 \cdot B + 83,18$$

(R<sup>2</sup>=98,88; SE=674,98) (каміння).

Річний P/B-коефіцієнт мідій у поселеннях на піску, черепашнику, камінні і скелях варіює від 0,64 до 0,71. Лише для поселень молюска на мулі цей показник збільшується до 0,94, що відображає зменшення середньої маси одного молюска до 2,024 г і середньої біомаси до 1947,8г $\cdot$ м<sup>-2</sup> мідій у поселеннях на цьому типі ґрунту (див. табл. 3).

Щорічна виживаність мідій від типу ґрунту змінюється від 15,2% у поселенні на мулі до 68,5% у поселеннях твердого субстрату. Багатофакторний дисперсійний аналіз показав залежність виживаності мідій від типу ґрунту (F=5,13; p=0,0027) під впливом середньої маси особини в поселенні (F=307,14; p<0,0001). Також визначено, що виживаність молюсків різниться за глибинами (F=7,62; p=0,007) під впливом біомаси мідії в поселеннях (F=5,08; p=0,0266). Для можливості отримувати експресні прогнозні оцінки рівня виживання (в %) мідій у поселеннях на різних типах субстрату визна-

Таблиця 3

**Продукційні характеристики *Mytilus galloprovincialis* у поселеннях різних ґрунтів Одеського морського регіону**

Показник	Ґрунт			
	мул	пісок	черепашник	каміння та скелі
N	1016±308	920±303	1270±182	7109±1825
B	1947,8±509,6	2657,4±1155,3	4014,4±649,3	15228,8±2536,4
W	2,024±0,373	2,422±0,304	3,167±0,181	3,361±0,786
P	1356,9±314,4	1610,5±628,0	2337,7±359,9	10278,4±1842,2
P/B	0,94	0,71	0,64	0,69
V	42,3	49,5	53,5	51,6
L <sub>серед</sub>	26,07±2,13	31,32±3,67	28,84±0,75	31,41±2,38
D <sub>20</sub> %	26,4±9,1	21,9±11,4	24,4±2,7	26,1±7,3

**Примітка:** N – чисельність, екз. $\cdot$ м<sup>-2</sup>; B – біомаса, г $\cdot$ м<sup>-2</sup>; W – середня маса особини, г; P – річна загальна продукція, г $\cdot$ м<sup>-2</sup> рік<sup>-1</sup>; P/B – продукційний коефіцієнт; V – виживаність, %; L<sub>серед</sub> – середня довжина мідії в поселенні, в мм; D<sub>20</sub> – частка кормових мідій, %; ± стандартна похибка показників.

чені залежності між виживаністю та середньою масою особини:

$$V=23,07 + 9,47 \cdot W (R^2 = 84,62; SE = 6,25) \text{ (мул)}$$

$$V=33,87 + 6,47 \cdot W (R^2 = 94,82; SE = 1,67) \text{ (пісок)}$$

$$V=34,67 + 5,91 \cdot W (R^2 = 84,57; SE = 3,39) \text{ (черепашиник)}$$

$$V=36,12 + 4,93 \cdot W (R^2 = 84,57; SE = 4,33) \text{ (каміння)}.$$

Середня довжина моллюска в поселеннях на різних ґрунтах варіює від 0,277 г у поселенні на мулі до 8,088 г на кам'яному субстраті, однак середні її значення достовірно відмінні лише на мулі. Части особин кормового розміру (довжиною до 20 мм) у поселеннях не мають суттєвих відмінностей за типом субстрату (див. табл. 3).

Аналіз розподілу частки фенотипів мідій із забарвлення зовнішнього призматичного шару черепашки не виявив достовірних відмінностей за характером ґрунту. Багатофакторний дисперсійний аналіз показав залежність частки фенотипу коричневого забарвлення черепашки від характеру ґрунту ( $F=3,16$ ;  $p=0,0305$ ) під впливом глибини мешкання мідій ( $F=18,84$ ;  $<0,0001$ ) і частки особин кормового розміру ( $F=8,14$ ;  $p=0,0058$ ).

Таким чином, проведений аналіз залежності продукційних характеристик від типу ґрунту виявив відмінності продукції, біомаси та чисельності мідій у поселеннях на твердих ґрунтах від м'яких субстратів, а  $P/B$ -коефіцієнт та рівень виживаності відрізняються у поселеннях мідій на мулистому ґрунті, між цими показниками на піску, черепашинику та камінням відмінності не достовірні. Отримані нами результати залежності фенотипічної структури від факторів морського середовища розширюють наявні дані про поселення мідій в північно-західній частині Чорного моря.

#### Висновки

1. Аналіз мінливості популяційної структури мідій *M. galloprovincialis* донних поселень Одесь-

кого морського району в діапазоні глибин від 6,5 до 24 м виявив міжрічні відмінності в продукційній, розмірно-віковій, фенотипічній структурах під впливом гідрохімічних умов морського середовища.

2. На динаміку чисельності мідій у поселеннях впливає прозорість морської води, вміст фосфатів і важких металів – купруму і цинку в донних відкладах.

3. На зміни біомаси мідій у природних донних поселеннях впливає вміст зваженої речовини в морській воді і тип ґрунту. Максимальні значення середньої біомаси мідій визначено для твердого субстрату, який є відмінним від м'яких ґрунтів. Не виявлено достовірних відмінностей між середньою біомасою мідій у поселеннях на мулі, піску та черепашинику.

4. Міжрічна динаміка загальної річної продукції мідій з донних поселень ОМР має залежність від прозорості морської води, вмісту завислої форми важких металів – купруму і нікелю в морській воді, нікелю у донних відкладах, вмісту загального фосфору і завислої речовини. Обґрунтовані рівняння регресії залежності річної загальної продукції мідій від типу субстрату.

5. Варіювання  $P/B$ -коефіцієнта відбуваються зі зміною середньої довжини мідій в поселенні, а також під впливом вмісту в морській воді азоту органічного і кисню, вмісту кадмію в донних відкладах.

6. Загальна середня маса мідій у донних поселеннях Одеського регіону на різних типах субстрату – мул, пісок, черепашиник, каміння – змінювалася від 0,277 г до 8,088 г, у середньому становила  $2,822 \pm 0,163$  г.

7. Коливання частки мідій кормового розміру (до 20 мм) у поселеннях відбувається під впливом вмісту в морській воді азоту органічного та розчиненого кисню у придонному шарі.

8. Визначено залежність фенотипічної структури мідій донних поселень ОМР від температури води на поверхні, солоності і вмісту розчиненого кисню в придонному шарі морської води.

#### Список використаних джерел

1. Берлинский Н.А., Попов Ю.И. Формирование придонной гипоксии и сероводорода на шельфе Черного моря. *Вісник ХНУ імені В.Н. Каразіна. Серія: Екологія*. 2018. Вип. 18. С. 6–13.

2. Биология северо-западной части Черного моря / Отв. ред. К.А. Виноградов. Киев : Наукова думка, 1967. 268 с.

3. Варигин А.Ю. Биотические связи в сообществе обрастания Одесского залива Черного моря. *Biosystems Diversity*. 2018. Т. 26, № 1. С. 24–29.

4. Гаркавая Г.Л., Богатова Ю.И., Гончаров А.Ю. Гидрохимические исследования. *Северо-западная часть Черного моря: биология и экология* / под ред. Ю.П. Зайцева, Б.Г. Александрова, Г.Г. Миничевой. Киев : Наукова думка, 2006. С. 59–82.

5. Говорин И.А., Шацилло Е.И. Формирование фильтрационного потенциала поселений мидий

и митилястера в антропогенно преобразованной прибрежной зоне моря. *Гидробиологический журнал*. 2009. Вып. 45. № 6. С. 3–12.

6. Говорин И.А., Шацилло Е.И., Нідзвецька Л.М. Накопичення гетеротрофних бактерій мідіями та митилястерами у прибережних акваторіях південно-західної частини Чорного моря. *Біологічні Студії*. 2015. Т. 9, № 1. С. 117–124.

7. Доценко С.А., Подплетна Н.Ф., Секундяк Л.Ю., Павлова О.А. Забруднення донних осадів Одеського району північно-західної частини Чорного моря нафтопродуктами і важкими металами. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2012. № 10. С. 230–238.

8. Дятлов С.Е., Подплетная Н.Ф., Запорожец С.А. Изменчивость содержания нефтепродуктов в воде и донных отложениях Одесского региона северо-западной части Черного моря. *Вісник Одеського націо-*

нального університету. Серія: Географія та геологічні науки. 2015. Т. 20, № 1. С. 159–169.

9. Заика В.Е., Коновалов С.К., Сергеева Н.Г. Локальные и сезонные явления гипоксии на дне севавтопольских бухт и их влияние на макробентос. *Морской экологический журнал*. 2011. № 3, Т. X. С. 15–25.

10. Зайцев Ю.П., Поликарпов Г.Г. Экологические процессы в критических зонах Черного моря: синтез результатов двух направлений исследований с середины XX до начала XXI веков. *Морской экологический журнал*. 2002. Т. 1. № 1. С. 33–55.

11. Одесский регион Черного моря: гидробиология пелагиали и бентали : монография / Л.В. Воробьева, И.И. Кулакова, И.А. Синегуб и др. ; отв. ред. Б.Г. Александров. Одесса, 2017. 324 с.

12. Северо-западная часть Черного моря: биология и экология / отв. ред. Ю.П. Зайцев, Б.Г. Александров, Г.Г. Миничева. Киев : Наукова думка, 2006. 701 с.

13. Скарлато О.А. Двустворчатые моллюски умеренных широт западной части Тихого океана. Ленинград : Наука, 1981. 480 с.

14. Стадниченко С.В. Косвенные оценки смертности и выживаемости мидий северо-западной части Черного моря. *Вісник ОНУ*. 2010. Т. 15, вып. 17. С. 82–87.

15. Стадниченко С.В., Шурова Н.М., Золотарев В.Н. Пространственно-временные изменения популяции мидий *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819 в северо-западной части Черного моря. *Биоразнообразие и роль животных в экосистемах* : материалы VII Междунар. науч. конф. Днепропетровск, 2013. С. 68–70.

16. Стадниченко С.В. Популяційна структура мідії *Mytilus galloprovincialis* з донних поселень в зонах трансформації річкової води північно-західної частини Чорного моря. *Морський екологічний журнал*. 2022. № 1–2. С. 99–107.

17. Шурова Н.М. Структурно-функциональная организация популяции мидий *Mytilus galloprovincialis* Черного моря. Киев : Наукова думка, 2013. 207 с.

18. Шурова Н.М., Варигин А.Ю., Стадниченко С.В. Изменения популяционных характеристик черноморской мидии в условиях эвтрофирования и гипоксии морских прибрежных вод. *Экология моря*. 2004. Вып. 65. С. 94–99.

19. 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. 7, № 4. С. 88–97.

20. Шурова Н.М., Стадниченко С.В. Продукционные свойства мидии *Mytilus galloprovincialis* северо-западного шельфа Черного моря. *Экология моря*. 2001. Вып. 56. С. 91–95.

21. Alexandrov B., Berlinsky N., Bogatova Ju., Bushuev S., Garkavaya G., Zaitsev Yu. The Danube role in the Black Sea contamination. *Problems of regional seas 2001*: Proceeding of the International symposium on the problems of regional seas. 12–14 May 2001. Istanbul (Turkey) 2001. P. 64–75.

22. Alexandrov B.G., Zaitsev Yu.P. Black Sea biodiversity in eutrophication conditions. *Conservation of the Biological Diversity as a Prerequisite for Sustainable Development in the Black Sea Region* / eds. V. Kotlyakov, M. Uppenbrink, V. Metreveli. Dordrecht : Kluwer Academic Publ., 1998. P. 221–234.

23. Azizi G., Akodad M., Baghour M., Layachi M., Moumen A. The use of *Mytilus* spp. mussels as bioindicators of heavy metal pollution in the coastal environment. *Journal of Materials and Environmental Sciences*. 2018. Vol. 9, Is. 4. P. 1170–1181.

24. Bartolomé L., Navarro P., Raposo J.C., Arana G., Zuloaga O., Etxebarria N. et al. Occurrence and distribution of metals in Mussels from the Cantabrian Coast. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 2010. Vol. 59. P. 235–243.

25. Besada V., Sericano J.L., Schultze F. An assessment of two decades of trace metals monitoring in wild mussels from the North-west Atlantic and Cantabrian coastal areas of Spain, 1991–2011. *Environment International*. 2014. Vol. 71. P. 1–12.

26. Çinar M.E., Katağan T., Koçak F., Öztürk B., Ergen Z., Kocatas A. et al. Faunal assemblages of the mussel *Mytilus galloprovincialis* in and around Alsancak Harbour (Izmir Bay, eastern Mediterranean) with special emphasis on alien species. *Journal of Marine Systems*. 2008. Vol. 71. P. 1–17.

27. Dyatlov S.Ye. Heavy metals in Water and Bottom Sediments of Odessa Region of the Black Sea. *Journal of Shipping and Ocean Engineering*. 2015. Vol. 5. P. 51–58.

28. Gutierrez J.L., Jones C.G., Strayer D.L., Iribarne O. Mollusks as ecosystems engineers: The role of the shell production in aquatic habitats. *Oikos*. 2003. Vol. 101. P. 79–90.

29. Kotta J., Futter M., Kaasik A., Liversage K., Rätsep M., R. Barboza F. et al. Cleaning up seas using blue growth initiatives: Mussel farming for eutrophication control in the Baltic Sea. *Science of the total Environment*. 2020. Vol. 709. 136144.

30. Mandich M. Ranked effects of heavy metals on marine bivalves in laboratory mesocosms: a meta-analysis. *Marine Pollution Bulletin*. 2018. Vol. 131. P. 773–781.

31. Norling P., Lindegarth M., Lindegarth S., Strand A. Effects of live and post-mortem shell structures of invasive Pacific oysters and native blue mussels on macrofauna and fish. *Marine Ecology Progress Series*. 2015. Vol. 518. P. 123–138.

32. Richir J., Gobert S. The effect of size, weight, body compartment, sex and reproductive status on the bioaccumulation of 19 trace elements in rope-grown *Mytilus galloprovincialis*. *Ecological Indicators*. 2014. Vol. 36. P. 33–47.

33. Stadnichenko S.V., Shurova N.M. Estimating productivity of the Black Sea mussels from their density and biomass. *The Black Sea Ecological Problems* : International symposium. Odessa, 2000. P. 297–300.

34. Zaitsev Yu., Mamaev V. Marine biological diversity in the Black Sea. A Study of Change and Decline. New York : United Nations Publications, 1997. Vol. 3. 208 p.

References

- Berlinsky, N.A., & Popov, Yu.I. (2018). Formirovaniye pridonnoy gipoksii i serovodoroda na shel'fe Chernogo morja [Formation of bottom hypoxia and hydrogen sulfide on the Black Sea shelf]. *Visnyk KhNU imeni V.N. Karazina. Seriya: Ekologiya – Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series "Ecology"*, 18, 6–13 [in Russian].
- Vinogradov, K.A. (Eds.). (1967). *Biologiya severo-zapadnoy chasti Chernogo morya* [Biology of the north-western part of the Black Sea]. Kyiv: Naukova dumka [in Russian].
- Varigin, A.Yu. (2018). Bioticheskie svyazi v soobshhestve obrastaniya Odesskogo zaliva Chernogo morja [Biotic connections in the fouling community of the Odessa Bay of the Black Sea]. *Biosystems Diversity*, 26(1), 24–29 [in Russian].
- Garkavaia, G.P., Bogatova, Iu.I., & Goncharov, A.Iu. (2006). *Gidrohimiicheskie issledovaniya Chernogo moria: biologiya i ekologiya – North-western part of the Black Sea: biology and ecology*, (pp. 59–82). Kiev: Naukova Dumka [in Russian].
- Govorin, I.A., & Shatsillo, E.I. (2009). Formirovaniye fil'tracionnogo potentsiala poseleniy midij i mitiljastera v antropogenno preobrazovannoy pribrezhnoy zone morja [Formation of the filtration potential of mussel's settlements and Mytilaster in the anthropogenically transformed coastal zone of the sea]. *Gidrobiologicheskii zhurnal – Hydrobiological journal*, 45(6), 3–12 [in Russian].
- Govorin, I.A., Shatsillo, E.I., & Nidzvetskaya, L.M. (2015). Nakopychennia heterotrofnikh bakterii midiiamy ta mitiljasteramy u pryberezhnykh akvatoriiakh pivdenno-zakhidnoi chastyny Chornoho moria [Accumulation of heterotrophic bacteria by mussels and clams in the coastal waters of the south-western part of the Black Sea]. *Biologichni Studii – Studia Biologica*, 9(1), 117–124 [in Ukrainian].
- Dotsenko, S.A., Podpletnaya, N.F., Sekundyak, L.Yu., & Pavlova, O.A. (2012). Zabrudnennia donnykh opadiv Odeskoho raionu pivnichno-zakhidnoi chastyny Chornoho moria naftoproduktamy i vazhkymy metalamy [Congestion of bottom sediments of the Odessky region of the bottom-entrance part of the Black Sea with naphtha products and important metals]. *Ukrainskyi hidrometeorologichnyi zhurnal – Ukrainian hydrometeorological journal*, 10, 230–238 [in Ukrainian].
- Dyatlov, S.E., Podpletnaya, N.F., & Zaporozhets, S.A. (2015). Izmenchivost' soderzhanija nefteproduktov v vode i donnykh otlozheniyah Odesskogo regiona severo-zapadnoy chasti Chernogo morja [Variability of the content of petroleum products in water and bottom sediments of the Odessa region of the north-western part of the Black Sea] *Visnyk ONU. Ser.: Heohrafichni ta heolohichni nauky – Odesa National University Herald. Series Geography & Geology*, 20(1), 159–169 [in Russian].
- Zaika, V.E., Konovalov, S.K., & Sergeeva, N.G. (2011). Lokal'nye i sezonnye javleniya gipoksii na dne sevastopol'skikh buht i ih vliyanie na makrobentos [Local and seasonal hypoxia phenomena at the bottom of Sevastopol bays and their impact on macrobenthos]. *Morskoy ekologicheskii zhurnal – Marine ecological journal*, 3(X), 15–25 [in Russian].
- Zaitcev, Y.P., & Polikarpov, G.G. (2002). *Ekologicheskie protsessy v kriticheskikh zonakh Chernogo moria (sintez rezultatov dvukh napravlenii issledovaniya s serediny XX do nachala XXI vekov)* [Ecological processes in critical zones of the Black Sea (synthesis of the results of two directions of research from the middle of the 20th to the beginning of the 21st centuries)]. *Morskoy ekologicheskii zhurnal – Marine ecological journal*, 1(1), 33–55 [in Russian].
- Vorobyova, L.V., Kulakova, I.I., Synohub, I.O., Polishchuk, L.M., Nesterova, D.A., Bondarenko, O.S. et al. (2017). *Odeskyi rehion Chornoho moria: hidrobiologiya pelahiali i bentali* [Odessa region of the Black Sea: hydrobiology of pelagic and bental]. B.G. Alexandrov (Ed.). Odesa: Astroprint [in Russian].
- Zaytsev, Yu.P., Aleksandrov, B.G., & Minicheva, G.G. (Ed.). (2006). *Severo-zapadnaya chast' Chernogo morya: biologiya i ekologiya* [North-western part of the Black Sea: biology and ecology]. Kyiv: Naukova dumka [in Russian].
- Scarlato, O.A. (1981). *Dvustvorchatye molljuskii umerennykh shirot zapadnoy chasti Tihogo okeana* [Bivalve molluscs of temperate latitudes of the western part of the Pacific Ocean]. Leningrad: Nauka [in Russian].
- Stadnichenko, S.V. (2010). Kosvennye otcenki smertnosti i vyzhivaemosti midii severo-zapadnoi chasti Chernogo moria [Indirect estimates of mortality and survival of mussels in the north-western part of the Black Sea]. *Visnyk Odeskoho natsionalnoho universytetu. Seriya: Biologiya – Odesa National University Herald. Series: Biology*, 15(7), 82–87 [in Russian].
- Stadnichenko, S.V., Shurova, N.M., & Zolotarev, V.N. (2013). Prostranstvenno-vremennyye izmeneniya populjatsii midij *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819 v severo-zapadnoy chasti Chernogo morja [Spatial-temporal changes in the population of mussels *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819 in the north-western part of the Black Sea]. Proceedings from VII Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya «Bioraznoobrazie i rol' zhyvotnykh v jekosistemah» – VII International scientific conference "Biodiversity and the role of animals in ecosystems". (pp. 68–70). Dnipropetrovsk: Advarta [in Russian].
- Stadnichenko, S.V. (2022). Populiatsiina struktura midii *Mytilus galloprovincialis* z donnykh poselen v zonakh transformatsii richkovoi vody pivnichno-zakhidnoi chastyny Chornoho moria [Population structure of the mussel *Mytilus galloprovincialis* from bottom settlements in zones transformation of river water in the north-western part of the Black Sea]. *Mors'kyi*



*ekologichnyy zhurnal – Marine ecological journal*, 1–2, 99–107 [in Ukrainian].

17. Shurova, N.M. (2013). *Strukturno-funkcional'naya 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., Varigin, A.Yu., & Stadnichenko, S.V. (2004). Izmneniya populatsionnykh harakteristik chernomorskoj midii v uslovijah jevtrofirovaniya i gipoksii morskikh pribrezhnykh vod [Different population characteristics of Black sea mussels under eutrophication and hypoxia in coastal waters]. *Ekologija morja – Ecology of the sea*, 65, 94–99 [in Russian].
19. 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 ekologicheskij zhurnal – Marine ecological journal*, 7(4), 88–97 [in Russian].
20. Shurova, N.M., & Stadnichenko, S.V. (2001). Produkcionnye svojstva midii *Mytilus galloprovincialis* severo-zapadnogo shel'fa Chernogo morja [Production properties of the mussel *Mytilus galloprovincialis* of the north-western shelf of the Black Sea]. *Ekologija morja – Ecology of the sea*, 56, 91–95 [in Russian].
21. Alexandrov, B., Berlinsky, N., Bogatova, Ju., Bushuev, S., Garkavaya, G., & Zaitsev, Yu. (2001). The Danube role in the Black Sea contamination. Proceedings from: *International symposium on the problems of regional seas “Problems of regional seas 2001”*. (pp. 64–75). Istanbul (Turkey).
22. Alexandrov, B.G., & Zaitsev, Yu.P. (1998). Black Sea biodiversity in eutrophication conditions. *Conservation of the Biological Diversity as a Prerequisite for Sustainable Development in the Black Sea Region*, (pp. 221–234). Dordrecht: Kluwer Academic Publ.
23. Azizi, G., Akodad, M., Baghour, M., Layachi, M., & Moumen, A. (2018). The use of *Mytilus* spp. mussels as bioindicators of heavy metal pollution in the coastal environment. *Journal of Materials and Environmental Sciences*, 9(4), 1170–1181.
24. Bartolomé L., Navarro P., Raposo J.C., Arana G., Zuloaga O., Etxebarria, N. et al. (2010). Occurrence and Distribution of Metals in Mussels from the Cantabrian Coast. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 59, 235–243.
25. Besada, V., Sericano, J.L., & Schultze, F. (2014). An assessment of two decades of trace metals monitoring in wild mussels from the north-west Atlantic and Cantabrian coastal areas of Spain, 1991–2011. *Environment International*, 71, 1–12.
26. Çinar, M.E., Katağan, T., Koçak, F., Öztürk, B., Ergen, Z., Kocatas, A. et al. (2008). Faunal assemblages of the mussel *Mytilus galloprovincialis* in and around Alsancak Harbour (Izmir Bay, eastern Mediterranean) with special emphasis on alien species. *Journal of Marine Systems*, 71, 1–17.
27. Dyatlov, S.Ye. (2015). Heavy metals in Water and Bottom Sediments of Odessa Region of the Black Sea. *Journal of Shipping and Ocean Engineering*, 5, 51–58.
28. Gutierrez, J.L., Jones, C.G., Strayer, D.L., & Iribarne, O. (2003). Mollusks as ecosystems engineers: The role of the shell production in aquatic habitats. *Oikos*, 101, 79–90.
29. Kotta, J., Futter, M., Kaasik, A., Liversage, K., Rätsep, M., Barboza, F. et al. (2020). Cleaning up seas using blue growth initiatives: Mussel farming for eutrophication control in the Baltic Sea. *Science of the total Environment*, 709, 136144.
30. Mandich, M. (2018). Ranked effects of heavy metals on marine bivalves in laboratory mesocosms: a meta-analysis. *Marine Pollution Bulletin*, 131, 773–781.
31. Norling, P., Lindegarth, M., Lindegarth, S., & Strand, Å. (2015). Effects of live and post-mortem shell structures of invasive Pacific oysters and native blue mussels on macrofauna and fish. *Marine Ecology Progress Series*, 518, 123–138.
32. Richir, J., & Gobert, S. (2014). The effect of size, weight, body compartment, sex and reproductive status on the bioaccumulation of 19 trace elements in rope-grown *Mytilus galloprovincialis*. *Ecological Indicators*, 36, 33–47.
33. Stadnichenko, S.V., & Shurova, N.M. (2000). Estimating productivity of the Black Sea mussels from their density and biomass. Proceedings from *International symposium “The Black Sea Ecological Problems”*. (pp. 297–300). Odessa: SCSEIO.
34. Zaitsev, Yu., & Mamaev, V. (1997). *Marine Biological Diversity in the Black Sea. A Study of Change and Decline*. (Vols. 3). New York: United Nations Publications.

## INTERANNUAL CHANGES IN THE POPULATION STRUCTURE OF THE MEDITERRANEAN MUSSEL *MYTILUS GALLOPROVINCIALIS* LAM. IN THE BOTTOM SETTLEMENTS OF THE ODESA REGION, BLACK SEA IN 2005–2020

**Stadnichenko S.V.**, PhD, Senior Researcher

Institute of Marine Biology of the National Academy of Sciences of Ukraine

The article presents the results of comparative analysis of population characteristics, i.e. biomass and abundance, total annual production, *P/B*-ratio, survival of the Mediterranean mussel *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819 from

the benthic assemblages of the open part and the coasts of the Odesa marine region for the period 2005–2020, depending on depth (6–23 m), sediment type (soft-silt, sand, shells, hard-rocks and rocks), hydrochemical parameters of water environment and bottom sediments.

The number of mussels in settlements varied from 74 to 5220 specimens per  $m^2$ , averaging  $1104 \pm 131$  specimens per  $m^2$ , and varies with depth under the influence of the average length of the individual in settlements. The changes of population are affected by seawater transparency, phosphates and heavy metals (e.g. copper and zinc) content in bottom sediments. The mussel biomass is varied from  $57,7 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  to  $17510,0 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  on soft substrates, to  $28849,7 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  on hard substrates, varying over years. The total annual production varies in wide range, from  $31.1 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \text{ year}^{-1}$  in silt to  $11066 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \text{ per year}^{-1}$  in hard substrate, significantly differing by sediment type. The dependence between the annual changes of total annual mussel production on seawater transparency, the content of suspended forms of heavy metals, i.e. copper and nickel in water, nickel in bottom sediments, content of total phosphorus and suspended matter was determined. The regression equation for dependence of total annual mussel production on substrate type was justified. The annual P/B-ratio in mussel settlements in the open part of the Odesa region varied from 0,38 to 1,58, with average of 0,70. The total average weight of the mussel in settlements on different substrate types (silt, sand, shell, stones) varied from 0,277 g to 8,088 g, with an average of  $2,822 \pm 0,163$  g.

The parameters of mussel phenotypic structure depend on surface water temperature, salinity and dissolved oxygen content of demersal water layer.

To be able to obtain express predictive estimates of mussel viability level in bottom settlements on different substrate types, dependence between viability and average mussel weight were determined.

**Key words:** *Mytilus galloprovincialis*, interannual changes, production, viability, sediment type, hydrochemical parameters of the environment