ISSN 0868-854 (Print); ISSN 2413-5984 (*Online*).
Algologia. 2021. 31(*1*): *9–24*
https://doi.org/10.15407/alg31.01.009

Сучасний стан макрофітобентосу чорноморського узбережжя Грузії

Мінічева Г.Г.[1], Цецхладзе М.С.[2]

[1]*Інститут морської біології НАН України,*
вул. Пушкінська, 37, Одеса 65048, Україна
[2]*Національне агентство охорони навколишнього середовища Грузії,*
департамент рибного господарства, аквакультури та водного біорізноманіття,
вул. Руставелі, 51, Батумі 6010, Грузія
minicheva@gmail.com

Надійшла до редакції 20.08.2020. Після доопрацювання 12.10.2020. Підписана до друку 20.10.2020. Опубліковано 22.03.2021

Реферат. Уперше представлено дані сезонних досліджень макрофітобентосу морського узбережжя Грузії, проведених у 2016–2019 рр. За результатами отриманих значень питомої поверхні популяції макрофітобентосу (S/Wp) встановлено екологічну активність флористичного складу та розподіл видів по станціях: Сарпі, Зелений Мис, порт Батумі та Цихісдзірі. Визначено роль у структурі макрофітобентосу досліджуваних станцій чутливих (S/Wp = 5–25 $м^2 \cdot кг^{-1}$) і толерантних (S/Wp ≥ 25 $м^2 \cdot кг^{-1}$) видів по відношенню до якості екологічного морського середовища. З 27 ідентифікованих водоростей до групи чутливих віднесено 8 видів, до групи толерантних – 19. Найбільша кількість чутливих видів виявлена на станціях Зелений Мис і Цихісдзірі, що свідчить про задовільний екологічний стан цих акваторій. На станції порт Батумі в структурі угруповань макрофітів знайдені лише толерантні види, що є свідченням значного антропогенного навантаження в цій акваторії. Найбільша варіабельність екологічної активності відмічена у представників відділу *Rhodophyta* (325%). Це дозволяє їм перебувати у різноманітних біотопах з різною інтенсивністю первинно-продукційного процесу. Встановлено закономірний зв'язок між вираженою сезонною динамікою та абсолютними значеннями біомаси макрофітів. У задовільних екологічних умовах, при переважанні в структурі чутливих видів і високих показників біомаси, спостерігається виражена сезонна динаміка. Значення показників біомаси макрофітів збільшуються втричі у весняно-літній період. Аналіз міжрічної динаміки функціонування макрофітобентосу вздовж узбережжя Грузії показав, що більш сприятливі умови інтенсивного його функціонування склалися в 2016 р.

Ключові слова: макрофітобентос, флористичний склад, морфофункціональні параметри, динаміка, узбережжя Грузії

© Мінічева Г.Г., Цецхладзе М.С., 2021

Вступ

У морських прибережних біотопах на макрофітобентос формує більшу частину органічної речовини, що утворюється в результаті фотосинтезу. Саме тут макроскопічні водорості та морські трави виступають базовою автотрофною ланкою в екологічному ланцюжку формування і трансформації речовини та енергії. Чорноморські макрофіти, що розвиваються в прибережному поясі на природних субстратах і антропогенних поверхнях, істотно змінюють гідрохімічні параметри морського середовища, а також формують фізичне середовище існування чисельних гідробіонтів. При цьому рослинні угруповання є відкритими системами, які не тільки впливають на швидкість екологічних процесів та екологічний статус прибережних контактних зон моря, але й під впливом природних й антропогенних факторів змінюють свою структурно-функціональну організацію. Нові підходи оцінювання активної поверхні морських водоростей дозволяють розглядати їх як класичний ботанічний об'єкт дослідження та ефективний інструмент екологічної оцінки морського середовища (Minicheva et al., 2004). Висока морфофункціональна пластичність макрофітів робить їх чутливими біологічними індикаторами, на основі яких можна відстежувати тенденції просторово-часових змін екологічного статусу морських прибережних екосистем (Minicheva, 2013), а також використовувати їх в якості біологічних елементів моніторингу морського середовища за стандартами Морської рамкової директиви ЄС (MSFD, 2008/56/EC). У зв'язку з тим, що макрофіти є ефективним інструментом екологічного моніторингу, інформація про стан макрофітобентосу стає стратегічно важливою для узбереж чорноморських країн. Залежно від історії гідробіологічних досліджень кожна з шести чорноморських країн володіє різним обсягом історичних даних і публікацій щодо стану донної рослинності.

На сьогоднішній день наявна мінімальна інформація про видовий склад, розподіл і кількісні показники розвитку макрофітів чорноморського узбережжя Грузії. Перше дослідження макрофітобентосу в прибережній зоні проведено в 2000 р. за участі українських вчених під керівництвом академіка НАН України Ювеналія Зайцева (неопубл. дані). Був досліджений макрофітобентос скелястих берегів. Особливу увагу приділено водорості *Treptacantha barbata* (Stackh.) Orellana et Sansón (= *Cystoseira barbata* (Stackh.) C.Agardh), яка там домінувала. Систематичні дослідження макрофітобентосу на грузинському узбережжі почалися в 2016 р. на базі Національного агентства охорони навколишнього середовища Грузії в Батумі за підтримки проекту EMBLAS (Поліпшення екологічного моніторингу Чорного моря) та консультативної участі українських експертів (ДУ «Інститут морської біології НАН України»). Наразі відсутні дані про флористичний склад, сезонну динаміку та просторовий розподіл макрофітобентосу біля

чорноморського узбережжя Грузії. Отримані нами дані поклали початок подальшим дослідженням макрофітобентосу цього регіону.

Мета роботи – дослідити видовий склад, морфофункціональну організацію, просторово-часову динаміку макрофітобентосу біля морського узбережжя Грузії в 2016–2019 рр. для оцінки його стану.

Матеріали та методи

Морське узбережжя Грузії загальною протяжністю близько 315 км розташоване в південно-східній частині чорноморського басейну. На геоморфологію узбережжя впливають річки регіону, довжина яких становить ~150 км, загальний середньорічний стік 40,2 км^3, площа водозбірного басейну 32,6 км^2. Підводний рельєф морського дна розширено наносами, що доходять до поверхневих долин усіх великих річок. Шельф біля берегів Грузії представлений у вигляді вузької прибережної смуги (Zenkovich, 1958). Температура морської води на чорноморському узбережжі Грузії взимку коливається від 9 до 11 °С. У січні середня температура 4–7 °С, у липні 22–23 °С. На узбережжі цілий рік випадають рясні опади. Для ділянки грузинського узбережжя Чорного моря виділяють наступні природні місцезростання: піщаний берег, прибережна лагуна, вододіл, затоки, морські скелі та кам'янистий берег (Black…, 1998).

Матеріалом для даної роботи слугували проби багатоклітинних водоростей, зібрані на чотирьох моніторингових станціях уздовж узбережжя (Сарпі, Зелений Мис, Цихісдзірі, порт Батумі), які характеризуються різним ступенем антропогенного навантаження (рис. 1).

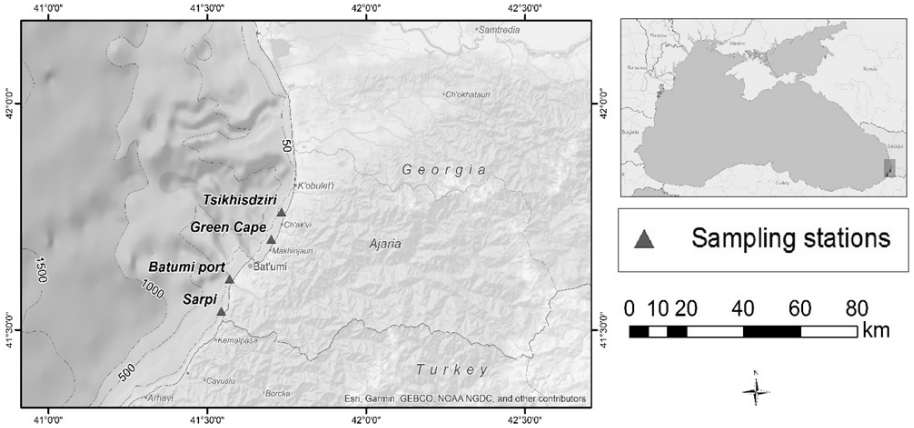

Рис. 1. Карта відбору проб макрофітобентосу на станціях моніторингу біля узбережжя Грузії

Зразки макрофітів відбирали на глибині 0,5–8 м у різні сезони 2016–2019 рр. На станціях моніторингу Сарпі, Зелений Мис і Цихісдзірі проби відбирали на природному скелястому субстраті, в порту Батумі –

на штучному субстраті (поверхні бетонних гідротехнічних споруд). Зразки макрофітобентосу відбирали за міжнародної методикою, схваленою Чорноморською комісією (Minicheva et al., 2003).

За час дослідження було зібрано та оброблено 93 кількісні та якісні проби макрофітобентосу (табл. 1), які обробляли за відомими методами оцінки макрофітобентосу (Eremenko, 1980). Видовий склад водоростей визначали за атласом і визначниками (Zinova, 1967; Vinogradova, 1974). Номенклатура водоростей наведена відповідно до AlgaeBase.org. (Guri, Guri, 2020), автори таксонів – за The International..., 2020).

Таблиця 1. **Кількість проб макрофитобентосу, відібраних біля морського узбережжя Грузії в різні роки**

Рік	Моніторингова станція			
	Сарпі	Порт Батумі	Зелений Мис	Цихісдзірі
2016	3	–	3	–
2017	14	11	9	3
2018	9	3	8	9
2019	6	3	6	6
Всього	93			

Морфофункціональні показники макрофітів, такі як питома поверхня популяції (S/Wp, $м^2 \cdot кг^{-1}$), яка кількісно відображає екологічну активність виду, та індекс поверхні фітоценозу ($ІП_Ф$), що відображає інтенсивність функціонування донної рослинності, розраховували за наведеною раніше методикою (Minicheva et al., 2003). Значення питомої поверхні залежить від морфологічної організації та розміру таллому. Великі багаторічні форми макрофітів, у яких показник питомої поверхні в Чорному морі становить 5–25 $м^2 \cdot кг^{-1}$, відносяться до чутливих видів. Вони переважають у морських екосистемах зі сприятливим екологічним статусом (Good Environmental Status – GES) (MSFD, 2008/56/EC). Дрібні короткоциклічні нитчасті форми, в яких S/Wp > 25 $м^2 \cdot кг^{-1}$, відносяться до толерантних видів. Масово вони розвиваються в несприятливих екологічних умовах – NotGES. Індикатор чутливості видів (Ssp, %) відображає відсотковий внесок видів з питомою поверхнею менше 25 $м^2 \cdot кг^{-1}$ до загальної кількості видів (Minicheva, 2019). Для оцінки мінливості показника S/Wp макрофітів у межах таксономічних відділів був використаний показник варіації – коефіцієнт осциляції (VR, %). Він розраховувався як відношення інтервалу варіації між максимальним і мінімальним значеннями до середньої величини оцінюваного ряду, виражене у відсотках (Vasnev, 2001).

Результати та обговорення

У результаті досліджень макрофітобентосу на чотирьох станціях моніторингу біля узбережжя Грузії ідентифіковано 27 видів макрофітів і визначені показники їхньої питомої поверхні (S/Wp), яка кількісно відображає індивідуальну екологічну активність виду (табл. 2).

Як видно з табл. 2, найбільшу кількість макрофітів (23 види) виявлено на станції моніторингу Сарпі. Тут представлено майже все таксономічне різноманіття макрофітів біля морського узбережжя Грузії. На скелях і каменях тут домінувала бура багаторічна водорість *Treptacantha barbata*, яка утворювала зарості з обростаннями епіфітних водоростей *Acrochaetium secundatum*, *Ectocarpus siliculosus*, *Stylonema alsidii* та ін.

Таблиця 2. **Характеристика екологічної активності популяцій макрофітів (**S/Wp**) та їхній розподіл по станціях моніторингу**

Номер	Таксон	S/Wp, $м^2 \cdot кг^{-1}$	Станція моніторингу			
			Сарпі	Порт Батумі	Зелений Мис	Цихісдзірі
		CHLOROPHYTA				
1	*Ulva intestinalis* L.	36,15 ± 1,15	+	–	+	–
2	*U. linza* L.	32,03 ± 1,39	+	–	–	–
3	*U. prolifera* O.F.Müll.	50,65 ± 1,28	+	+	+	–
4	*Cladophora vagabunda* (L.) C.Hoek	46,25 ± 1,87	+	+	+	–
5	*C. albida* (Nees) Kütz.	74,97 ± 2,59	+	+	+	+
6	*C. laetevirens* (Dillwyn) Kütz.	62,14 ± 1,27	–	–	+	–
7	*Cladophora* sp.	68,34 ± 2,5	+	–	–	+
8	*Urospora penicilliformis* (Roth) Aresch.	119,00 ± 7,20	+	–	–	–
9	*Bryopsis hypnoides* J.V.Lamour.	39,45 ± 1,19	+	+	+	–
		OCHROPHYTA				
10	*Ectocarpus siliculosus* (Dillwyn) Lyngb.	173,50 ± 6,91	+	+	+	+
11	*Sphacelaria cirrosa* (Roth) C.Agardh	114,07 ± 2,45	+	–	–	+
12	*Scytosiphon lomentaria* (Lyngb.) Link	7,48 ± 0,35	+	–	+	–
13	*Punctaria latifolia* Grev.	22,80 ± 1,70	+	–	–	+
14	*Treptacantha barbata* (Stackh.) Orellana et Sansón	7,90 ± 0,60	+	–	–	+
		RHODOPHYTA				
15	*Stylonema alsidii* (Zanardini) K.M.Drew	212,72 ± 4,75	+	–	+	+
16	*Neopyropia leucosticta* (Thur.) L.-E.Yang & J.Brodie	63,05 ± 2,4	+	+	+	+

17	*Acrochaetium secundatum* (Lyngb.) Nägeli	277,10 ± 5,10	+	+	+	+
18	*Nemalion elminthoides* (Velley) Batters	7,21 ± 0,72	+	–	+	–
19	*Gelidium crinale* (Hare ex Turner) Gaillon	19,38 ± 0,51	–	–	+	+
20	*G. spinosum* (S.G.Gmel.) P.C.Silva	20,16 ± 0,42	–	–	+	+
21	*Dermocorynus dichotomus* (J.Agardh) Gargiulo, Morabito & Manghisi	9,77 ± 0,56	+	–	+	+
22	*Ceramium arborescens* J.Agardh	39,86 ± 0,42	–	–	+	–
23	*C. virgatum* Roth	24,64 ± 1,19	+	–	+	+
24	*C. diaphanum* (Lightf.) Roth	39,31 ± 2,37	+	+	+	+
25	*C. siliquosum* var. *elegans* (Roth) G.Furnari	25,46 ± 1,12	+	–	–	–
26	*Callithamnion corymbosum* (Sm.) Lyngb.	188,79 ± 20,18	+	+	+	+
27	*Lophosiphonia obscura* (C.Agardh) Falkenb.	68,51 ± 2,5	+	–	+	+
Всього			23	9	20	16

При високому рівні розвитку епіфітних форм багатоклітинних водоростей на станції Сарпі траплялися також види-індикатори GES з низькою екологічною активністю популяції: *Nemalion elminthoides*, *Scytosiphon lomentaria* та *Dermocorynus dichotomus*. Другою за видовою різноманітністю макрофітів була станція Зелений Мис, на якій зафіксовано 20 видів. Ця станція також характеризується високою флористичною та морфофункціональною різноманітністю форм макрофітів: від великих багаторічних низькофункціональних форм – *Gelidium spinosum* і *G. crinale* до сезонних форм з високою екологічною активністю – *Ulva intestinalis*, *Bryopsis hypnoides* і *Ceramium diaphanum*. На станції Цихісдзірі виявлено 19 видів макрофітів, провідне місце серед них належить червоним водоростям (10 видів). При цьому бура водорість *Treptacantha barbata* також домінувала поряд з червоними водоростями *Neopyropia leucosticta*, видами родів *Ceramium* Wigg. та *Gelidium* J.V.Lamouroux. Найбідніший видовий склад макрофітобентосу (9 видів багатоклітинних водоростей) зафіксовано на моніторинговій станції порту Батумі. Тут на штучному субстраті (бетонні поверхні причальних стінок) у великій кількості розвивалися нитчасті форми

дрібних водоростей із сильно розгалуженим таломом: *Acrochaetium secundatum*, *Callithamnion corymbosum*, *Ectocarpus siliculosus* та ін. Очевидно, на цій станції угруповання макрофітобентосу зазнають найбільшого антропогенного навантаження, пов'язаного з підвищеним рівнем евтрофікації через обмежений водообмін у портових спорудах. Підвищені концентрації поживних речовин у водному середовищі стимулюють обмінні процеси макрофтів і сприяють розвитку толерантних видів з високим коефіцієнтом питомої поверхні популяції. Із 27 видів макрофітів, знайдених уздовж узбережжя Грузії, до відділу *Rhodophyta* відносяться 13 видів, до *Chlorophyta* – 9 і до *Ochrophyta* – 5. На всіх чотирьох станціях моніторингу переважали *Rhodophyta*. Максимальна кількість *Chlorophyta* відмічена на станції порт Батумі. Найбільший відсоток *Ochrophyta* зафіксовано на станції Сарпі (рис. 2).

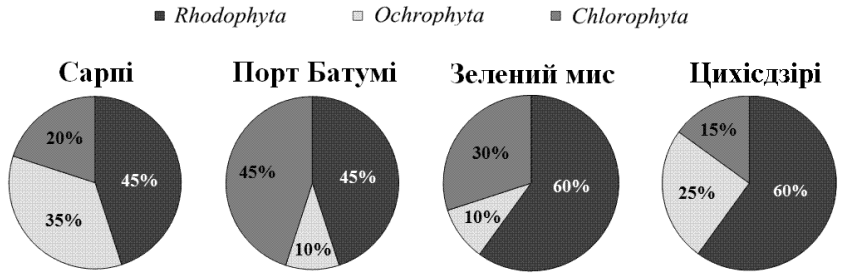

Рис. 2. Співвідношення різних таксономічних відділів макрофітів на станціях моніторингу біля узбережжя Грузії

За літературними даними, видовий склад макрофітобентосу акваторій, що прилягають до узбережжя Грузії з півночі та півдня, значно багатший. Біля узбережжя Туреччини (місто Різе-Артвин) кількість макрофітів становить 91 (*Cyanoprokaryota* – 3, *Chlorophyta* – 43, *Ochrophyta* – 15, *Rhodophyta* – 27 і *Tracheophyta* – 3) (Aysel et al., 2008), біля узбережжя Російської Федерації (міста Туапсе–Адлер) – 91 (*Chlorophyta* – 32, *Ochrophyta* – 18, *Rhodophyta* – 41) (Lisovskaya, Nikitina, 2010), що втричі більше, ніж біля узбережжя Грузії. Значну різницю в кількості видів у макрофітобентосі біля узбережжя Грузії та прилеглих акваторій можна пояснити початковим етапом досліджень, неможливістю в перші роки охопити всі сезонні періоди, глибинні горизонти, типи біотопів, а також можливим недоообліком дрібних епіфітних і ендофітних водоростей.

За допомогою коефіцієнта осциляції (VR) була проаналізована варіабельність екологічної активності макрофітів біля узбережжя Грузії, представлених трьома таксономічними відділами – *Rhodophyta*, *Ochrophyta* та *Chlorophyta*. Для відділу *Rhodophyta* зафіксовано найвище значення коефіцієнта осциляції питомої поверхні популяції – VR 352%. Червоні водорості з узбережжя Грузії характеризуються не тільки найбільшою кількістю видів (13), але й найбільшою різницею в

максимальному і мінімальному значеннях S/Wp. Найвищими показниками екологічної активністі серед червоних водоростей вирізняються види *A. secundatum* (277,1 ± 5,1 $м^2·кг^{-1}$), *S. alsidii* (212,7 ± 4,75 $м^2·кг^{-1}$) і *C. corymbosum* (188,79 ± 20,1 $м^2·кг^{-1}$).

У той же час у відділі *Rhodophyta* присутні також чутливі види-індикатори GES з низькими значеннями екологічної активності: *D. dichotomus* (9,77 ± 0,56 $м^2·кг^{-1}$) і *N. elminthoides* (7,21 ± 0,71 $м^2·кг^{-1}$). Таким чином, у представників червоних водоростей спостерігається найширший спектр значень питомої поверхні (рис. 3). У популяції (S/W_p) вона кількісно відображає екологічну активність виду.

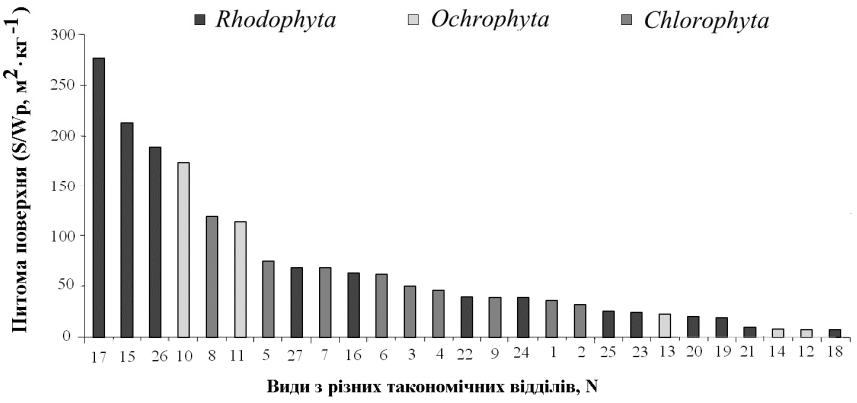

Рис. 3. Ряд екологічної активності макрофітів серед різних таксономічних відділів біля узбережжя Грузії. Порядкові номери видів (N) відповідають представленим у табл. 2.

Друге місце за показником коефіцієнта осциляції VR займає відділ *Ochrophyta* – 254%, притому що на узбережжі Грузії зафіксовано лише 5 видів цих водоростей. Найвищі значення S/Wp мають тонко розгалужені нитчасті форми бурих водоростей: *E. siliculosus* (173,5 ± 6,91 $м^2·кг^{-1}$) і *S. cirrosa* (114,07 ± 2,45 $м^2·кг^{-1}$). Найнижчі значення екологічної активності характерні для найбільш відомого домінанта чорноморських фітоценозів – багаторічної бурої ценозо-утворюючої водорості *T. barbata* (7,9 ± 0,6 $м^2·кг^{-1}$). Таке саме значення S/Wp має масовий вид, представник холодного періоду року – *S. lomentaria* (7,48 ± 0,35 $м^2·кг^{-1}$). Таким чином, у бурих водоростей спектр значень питомої поверхні трохи менший ніж у повного ряду екологічної активності макрофітів біля узбережжя Грузії (див. рис. 3). Найнижче значення VR 148% серед трьох порівнюваних відділів мають *Chlorophyta*, представлені 9 видами. У зелених водоростей, як і в бурих, найвищі значення екологічної активності мають тонко розгалужені нитчасті форми *U. penicilliformis* (119 ± 7,2 $м^2·кг^{-1}$) і *C. albida* (74,97 ± 2,59 $м^2·кг^{-1}$). Серед чорноморських зелених водоростей невідомі види, в яких на 1 кг маси таллому припадає менше 30 $м^2$ фотосинтезуючої

поверхні. Тому найнижчі значення S/Wp мають зелені водорості з пластинчастою формою талому роду *Ulva* Linnaeus: *U. intestinalis* (36,1 ± 1,1 $м^2 \cdot кг^{-1}$) та *U. linza* (32,03 ± 1,39 $м^2 \cdot кг^{-1}$). До того ж, у зелених водоростей найвужчий спектр екологічної активності, що становить менше половини повного ряду екологічної активності макрофітів, які ростуть на узбережжі Грузії (див. рис. 3).

Таким чином, найбільша варіабельність екологічної активності макрофітів характерна для представників відділу *Rhodophyta*, яка в 1,5 раза перевищує відповідний показник представників відділу *Ochrophyta* і вдічі – представників відділу *Chlorophyta*. Тому червоні водорості мають найбільший потенціал фізіологічних можливостей і здатні розвиватися як у чистих, так і в забруднених районах. Отже вони є більш лабільним функціональним елементом макрофітобентосу узбережжя Грузії та можуть займати різні біотопи в акваторіях зі сприятливим екологічним станом, а також ділянки, схильні до антропогенного навантаження. Наявність у флористичному складі фітобентосу чутливих видів, у яких S/Wp становить менше 25 $м^2 \cdot кг^{-1}$, свідчить про невисокий рівень продукційного процесу і сприятливі екологічні умови. І навпаки, присутність у складі угруповань великої кількості толерантних видів, екологічна активність яких вище 25 $м^2 \cdot кг^{-1}$, свідчить про евтрофікацію і можливі антропогенні навантаження. Серед 27 видів, зареєстрованих на морському узбережжі Грузії, 8 видів відносяться до чутливих і 19 – до толерантних. На станціях Цихісдзірі та Зелений Мис зафіксований майже однаковий показник співвідношення (%) чутливих і толерантних видів 30 : 70 (рис. 4). На моніторинговій станції Сарпі це співвідношення менше – ~ 20 : 80 (%). Станція порт Батумі займає в цьому ряду особливе місце. Структура угруповань макрофітів у даній акваторії повністю представлена толерантними видами (рис. 4). Антропогенне навантаження портової акваторії з утрудненим водообміном і підвищеним рівнем евтрофікації формує угруповання макрофітів, у яких присутні лише толерантні види: *A. secundatum*, *E. siliculosus*, *C. albida* та *C. corymbosum*.

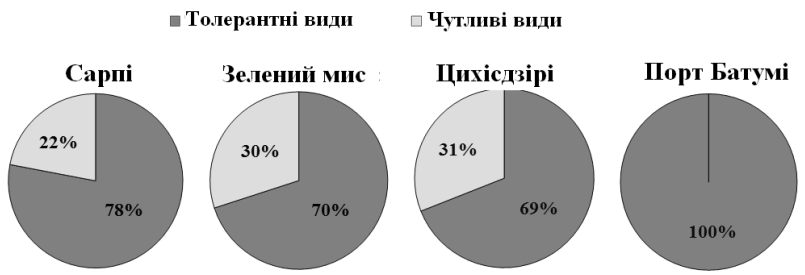

Рис. 4. Співвідношення чутливих і толерантних видів макрофітобентосу на станціях моніторингу біля узбережжя Грузії

Використання показника біомаси макрофітобентосу як індикатора моніторингу без додаткової характеристики екологічної активності угруповань не гарантує точності визначення екологічного статусу акваторії. Це пов'язано з тим, що великі, чутливі форми макрофітів з низьким рівнем коефіцієнта S/Wp, як правило, мають вищі показники біомаси. Наприклад, у чорноморській екосистемі види угруповань *Phyllophora* Grev. і *Cystoseira* C.Agardh, які характеризуються мінімальними значеннями S/Wp (6–12 м²·кг⁻¹) і є найбільш уразливими елементами донної рослинності, мають максимальні значення даного показника. При цьому індекси поверхні макрофітобентосу $ІП_Ф$ чутливих видів навіть при значній біомасі значно менші порівняно з такими толерантних форм. І навпаки, $ІП_Ф$ толерантних видів при незначній біомасі, за рахунок високих коефіцієнтів S/Wp, можуть досягати сотень метрів фотинтезуючої поверхні, що розвивається на 1 $м^2$ субстрату, і свідчити про підвищений первинно-продукційний процес. Такі закономірності чітко простежуються на станціях моніторингу біля узбережжя Грузії. На станціях Сарпі, Зелений Мис і Цихісдзірі з чутливими домінантами (*T. barbata*, *N. elminthoides*, *D. dichotomus*, *G. crinale*, *G. spinosum* і *D. dichotomus*), в яких середнє значення S/Wp видів становить близько 75 м²·кг⁻¹ та середнє значення біомаси макрофітобентосу досягає 1,300 кг·м⁻². І навпаки, в порту Батумі з толерантними домінантами *C. albida, U. prolifera, A. secundatum* і *C. corymbosum* при більш високому середньому значенні S/Wp флористичного складу 97,49 м²·кг⁻¹ біомаса фітоценозів з переважанням дрібних толерантних видів становить менше 0,300 кг·м⁻² (рис. 5).

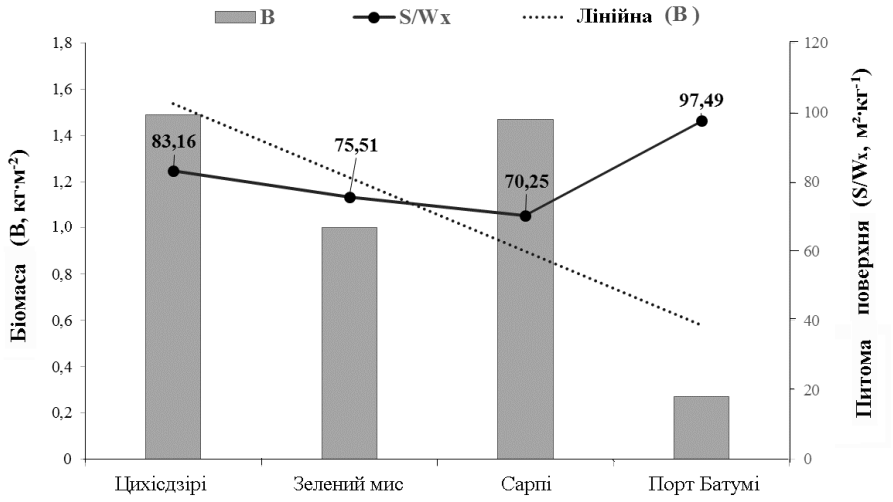

Рис. 5. Співвідношення показників біомаси та екологічної активності (S/Wx) угруповань макрофітів на станціях моніторингу біля узбережжя Грузії

Аналіз сезонної динаміки біомаси на станціях моніторингу підтверджує загальновідомі закономірності сезонної динаміки чорноморського макрофітобентосу (Eremenko, 1967; Kalugina-Gutnik, 1975). Сезонна зміна потоку речовини та енергії (фотосинтетично активна радіація, температура, паводковий стік), який забезпечує первинно продукційний процес у морських екосистемах, у т.ч. за рахунок розвитку донної рослинності, впливає на динаміку показників розвитку макрофітів. Незалежно від того, з багаторічних чи сезонних видів складаються біоценози, загальна біомаса фитобентосу збільшується від зимового до весняно-літнього сезону та знижується до осінньо-зимового. На моніторингових станціях Сарпі, Зелений Мис і Цихісдзірі, де фітоценози через присутність чутливих видів *T. barbata*, *G. crinale*, *G. spinosum*, *D. dichotomus* мають значну біомасу, сезонна динаміка макрофітобентосу найбільш виражена. Абсолютні значення біомаси угруповань протягом різних сезонів можуть відрізнятися в середньому втричі (рис. 6).

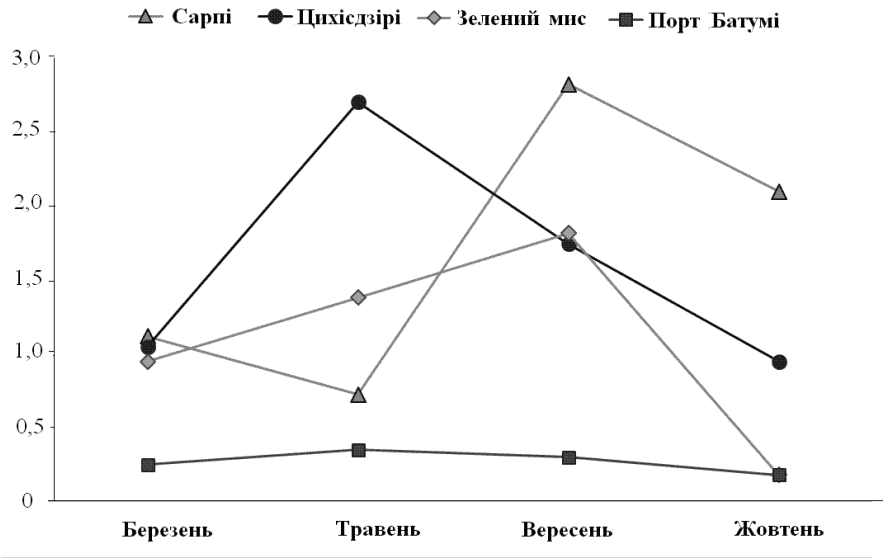

Рис. 6. Сезонна динаміка біомаси макрофітів на моніторингових станціях біля узбережжя Грузії в 2016–2019 рр.

При цьому піки динаміки біомаси, де домінують цистозіра та червоні водорості великих розмірів, припадають на травень–вересень. Чим менші абсолютні значення біомаси, тим менш виражена сезонна динаміка угруповань донної рослинності. Так, на станції порт Батумі через переважання дрібних толерантних видів *A. secundatum*, *C. corymbosum*, *E. siliculosus*, *B. hypnoides* і низьких значень біомаси сезонні зміни цього показника залишаються в межах статистичної похибки, тобто практично на одному рівні (див. рис. 6). Таким чином,

можна говорити про закономірність, що зв'язує вираженість сезонної динаміки макрофітів з абсолютними значеннями біомаси. За сприятливих екологічних умов, при переважанні в структурі фітоценозів великих багаторічних чутливих видів і, відповідно, високих значеннях біомаси, спостерігається виражена сезонна динаміка біомаси, значення якої зростають від весняного до літнього сезону та знижуються восени. В умовах антропогенного впливу, пов'язаного з евтрофікацією, коли угруповання макрофітів представлені дрібними сезонними толерантними видами з невисокими показниками біомаси, сезонна динаміка біомаси має слабко виражений характер. Так само як комплекс сезонних абіотичних умов визначає сезонну динаміку угруповань макрофітобентосу, так і річний цикл погодних умов ряду років впливає на міжрічну динаміку показників водної рослинності. Якщо проаналізувати багаторічні дані, як мінімум, декількох десятиліть, різниця в міжрічних погодних умовах може бути прийнята постійною (за винятком кліматично аномальних періодів). У цьому випадку тенденції багаторічних змін параметрів угруповань, включаючи флористичний склад та інші параметри структурно-функціональної організації угруповань, можна розглядати як відгук первинних продуцентів на ступінь антропогенного впливу. Для узбережжя Грузії таких даних по макрофітобентосу немає. Тому міжрічну динаміку зміни параметрів угруповань макрофітів можна інтерпретувати лише як відгук рослинних угруповань на різницю міжрічних погодних умов 2016–2019 рр.

Як видно з рис. 7, у 2016 та 2017 роках біомаса макрофітобентосу була практично на одному рівні. В 2019 р. спостерігалося її зниження майже вдвічі. Слід відзначити, що показник біомаси залежить не тільки від потоку речовини та енергії, але й від прибійної гідродинаміки, яка на невеликих глибинах сприяє обриву таломів і штучному заниженню значень даного показника. І якщо зйомка макрофітобентосу проводиться після шторму, це може спотворити картину динаміки інтенсивності продукційного процесу, що забезпечується макрофітами. Значення $ІП_Ф$ є більш надійним індикатором, оскільки крім показника біомаси, що змінюється залежно від гідродинамічним умов, враховує також екологічну активність видів, яка залежить тільки від енергетичного потоку, що забезпечує первинно-продукційний процес. У 2016 р. значення $ІП_Ф$ було практично вдвічі вище порівняно з періодом 2017–2019 рр., коли цей показник знаходився на одному рівні (див. рис. 7).

Отже, отримані дані по міжрічній динаміці індикаторів макрофітобентосу біля узбережжя Грузії поки що не дозволяють інтерпретувати їх для визначення довгострокових тенденцій зміни стану макрофітобентосу та, відповідно, екологічних умов прибережної екосистеми. Можна лише констатувати, що в період 2016–2019 рр. більш сприятливі умови для інтенсивного функціонування макрофітобентосу

біля узбережжя Грузії склалися в 2016 р. Подальший моніторинг повного комплексу індикаторів угруповань макрофітів дозволить виявити сучасні тенденції поліпшення або погіршення екологічних умов, в яких розвивається прибережна донна рослинність уздовж узбережжя Грузії.

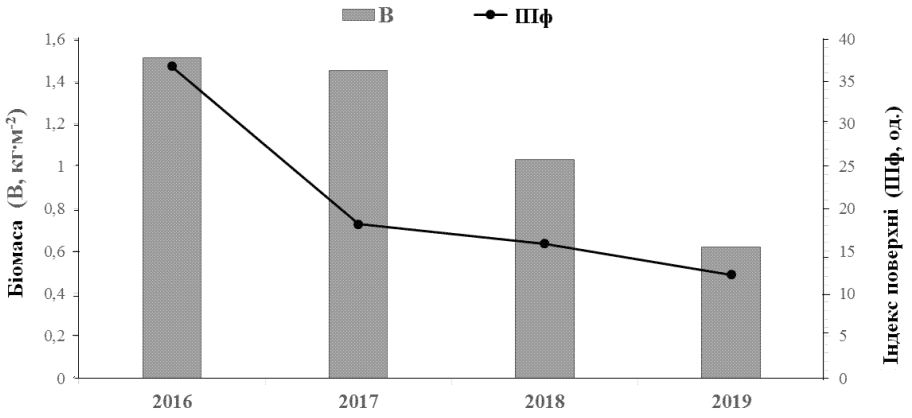

Рис. 7. Міжрічна динаміка біомаси (*B*) й індексу поверхні макрофітобентосу біля узбережжя Грузії

Висновки

1. В результаті досліджень макрофітобентосу біля узбережжя Грузії в 2016–2019 рр. у складі угруповань виявлено 27 видів макрофітів, які належать до відділів *Rhodohyta* (13), *Chlorophyta* (9) та *Ochrophyta* (5). На станціях моніторингу переважали *Rhodophyta*. Максимальна кількість зелених водоростей виявлена на станції порт Батумі. Найбільша частка бурих водоростей у макрофітобентосі зараєстрована на станції Сарпі.

2. Біля узбережжя Грузії найвище значення коефіцієнта осциляції питомої поверхні макрофітів характерне для представників відділу *Rhodophyta* (352%). Воно в 1,5 раза перевищує відповідний показник представників відділу *Ochrophyta* (254%) і вдвічі – представників *Chlorophyta* (148%). Червоні водорості мають найбільшу варіабельність екологічної активності та є найбільш лабільним функціональним елементом макрофітобентосу морського узбережжя Грузії, який може займати біотопи в акваторіях з хорошим екологічним станом і ділянки, що зазнають антропогенного навантаження.

3. Аналіз співвідношення чутливих і толерантних видів показав, що з 27 видів макрофітів біля узбережжя Грузії до чутливих відносяться 8 видів, до толерантних – 19. Найбільша кількість чутливих видів виявлена на станціях Зелений Мис і Цихісдзірі, що демонструє хороший

екологічний стан даних акваторії. На станції порт Батумі в структурі угруповань макрофітів переважають лише толерантні види, що свідчить про значне антропогенне навантаження.

4. На станціях Сарпі, Зелений Мис і Цихісдзірі при домінуванні великих багаторічних бурих і червоних водоростей середні значення біомаси макрофітобентосу становлять близько 1,300 кг·м$^{-2}$. На станції моніторингу порт Батумі, де переважають дрібні сезонні толерантні види, середня біомаса фітоценозів сягає майже 0,300 кг·м$^{-2}$.

5. Виявлено закономірність, позв'язану з вираженою сезонною динамікою та абсолютними значеннями біомаси фітоценозів. У хороших екологічних умовах, при переважанні в структурі чутливих видів і високих значеннях біомаси, спостерігається виражена сезонна динаміка. На станціях Сарпі, Зелений Мис і Цихісдзірі сезонні показники біомаси відрізняються майже втричі. За умов антропогенного навантаження, коли угруповання макрофітів представлені дрібними, коротко-циклічними толерантними видами з невисокими значеннями біомаси, сезонна динаміка біомаси має невиражений характер і знаходиться майже на одному рівні. Це спостерігалося на моніторинговій станції порт Батумі.

6. Отримані дані щодо чотирьохрічної міжрічної динаміки індикаторів макрофітобентосу поки що не дозволяють інтерпретувати їх для визначення тенденцій довготривалих змін стану макрофітобентосу та екологічного стану узбережжя Грузії. На основі отриманих даних можна лише констатувати, що в період 2016–2019 рр. найсприятливі умови для інтенсивного функціонування макрофітобентосу були в 2016 р.

Робота виконана за фінансової підтримки проекту EMBLAS-PLUS Поліпшення моніторингу навколишнього середовища в Чорному морі – спеціальні заходи.

Список літератури

Aysel V., Dural B., Şenkardeşler A., Erduğan H., Aysel F. 2008. Marine algae and seagrasses of Samsun (Black Sea, Turkey). *J. Black Sea/Mediter. Environ.* 14: 53–67.

Black Sea biological diversity: Georgia. Black Sea environmental series. 1998. Vol. 8. New York: Unit. Nat. Publ. 167 p.

DIRECTIVE 2008/56/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for Community action in the field of marine environmental policy, 17 June 2008 (MSFD, 2008/56/EC).

Eremenko T.I. 1967. In: *Biology of the northwestern part of the Black Sea*. Kyiv: Naukova Dumka. Pp. 126–143. [Еременко Т.И. 1967. Макрофитобентос. В кн.: *Биология северо-западной части Черного моря*. Киев: Наук. думка. С. 126–143].

Eremenko T.I. 1980. In: *Guide to methods of biological analysis of sea water and bottom sediments*. Leningrad: Gidrometeoizdat. Pp. 170–177. [Еременко Т.И. 1980. Макрофитобентос. В кн.: *Руководство по методам биологического анализа морской воды и донных отложений*. Л.: Гидрометеоиздат. С. 170–177].

Guiry M.D., Guiry G.M. 2020. *AlgaeBase.* World-wide electron. publ. Nat. Univ. Ireland, Galway. http://www.algaebase.org; searched on 15 July 2020.

Kalugina-Gutnik A.A. 1975. *Phytobenthos of the Black Sea*. Kyiv: Naukova Dumka. 248 p. [Калугина-Гутник А.А. 1975. *Фитобентос Черного моря.* Киев: Наук. думка. 248 с.].

Lisovskaya O.A., Nikitina V.N. 2010. Diversity of coastal macrophytobethos algae in the southern part of the Russian Black Sea coast. *Bull. St. Petersburg State Univ*. 3(1): 36–43. [Лисовская О.А., Никитина В.Н. 2010. Разнообразие водорослей прибрежного макрофитобетоса южной части российского побережья Черного моря. *Вестн. СПбГУ.* 3(1): 36–43].

Minicheva G.G. 2013. Use of the macrophytes morphofunctional parameters to asses ecological status class in accordance with the EU WFD. *Mor. ekol. J.* 12(3): 5–21.

Minicheva G.G. 2019. In: *Proceedings of the All-Ukrainian Scientific Conference* (Odesa, 29–31 May, 2019). Odesa. Pp. 12–16. [Мінічева Г.Г. 2019. Імплементація директиви ЄС про морську стратегію для державного моніторингу макрофітобентосу морських вод України. В кн.: *Матеріали Всеукраїнської наукової конференції* (29–31 травня 2019 р.). Одеса. С. 12–16].

Minicheva G.G., Zotov A.B., Kosenko M.N. 2003. In: *GEF UNDP Black Sea Ecosystems Recovery Project.* Prepr. Acad. Sci. Ukraine. Odessa branch Inst. Biol. Odessa. 32 p.

Minicheva G.G., Zotov A.B., Kosenko M.N. 2004. Possibilities of using the methodological apparatus of morpho-functional assessment of aquatic vegetation. *Mor. Ekol. J.* 3(3): 78–94. [Миничева Г.Г., Зотов А.Б., Косенко М.Н. 2004. Возможности использования методического аппарата морфофункциональной оценки водной растительности. *Мор. экол. журн.* 3(3): 78–94].

Minicheva G., Afanasyev D., Kurakin A. 2015. *Black Sea monitoring guidelines. Macropphytobenthos*. Secretariat commission protection Black Sea against pollution. Istanbul. 76 p.

The International Plant Names Index (IPNI). 2020. http://www.ipni.org (search 10.08.2020)

Vasnev S.A. 2001. *Statistics: Tutorial*. Moscow: Moscow State Univ. Print. Arts. 170 p. [Васнев С.А. 2001. *Статистика: Учебное пособие*. М.: МГУП. 170 с.].

Vinogradova K.L. 1974. *Ulvic algae (Chlorophyta) of the seas of the USSR.* Leningrad: Nauka. 166 p. [Виноградова К.Л. 1974. *Ульвовые водоросли* (*Chlorophyta*) *морей СССР.* Л.: Наука. 166 с.].

Zenkovich V.P. 1958. *The shores of the Black and Azov seas*. Moscow: Geografgiz. 373 p. [Зенкович В.П. 1958. *Берега Чёрного и Азовского морей.* М.: Географгиз. 373 с.].

Zinova A.D. 1967. *Identification manual of green, brown and red algae of the Southern Seas of the USSR*. Moscow, Leningrad: Nauka. 397 p. [Зинова А.Д. 1967. *Определитель зелёных, бурых и красных водорослей южных морей СССР*. М., Л.: Наука. 397 с.].

Підписав до друку П.М. Царенко

Minicheva G.G.[1], Tsetskhladze M.S.[2] 2021. **Current state of the macrophytobenthos of the Georgian coast.** *Algologia*. 31(1): 9–24.

[1]Institute of Marine Biology NAS of Ukraine,
37 Pushkinska Str., Odesa 65048, Ukraine

[2]Georgia National Environmental Agency,
Department of Fisheries, Aquaculture and Water Biodiversity,
51 Rustaveli Str., Batumi 6010, Georgia

Paper presents first data on seasonal and inter-annual features of macrophytobenthos of the Black Sea coast of Georgia. The study was conducted at four monitoring stations (Sarpi, Cape Zeleny, port Batumi, Tsikhisdziri) in different seasons of 2016–2019. A total of 27 species of macrophytes from the divisions *Rhodophyta* (13),*Chlorophyta* (9) and *Ochrophyta* (5) were identified. Their ecological activity was estimated based on the values of the specific surface of populations. The role of sensitive (S/Wp = 5–25 $m^2 \cdot m^2 \cdot kg^{-1}$) and tolerant (S/Wp ≥ 25 $m^2 \cdot 2 \cdot kg^{-1}$) species in relation the quality of the marine environment in the structure benthic communities of macrophytobenthos was analyzed. Of the identified macrophytes, 8 species are classified as sensitive and 19 as tolerant. The largest number of sensitive species was found at Cape Zeleny and Tsihisdziri stations, which indicates a satisfactory ecological condition of these sites. At the Batumi port station, only tolerant species were recorded, which is evidence of a significant anthropogenic load in this area. Representatives of *Rhodophyta* demonstrated the greatest variability of ecological activity (325%). This allows them inhabit areas with different intensity of the primary production process. A regular relationship between the seasonal dynamics and the absolute values of macrophyte biomass was demonstrated. Communities in satisfactory ecological conditions, with a predominance of sensitive species and high biomass, demonstrate clear seasonal dynamics. The values of macrophyte biomass increase threefold in the spring and summer. Analysis of the year-on-year dynamics of macrophytobenthos along the coast of Georgia showed that 2016 was the most favorable year for macrophytobenthos communities.

K e y w o r d s : macrophytobenthos, floristic composition, morphofunctional parameters, dynamics, Black Sea coast of Georgia