



DOI 10.23859/estr-230802

EDN FSQRVF

УДК 581.526.323 (477.75)

Научная статья

Многолетние изменения состава и структуры псевдолиторального макрофитобентоса в условиях интенсивного эвтрофирования у Южного берега Крыма (Черное море)

Т.В. Белич*, С.Е. Садогурский, С.А. Садогурская

Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН, 298648, Россия, г. Ялта, пт Никита, Никитский спуск, д. 52

*tbelich@yandex.ru

Аннотация. В результате мониторинговых исследований 1991–2022 гг., выполненных в морской псевдолиторали (ПСЛ) одного из рекреационно-туристических центров Южного берега Крыма (ЮБК), установлено, что летние растительные сообщества макрофитобентоса в разные годы отличались составом и структурой. Показано, что это обусловлено изменением уровня эвтрофирования прибрежно-морской акватории сточными водами, объем и степень загрязнения которых зависят от количества рекреантов и износа канализационных очистных сооружений (КОС). В 1990-х гг. на фоне трехкратного снижения числа рекреантов на смену сообществам мезосапробных солоноватоводно-морских представителей Chlorophyta, характерным для умеренно эвтрофированных вод, пришли полидоминантные сообщества, сформированные преимущественно олигосапробными морскими представителями Rhodophyta. В результате состав флоры и характер растительного покрова ПСЛ максимально приблизились к характерным для естественных и слабо трансформированных акваторий ЮБК. Двукратный рост числа рекреантов в конце 2000-х гг. в совокупности с прогрессирующим износом КОС обусловили смену растительного покрова ПСЛ, который с тех пор и донныне формируют моно- и олигодоминантные сообщества преимущественно полисапробных солоноватоводных космополитных представителей Chlorophyta. Сокращение объемов и качественная очистка сточных вод, поступающих в прибрежную акваторию, может способствовать восстановлению сообществ, типичных для южнобережной ПСЛ.

Ключевые слова: мониторинг, водоросли-макрофиты, эвтрофикация, видовой состав, биомасса, эколого-флористические группировки

Финансирование. Работа выполнена в рамках госзадания ФГБУН НБС-ННЦ № FNNS-2025-0006.

ORCID:

Т.В. Белич, <https://orcid.org/0000-0002-8326-7442>

С.Е. Садогурский, <https://orcid.org/0000-0002-5374-9838>

С.А. Садогурская, <https://orcid.org/0000-0002-2327-9484>

Для цитирования: Белич, Т.В. и др., 2025. Многолетние изменения состава и структуры псевдолиторального макрофитобентоса в условиях интенсивного эвтрофирования у Южного берега Крыма (Черное море). *Трансформация экосистем* 8 (1), 123–144. <https://doi.org/10.23859/estr-230802>

Поступила в редакцию: 02.08.2023

Принята к печати: 31.08.2023

Опубликована онлайн: 21.02.2025

DOI 10.23859/estr-230802

EDN FSQRVF

UDC 581.526.323 (477.75)

Article

Long-term changes in the composition and structure of the pseudolittoral macrophytobenthos in the intense eutrophication environment of the Southern Coast of Crimea (Black Sea)

T.V. Belich*, S.Ye. Sadogurskiy, S.A. Sadogurskaya

Nikitsky Botanical Garden – National Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Nikitsky Spusk St. 52, Nikita Settlement, Yalta, 298648 Russia

*tbelich@yandex.ru

Abstract. As a result of monitoring studies in 1991–2022, carried out in the marine pseudolittoral (PSL) of one of the recreational and tourist centers of the Southern Coast of Crimea (SCC), it was established that the summer plant communities of macrophytobenthos differed in composition and structure from year to year. It was shown that this is due to changes in the level of eutrophication of the coastal marine water area by wastewater, the amount of which and extent of pollution from which depend on the number of tourists and the damage to the sewage treatment plants (STP). In the 1990s, during a threefold decrease in the number of tourists, communities of mesosaprobic brackish-water-marine representatives of Chlorophyta, typical of moderately eutrophic waters, were replaced by polydominant communities formed mainly by oligosaprobic marine representatives of Rhodophyta. As a result, the composition of the flora and the nature of the vegetation cover of the PSL came as close as possible to those characteristic of the natural or slightly transformed water areas of the Southern Coast of Crimea.

Keywords: monitoring, macrophyte algae, eutrophication, species composition, biomass, ecological-floristic groups

Funding. The work was carried out within the framework of the state assignment of the Federal State Budgetary Scientific Institution NBS-NNC, no. FNNS-2025-0006.

ORCID:T.V. Belich, <https://orcid.org/0000-0002-8326-7442>S.Ye. Sadogurskiy, <https://orcid.org/0000-0002-5374-9838>S.A. Sadogurskaya, <https://orcid.org/0000-0002-2327-9484>

To cite this article: Belich, T.V. et al., 2025. Long-term changes in the composition and structure of the pseudolittoral macrophytobenthos in the intense eutrophication environment of the Southern Coast of Crimea (Black Sea). *Ecosystem Transformation* 8 (1), 123–144. <https://doi.org/10.23859/estr-230802>

Received: 02.08.2023

Accepted: 31.08.2023

Published online: 21.02.2025

Введение

Южный берег Крыма (ЮБК) – физико-географический район, протянувшийся на крайнем юге Крымского полуострова от м. Фиолент на западе до м. Ильи на востоке (Ена, 1983). На фоне прочих он выделяется разнообразием природно-климатических условий, определяющих богатство фитобиоты, что в полной мере относится и к прилегающей прибрежной акватории, образующей одноименный гидроботанический район Черного моря (Калугина-Гутник, 1975; Minicheva et al., 2014). С другой стороны, традиционное рекреационно-туристическое использование обуславливает высокую степень урбанизации и наличие развитой инфраструктуры. Более 70% общей протяженности береговой линии трансформировано и ныне представляет собой в основном искусственные пляжи, а и без того высокая плотность населения (235.5 чел/км²) в летний период увеличивается в несколько раз (Современные ландшафты..., 2009). При этом канализационные очистные сооружения (КОС) ЮБК изначально спроектированы как система глубоководных выпусков очищенных сточных вод. Но к настоящему времени их проектная мощность превышена, устаревшие коллекторы находятся в аварийном состоянии, а количество неочищенных и недоочищенных стоков превышает половину общего объема, поступающего в море (Пупырев, 2015). Поэтому одной из острых проблем ЮБК является хроническое эвтрофирование прибрежно-морских вод, которое локально (вблизи аварийных коллекторов) имеет наиболее высокую интенсивность.

Первичными продуцентами – основными потребителями биогенов – в прибрежных районах являются водоросли-макрофиты. Это одно из ключевых звеньев системы гомеостаза прибрежных экосистем и одновременно важнейший фактор в процессах самоочищения морских вод (Egorov et al., 2021). На увеличение уровня трофности среды макрофитобентос отвечает адаптивной перестройкой состава и структуры сообществ, при этом изменение биомассы и соответственно функциональной (в т.ч. очистительной) роли одних видов компенсируются противоположными изменениями у других видов (Ковардаков и Фирсов, 2008; Миничева, 1998; Миничева и др., 2013; и др.). Поэтому состав и структура сообществ макрофитобентоса являются важными показателями состояния прибрежной экосистемы, а их динамика (до определенного предела, за которым неизбежно наступает деградация растительности) отражает интенсивность и вектор происходящих изменений. Вместе с тем, у ЮБК исследования в этом направлении были и остаются относительно немногочисленными (Евстигнеева и Танковская, 2020а, b; Маслов, 1988, 1992). Особый интерес представляют стационарные наблюдения. Поэтому в 1991 г. в пгт Гурзуф, популярном центре сезонного туризма ЮБК, был заложен гидроботанический стационар для мониторинга макрофитобентоса псевдолиторальной зоны.

Цель настоящей работы – на основании гидроботанических исследований в прибрежно-морской акватории пгт Гурзуф охарактеризовать многолетние изменения и современное состояние состава и структуры псевдолиторального макрофитобентоса в условиях локального хронического эвтрофирования.

Объекты и методы исследования

Мониторинговый гидроботанический стационар (координаты N 44°31'41.7" E 34°16'23.8") расположен в границах пгт Гурзуф на участке береговой зоны, включающей законсервированное строительство рекреационного комплекса и КОС Водоканала. Бетонные стены, удерживающие



Рис. 1. Локализация гидрботанического стационара (N 44°31'41.7" E 34°16'23.8") и общий вид обследованного участка береговой зоны (пгт Гурзуф, Южный берег Крыма).

относительно пологий оползневой берег, окаймлены узким валунным пляжем. В бентали от уреза воды и вплоть до глубины 5–6 м грунт дна представляет собой глыбовый и глыбово-валунный навал – продукт разрушения коренного берега с примесью бетонных конструкций и их фрагментов (Рис. 1). КОС, введенные в эксплуатацию в 1973 г., имеют короткий и мелководный подводный выпуск, оканчивающийся примерно в километре от берега на глубине менее 40 м. Объем сточных вод, поступающих на очистку, составляет 3.5–7.0 тыс. м³/сут. и имеет преимущественно хозяйственно-бытовое происхождение (жилфонд, учреждения питания, размещения и обслуживания рекреантов), а потому, в соответствии с сезонной рекреационно-туристической нагрузкой, максимален в летний период. Будучи спроектированными по ПДК 1960-х гг., КОС не соответствуют современным нормативам и изношены на 98%, а поврежденный коллектор регулярно на всем своем протяжении выдает масштабные аварийные выбросы (Грузинов и др., 2018; Пупырев, 2015).

Исследования выполнены в псевдолиторали (ПСЛ) – зоне бентали, существование которой, в отличие от настоящей приливно-отливной литорали, в бесприливном Черном море обусловлено непериодическими (ветровыми и барическими) колебаниями уровня (Арнольди, 1948), достигающими у ЮБК 0.40–0.60 м (\pm 0.20–0.30 м над и под средним уровнем воды) (Белич и др., 2018; 2019 и др.).

Объект исследования – бентосные макрофиты. В 1991–1992 гг. с целью более полного выявления видового состава и структуры сообществ фактический материал отбирали ежесезонно, в последующие 1997, 1998, 2010, 2020 и 2022 гг. – в летний период. Лето было выбрано в качестве оптимального сезона для многолетних наблюдений, т.к. в это время не бывает сильных штормов, которые способны повредить или даже уничтожить растительность ПСЛ, в результате чего сравнение полученных данных будет некорректным или вообще невозможным. Количественные пробы отбирали рамкой 0.10×0.10 м в десятикратной повторности по общепринятой методике (Калугина-Гутник, 1975), модифицированной в соответствии со спецификой ПСЛ (Белич, 1993). Номенклатура представителей отделов Chlorophyta, Ochrophyta, Rhodophyta дана по "AlgaeBase"¹, имена авторов таксонов – в стандартном сокращении в соответствии с рекомендациями IPNI². При необходимости дополнительно (в скобках) приведены номенклатурные комбинации по определителю (Зинова, 1967), который использован в качестве базового руководства при идентификации видов.

¹ *AlgaeBase*, World-wide electronic publication, National University of Ireland, Ireland. Электронный ресурс. URL: <http://www.algaebase.org> (дата обращения: 22.05.2023).

² The International Plant Names Index (IPNI), 2019. Электронный ресурс. URL: <http://www.ipni.org> (дата обращения: 22.05.2023).

Эколого-флористические характеристики водорослей даны по А.А. Калугиной-Гутник (1975), сапробиологическая и галобная характеристики – по неопубликованным данным А.А. Калугиной-Гутник и Т.И. Еременко. Для каждого вида в отдельности определяли сырой вес, результаты пересчитывали на м², затем вычисляли среднее значение биомассы $x \pm S$ (БМ). Доминирующие виды выделяли с учетом БМ. Проективное покрытие (ПП) устанавливали глазомерно. Коэффициент флористического сходства Жаккара K_j (КФС) рассчитывали по В.М. Шмидт (1984). Единство методик позволяет сравнить результаты, полученные за все время наблюдений (1991–2022 гг.).

Результаты и обсуждение

В районе мониторингового стационара растительность ПСЛ на твердом субстрате образует не разделенный на ярусы и подзоны пояс шириной до 0.50 м (± 0.25 м). На начальном этапе исследования (1991–1992 гг.) были выявлены особенности сезонной динамики состава и структуры макрофитобентоса ПСЛ (Белич, 2002). За этот период зарегистрировано 42 вида³, при этом их количество (КВ) варьировало от 14 летом до 24 зимой. Происходила сезонная смена доминантов, что определяло череду циклически сменяющихся друг друга сообществ, обычно характеризующихся мозаичностью и полидоминантностью. БМ в них колебалась от 0.5–0.7 кг/м² при ПП 50% в осенне-зимний период до более чем 2 кг/м² при ПП до 90–100% весной. Весной на прибрежных валунах доминировала *Ulva intestinalis*⁴, в результате чего на долю Chlorophyta приходилось более 90% общей БМ макрофитов. Летом и осенью наряду с *U. intestinalis* в число доминантов входили *Ceramium ciliatum*, *Dictyota fasciola*, *Lophosiphonia obscura*, а также некоторые представители рода *Cladophora* Kütz. К концу лета – в первой половине осени под воздействием инсоляции большая часть талломов *U. intestinalis* и *C. ciliatum* обесцвечивалась и утрачивала жизнеспособность. Зимой доминирование переходило к *Scytosiphon lomentaria*, *Ceramium virgatum* и *Cladophora albida*. Из-за незначительной высоты растительного покрова, редко превышающей 5–7 см, ярусность в сообществах ПСЛ не была выражена. Во время ветровых или барических понижений уровня воды талломы относительно крупноразмерных видов (*U. intestinalis*, *Scytosiphon lomentaria* и др.) обнажались и лежали на субстрат. Необходимо отметить, что сильные шторма, наблюдающиеся с осени до весны, часто повреждали, а зимой местами полностью истирали растительность в ПСЛ.

В ходе многолетних наблюдений (1991–2022 гг.) в сезонных летних сообществах ПСЛ зарегистрировано 39 видов макроводорослей (Табл. 1), которые в разные годы при стабильном значении ПП 75–80% формировали растительные сообщества, различающиеся видовым составом, КВ, БМ и соотношением эколого-флористических групп.

В 1991 г. было зарегистрировано сообщество *Cladophora sericea* + *Ceramium ciliatum* + *Ulva intestinalis*, а в 1992 г. – сообщество *Cladophora vadorum* + *Cladophora sericea* + *Cladophora albida* + *Ulva intestinalis*. При одинаковом КВ по 15 ед. видовой состав изменился, но КФС между сообществами был довольно высок – 0.76 (Табл. 2). Кроме того, виды (в т.ч. доминанты) были близки аспективно и по комплексу эколого-флористических показателей, что определяло структурное сходство этих двух сообществ. В них по КВ преобладали коротковегетирующие (однолетние и сезонные) морские (60%) тепловодные (60%) представители Rhodophyta, относящиеся преимущественно к олигосапробам (53–60%) (Табл. 3). Несмотря на то, что общая БМ сообщества в 1992 г. была существенно выше, соотношения эколого-флористических группировок по БМ в оба года были подобны. Доминировали солоноватоводно-морские холодноводные (по 50%) однолетние Chlorophyta (по 70%), относящиеся преимущественно к мезосапробам (> 50%) (Табл. 4).

В 1997 г. было зарегистрировано сообщество *Ceramium ciliatum* + *Lophosiphonia obscura* + *Dictyota fasciola* + *Ulva intestinalis*, а в 1998 г. – сообщество *Ceramium ciliatum* + *Dictyota fasciola* + *Cladophora albida*. При КВ 14 и 18 соответственно КФС между ними составлял всего 0.39 (Табл. 2), но соотношение эколого-флористических группировок было аналогичным. По КВ преобладали коротковегетирующие олигосапробные (64–50%) тепловодные (57–61%) морские (57–56%) представители Rhodophyta (43–50%) (Табл. 3). Общие БМ сообществ в 1997 и 1998 гг. идентичны; также близки были и соотношения эколого-флористических группировок. БМ сообществ в основном (> 50%) была сформирована олигосапробными сезонными летними тепловодными Rhodophyta, относящимися к морской группе (Табл. 4).

³ Ранее было указано 45 видов макрофитов (Белич, 2002), ныне количество видов скорректировано в соответствии с современными номенклатурно-таксономическими изменениями (AlgaeBase).

⁴ Полные номенклатурные комбинации приводятся ниже (Табл. 1).

Табл. 1. Список видов и биомасса (г/м²) водорослей-макрофитов в сезонных летних сообществах ПСЛ прибрежно-морской акватории гидротехнического стационара в пгт Гурзуф (1991–2022 гг.). Прочерк обозначает отсутствие вида в пробах, м – менее 0.01 г в пробе, ошибка среднего ($\pm S$) приводится для случаев, если коэффициент вариации $v < 100\%$.

Вид	Период наблюдений (дата отбора проб)						
	1991 (28.08)	1992 (01.08)	1997 (27.08)	1998 (22.07)	2010 (12.07)	2020 (25.07)	2022 (03.08)
CHLOROPHYTA							
<i>Cladophopsis membranacea</i> (Bang ex C. Agardh) Børgesen, 1905	–	–	–	–	–	–	66.5
<i>Chaetomorpha aerea</i> (Dillwyn) Kütz., 1849	1.13	115.93	7.50	2.50	–	6.50	8.4
<i>Cladophora albida</i> (Nees) Kütz., 1843 [<i>Cladophora albida</i> (Huds.) Kütz.]	94.07	189.33	2.00	175.10	9.8	20.70	139.20
<i>Cladophora sericea</i> (Huds.) Kütz., 1843	422.50	240.87	м	–	1.0	23.40	13.3
<i>Cladophora vadorum</i> (Aresch.) Kütz., 1849	–	469.80	–	–	–	–	–
<i>Rhizoclonium riparium</i> (Roth) Harv., 1849 [<i>Rhizoclonium implexum</i> (Dillwyn) Kütz.]	–	–	–	–	м	м	9.50
<i>Ulothrix implexa</i> (Kütz.) Kütz., 1849	–	–	–	–	–	–	5.5
<i>Ulva intestinalis</i> L., 1753 [<i>Enteromorpha intestinalis</i> (L.) Link nom. illeg.?]]	136.15 \pm 41.10	161.4	128.60 \pm 118.16	114.60	698.5 \pm 611.33	672.55 \pm 308.09	235.90
<i>Ulva kyllinii</i> (Bliding) H.S. Hayden, Blomster, Maggs, P.C. Silva, Stanhope & Waaland, 2003 [<i>Enteromorpha kyllinii</i> Bliding]	–	–	–	–	–	20.20	10.5
<i>Ulva rigida</i> C. Agardh, 1823	–	5.00	–	3.20	–	46.60	–
<i>Ulvella viridis</i> (Reinke) R. Nielsen, O'Kelly & B. Wyvor, 2013 [<i>Entocladia viridis</i> Reinke]	–	–	–	–	м	–	–
OCHROPHYTA							
<i>Dictyota fasciola</i> (Roth) J.V. Lamour., 1809 [<i>Dilophus fasciola</i> (Roth) M. Howe]	50.20	57.00	274.50	243.60	–	3.00	м
<i>Ectocarpus siliculosus</i> (Dillwyn) Lyngb., 1819 [<i>Ectocarpus confervoides</i> (Roth) Le Jolis]	–	–	–	м	м	–	–

Вид	Период наблюдений (дата отбора проб)							
	1991 (28.08)	1992 (01.08)	1997 (27.08)	1998 (22.07)	2010 (12.07)	2020 (25.07)	2022 (03.08)	
<i>Ericaria bosporica</i> (Sauv.) D. Serio et G. Furnari, 2021 [<i>Cystoseira bosporica</i> Sauv.]	–	–	9.20	3.00	–	1.5	–	–
<i>Feldmannia irregularis</i> (Kütz.) Hamel, 1939 [<i>Ectocarpus arabicus</i> Fig. et De Not.]	–	–	M	–	–	–	–	–
<i>Padina pavonica</i> (L.) Thivy, 1960 [<i>Padina pavonia</i> (L.) Gaill. nom. illeg. ?]	24.53	–	–	–	–	M	0.6	–
<i>Scytosiphon lomentaria</i> (Lyngb.) Link, nom. cons., 1833 [<i>Scytosiphon lomentaria</i> (Lyngb.) J. Agardh]	–	–	–	2.00	7.5	0.5	–	–
<i>Sphaecelaria cirrosa</i> (Roth) C. Agardh, 1824	M	0.27	M	M	–	M	M	M
RHODOPHYTA								
<i>Bonnemaisonia hamifera</i> Har., 1891	–	–	–	–	–	M	M	M
<i>Callithamnion corymbosum</i> (Sm.) Lyngb., 1819	–	–	–	41.50	–	–	–	1.8
<i>Carradoriella denudata</i> (Dillwyn) Savoie et G.W. Saunders, 2019 [<i>Polysiphonia denudata</i> (Dillwyn) Kütz., nom. illeg. ?]	0.36	148.67	8.00	149.50	7.4	–	–	–
<i>Ceramium ciliatum</i> (J. Ellis) Ducluz., 1806	138.98	143.33	536.30	594.50	123.0	5.50	4.6	–
<i>Ceramium diaphanum</i> (Lightf.) Roth, 1806	–	–	–	–	114.0	–	1.6	–
<i>Ceramium siliquosum</i> var. <i>elegans</i> (Roth) G. Furnari, 1999 [<i>Ceramium elegans</i> Ducl.]	–	–	–	–	–	M	–	–
<i>Ceramium virgatum</i> Roth, 1797 [<i>Ceramium pedicellatum</i> (Duby) J. Agardh nom. illeg. ?; <i>Ceramium rubrum</i> (Huds.) C. Agardh nom. illeg. ?]	1.43	–	–	53.60	4.0	–	17.9	–

Вид	Период наблюдений (дата отбора проб)							
	1991 (28.08)	1992 (01.08)	1997 (27.08)	1998 (22.07)	2010 (12.07)	2020 (25.07)	2022 (03.08)	
<i>Chondria capillaris</i> (Huds.) M.J. Wynne, 1991 [<i>Chondria tenuissima</i> (Gooden. et Woodw.) C. Agardh]	17.50	1.00	–	1.60	–	–	–	
<i>Colaconema daviesii</i> (Dillwyn) Stegenga, 1985 [<i>Acrochaetium daviesii</i> (Dillwyn) Nägeli]	–	–	–	–	M	–	–	
<i>Laurencia coronopus</i> J. Agardh, 1852	–	–	23.40	–	–	2.5	–	
<i>Laurencia pyramidalis</i> Bory ex Kütz., 1849 [<i>Laurencia obtusa</i> var. <i>pyramidata</i> Bory ex J. Agardh].	–	–	–	–	–	–	3.6	
<i>Lophosiphonia obscura</i> (C. Agardh) Falkenb., 1897	3.50	3.67	383.00	3.00	27.2	–	6.1	
<i>Jania virgata</i> (Zanardini) Mont., 1846 [<i>Coralina granifera</i> J. Ellis et Soland.]	31.43	66.0	–	15.5	–	–	–	
<i>Nemalion elminthoides</i> (Velley) Batters, 1902	–	–	–	–	–	18.20	–	
<i>Osmundea pinnatifida</i> (Huds.) Stackh., 1809 [<i>Laurencia pinnatifida</i> (S.G. Gmel.) J.V. Lamour. nom. illeg. ?]	–	–	–	1.00	–	–	–	
<i>Palisada perforata</i> (Bory) K.W. Nam, 2007 [<i>Laurencia papillosa</i> (Forsk.) Grev. nom. illeg. ?]	2.00	3.33	–	126.50	–	–	–	
<i>Palisada thuyoides</i> (Kütz.) Cassano, Senties, Gil-Rodríguez et M.T. Fujii, 2009 [<i>Laurencia paniculata</i> J. Agardh]	–	–	157.50	–	–	–	–	
<i>Pneophyllum confervicola</i> (Kütz.) Y.M. Chamb., 1983 [<i>Melobesia minutula</i> Foslie]	M	M	M	–	M	–	M	
<i>Pterothamnion plumula</i> (J. Ellis) Nägeli, 1855 [<i>Antithamnion plumula</i> (J. Ellis) Thur.]	–	–	–	–	–	0.5	M	
<i>Rhodochorton purpureum</i> (Lightf.) Rosenv., 1900	–	–	–	–	–	M	–	
<i>Vertebrata subulifera</i> (C. Agardh) Kuntze, 1891 [<i>Polysiphonia subulifera</i> (C. Agardh) Harv.]	–	–	–	–	–	M	–	

Табл. 2. Коэффициент флористического сходства Жаккара (K_j) между сезонными летними сообществами водорослей-макрофитов ПСЛ прибрежно-морской акватории гидробиотического стационара в пгт Гурзуф (1991–2022 гг.).

Год	K_j						
	1991	1992	1997	1998	2010	2020	2022
1991	1	0.76	0.53	0.57	0.38	0.30	0.45
1992		1	0.53	0.38	0.26	0.30	0.35
1997			1	0.39	0.33	0.31	0.36
1998				1	0.33	0.31	0.31
2010					1	0.21	0.36
2020						1	0.43
2022							1

В 2010 и 2020 гг. было зарегистрировано монодоминантное сообщество *Ulva intestinalis*, а в 2022 г. – олигодоминантное сообщество *Ulva intestinalis* + *Cladophora albida*. При КВ 14 и 20 соответственно КФС с сообществами предыдущих лет варьировал от 0.26 до 0.45 (Табл. 2). По КВ соотношение эколого-флористических группировок мало отличалось от такового в предыдущие годы: с некоторыми вариациями преобладали коротковегетирующие (70–100%) морские и солоноватоводно-морские (до 55 и 57%) преимущественно тепловодные (до 45%) представители Rhodophyta и Chlorophyta (до 50 и 40%), относящиеся к олиго- и мезосапробам (до 50 и 43%) (Табл. 3). По сравнению с 2010 и 2020 гг. к 2022 г. БМ сообщества существенно снижается. Однако соотношение эколого-флористических группировок по БМ остается в эти годы стабильным и при этом резко отличается от того, что было зафиксировано в предыдущий период. С большим отрывом доминируют коротковегетирующие (до 91%) солоноватоводные (до 82%) космополитные (до 82%) представители Chlorophyta (до 96%), относящиеся преимущественно к полисапробам (до 82%) (Табл. 4). Такая ситуация как раз и обусловлена массовым (до 70–80% общей БМ) развитием *U. intestinalis*. Это один из наиболее эврибионтных представителей макроальгофлоры, широко распространенный в морях Мирового океана и выдерживающий сильное распреснение и чрезвычайно высокий уровень эвтрофирования среды.

Анализ распределения КВ по эколого-флористическим группировкам в ПСЛ гидробиотического стационара дает следующие результаты. В течение всего периода наблюдений 1991–2022 гг. летом по КВ лидируют Rhodophyta, но с 2010 г. в абсолютном и в долевым выражении наблюдается некоторое увеличение роли Chlorophyta (Табл. 3, Рис. 2А). Среди сапробиологических группировок по КВ преобладают олигосапробы (49%), но суммарно ровно столько же приходится на долю мезо- и полисапробов (Табл. 3). Описывая влияние эвтрофирования на альгофлору Новороссийской бухты, А.А. Калугина-Гутник считала подобное соотношение свидетельством значительного загрязнения акватории (Калугина-Гутник, 1975). В ПСЛ стационара соотношение сапробиологических группировок по КВ в течение периода наблюдений не проявляет четкой тенденции, но в 2022 г. прослеживается резкое увеличение доли полисапробов, которые достигли четверти общего КВ (Рис. 2С). Такое распределение по сапробиологическим группировкам позволяет предположить, что уровень эвтрофирования морской воды в акватории был повышенным изначально (т.е. в 1991–1992 гг.), а к настоящему времени он стал еще выше.

В целом около половины общего КВ приходится на тепловодный комплекс, при этом в последние годы его доля демонстрирует значительное уменьшение: с 60% до 40–45%. Важно отметить, что произошло это в основном за счет тех представителей космополитной и холодноводной фитогеографических группировок, которые одновременно относятся к поли- и мезосапробам (Табл. 3).

В плане галобности более половины общего КВ относится к морской группе, вместе с тем с 1998 г. наблюдается устойчивое увеличение количества солоноватоводно-морских видов. К 2022 г. оно удвоилось и составило половину общего КВ (Табл. 3).

Многолетние наблюдения свидетельствуют, что БМ разных систематических и экологических групп гораздо информативнее показывает тенденции трансформации среды, нежели КВ (Белич

Табл. 3. Количество видов макрофитов в эколого-флористических группировках в сезонных летних сообществах ПСЛ прибрежно-морской акватории гидробиологического стационара пгт Гурзуф (1991–2022 гг.).

Группировка	Количество видов, ед. / %										Всего во флоре
	Период наблюдений										
	1991	1992	1997	1998	2010	2020	2022				
Chlorophyta	4 26.67	6 40	4 28.57	4 22.22	5 35.71	7 35.00	8 40.00	14 25.45			
Ochrophyta	3 20.00	2 13.33	4 28.57	5 27.78	2 14.29	5 25.00	3 15.00	10 18.18			
Rhodophyta	8 53.33	7 46.67	6 42.86	9 50.00	7 50.00	8 40.00	9 45.00	31 56.36			
Сезонные летние	3 20.00	2 13.33	3 21.43	2 11.11	1 7.14	5 25.00	4 20.00	7 12.73			
Сезонные зимние	0 0	0 0	0 0	2 11.11	2 14.28	1 5.00	0 0	5 9.09			
Однолетние	9 60.00	9 60.00	7 50.00	8 44.44	11 78.57	8 40.00	12 60.00	26 47.27			
Многолетние	3 20.00	4 26.67	4 28.57	6 33.33	0 0	5 25.00	3 15.00	15 27.27			
Нет данных	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	1 5.00	1 5.00	2 3.64			
Олигосапробы	9 60.00	8 53.33	9 64.29	9 50.00	5 35.71	10 50.00	8 40.00	27 49.09			
Мезосапробы	4 26.67	6 40.00	4 28.57	6 33.33	6 42.86	8 40.00	6 30.00	20 36.36			

Группировка	Количество видов, ед. / %										Всего во флоре
	1991	1992	1997	1998	2010	2020	2022				
	Период наблюдений										
Полисапробы	2 13.33	1 6.67	1 7.14	3 16.67	3 21.43	1 5.00	5 25.00				7 12.73
Нет данных	0	0	0	0	0	1	1				1
	0	0	0	0	0	5.00	5.00				1.82
Тепловодные	9 60.00	9 60.00	8 57.14	11 61.11	4 28.58	9 45.00	8 40.00				26 47.27
Холодноводные	4 26.67	5 33.33	4 28.57	4 22.22	5 35.71	7 35.00	7 35.00				21 38.18
Космополит	2 13.33	1 6.67	1 7.14	3 16.67	5 35.71	3 15.00	3 15.00				6 10.91
Эндемик	0	0	1 7.14	0	0	1 5.00	0				1 5.00
Нет данных	0	0	0	0	0	0	1				1
	0	0	0	0	0	0	5.00				1.82
Морские	9 60.00	9 60.00	8 57.14	10 55.56	5 35.71	11 55.00	9 45.00				32 58.18
Солоноватоводно-морские	5 33.33	5 33.33	5 35.71	7 38.89	8 57.14	8 40.00	10 50.00				21 38.18
Солоноватоводные	1 6.67	1 6.67	1 7.14	1 5.56	1 7.14	1 5.00	1 5.00				2 3.64
Всего	15 100	15 100	14 100	18 100	14 100	20 100	20 100				55 100

Табл. 4. Биомасса макрофитов в эколого-флористических группировках в сезонных летних сообществах ПСЛ прибрежно-морской акватории гидроботанического стационара пгт Гурзуф (1991–2022 гг.).

Группировка	Биомасса, г/м ² / %									
	Период наблюдений									
	1991	1992	1997	1998	2010	2020	2022			
Chlorophyta	653.85	1182.33	138.1	295.4	709.30	789.95	508.80			
	70.78	73.64	9.03	19.30	71.47	96.14	93.36			
Ochromytha	74.73	57.27	283.7	248.6	7.50	5.00	0.6			
	8.09	3.57	18.54	16.24	0.76	0.61	0.11			
Rhodophyta	195.20	366.00	1108.2	986.7	275.60	26.70	35.6			
	21.13	22.79	72.43	64.46	27.77	3.25	6.53			
Сезонные летние	213.71	200.33	810.8	838.1	123.00	26.70	71.7			
	23.13	12.48	52.99	54.75	12.39	3.25	13.16			
Сезонные зимние	0	0	0	2	7.5	0.5	0			
	0	0	0	0.13	0.76	0.06	0			
Однолетние	676.64	1330.67	529.10	541.4	861.9	743.85	469.7			
	73.25	82.88	34.58	35.37	86.85	90.53	86.18			
Многолетние	33.43	74.6	190.1	149.2	0	50.60	3.6			
	3.62	4.64	12.43	9.75	0	6.16	0.66			
Нет данных	0	0	0	0	0	М	М			
	0	0	0	0	0	0	0			
Олигосапробы	265.77	386.86	1008.4	988.2	130.50	37.20	83.7			
	28.77	24.10	65.90	64.56	13.15	4.53	15.36			
Мезосапробы	520.43	1057.34	393.00	332.8	45.40	91.70	168.1			
	56.34	65.85	25.69	21.74	4.57	11.16	30.84			

Группировка	Биомасса, г/м ² / %									
	Период наблюдений									
	1991	1992	1997	1998	2010	2020	2022			
Полисапробы	137.58	161.40	128.60	209.7	816.50	672.55	282.7			
Нет данных	14.89	10.05	8.41	13.70	82.28	81.85	51.87			
	0	0	0	0	0	20.20	10.5			
	0	0	0	0	0	2.46	1.93			
Тепловодные	269.63	543.93	1376.00	1184.4	271.6	81.30	89.6			
	29.19	33.88	89.93	77.38	27.37	9.89	16.44			
Холодноводные	516.57	900.27	2.00	178.1	18.3	65.30	168.5			
	55.92	56.07	0.13	11.64	1.84	7.95	30.92			
Космополит	137.58	161.4	128.60	168.2	702.5	672.55	283.3			
	14.89	10.05	8.41	10.99	70.79	81.85	51.98			
Эндемик	0	0	23.40	0	0	2.5	0			
	0	0	1.53	0	0	0.30	0			
Нет данных	0	0	0	0	0	м	3.6			
	0	0	0	0	0	0	0.66			
Морские	268.14	279.6	1383.90	991.9	150.2	97.5	91.9			
	29.03	17.41	90.45	64.80	15.14	11.87	16.86			
Солоноватоводно-морские	519.49	1164.6	17.5	424.2	142.70	51.60	197.2			
	56.23	72.53	1.14	27.71	14.38	6.28	36.18			
Солоноватоводные	136.15	161.4	128.60	114.6	698.50	672.55	255.9			
	14.74	10.05	8.41	7.49	70.38	81.85	46.96			
Всего	923.78	1605.60	1530.00	1530.7	992.40	821.65	545.00			
	100	100	100	100	100	100	100			

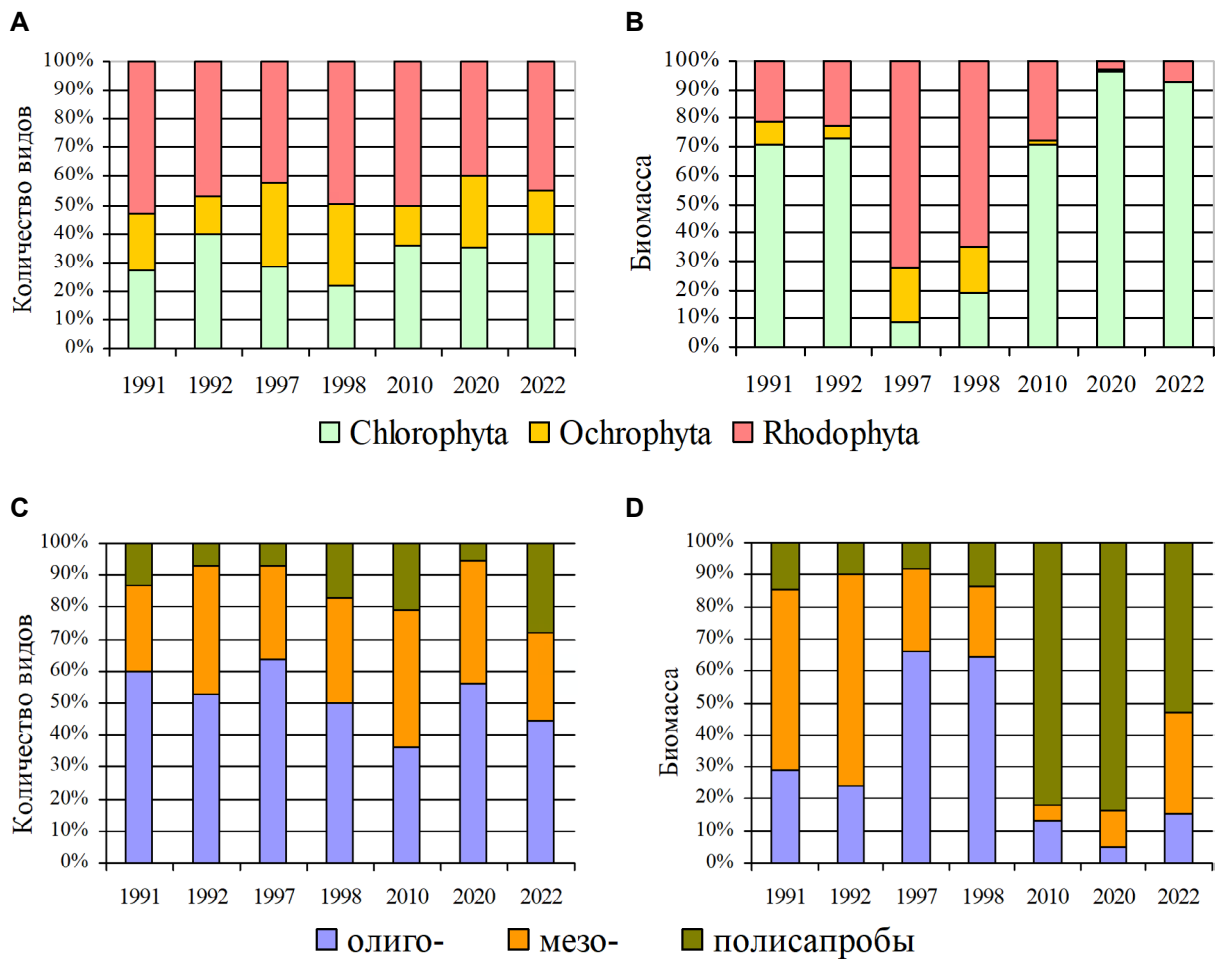


Рис. 2. Соотношение систематических и сапробиологических группировок макрофитобентоса в сезонных летних сообществах псевдолиторали прибрежно-морской акватории гидрботанического стационара в пгт Гурзуф (1991–2022 гг.): систематических – по количеству видов (А) и по биомассе (В); сапробиологических – по количеству видов (С) и по биомассе (D).

и др., 2019; Садогурский, 2014, 2017). В многолетнем ряду наблюдений были периоды увеличения и уменьшения БМ сезонных летних сообществ. Максимальные значения БМ были отмечены в полидоминантных сообществах в 1992 г. и в конце 90-х (Табл. 4). В начале десятилетия БМ в основном формировали коротковегетирующие мезосапробные холодноводные солоноватоводно-морские представители Chlorophyta. К концу этого десятилетия наметился перелом: на фоне двукратного увеличения доли многолетников ведущие позиции (с долей не менее 60%) перехватили олигосапробные тепловодные морские представители Rhodophyta. В этот период доминантами сообщества стали олигосапробные *S. ciliatum* и *D. fasciola*, что характерно для летней растительности ПСЛ в прибрежных акваториях у ЮБК, не подверженных интенсивному эвтрофированию (Белич и др., 2018; Садогурский, 2009, 2014). С 2010 г. отмечено снижение общей БМ растительности, к 2022 г. ее значения уменьшились в три раза по сравнению с максимальными. Несмотря на то, что по КВ Rhodophyta остаются наиболее широко представленной группой, их БМ в сообществах уменьшилась более чем в 10 раз. Лидерство вновь переходит к коротковегетирующим Chlorophyta, которые формируют моно- и олигодоминантные сообщества, но отныне в них доминируют полисапробные солоноватоводные космополиты (70–80% БМ) (Табл. 4, Рис. 2В, D).

Характер структурно-функциональной организации макрофитобентоса ПСЛ гидрботанического стационара свидетельствует, что в начале 1990-х гг. акватория, прилегающая к КОС пгт Гурзуф, в летний сезон характеризовалась повышенным уровнем эвтрофирования. К концу десятилетия уровень эвтрофирования очевидно снизился, в результате чего состав флоры и характер растительного покрова в этот период максимально соответствовали таковым в естествен-

ных и слабо трансформированных акваториях ЮБК. Как долго он длился и когда начались очередные изменения, мы, к сожалению, точно сказать не можем. Но очевидно, что к концу 2010-х гг. уровень эвтрофирования увеличился настолько, что ситуация ухудшилась даже по сравнению с началом 1990-х гг. С этого времени и доныне структурно-функциональная организация макрофитобентоса ПСЛ гидробиотического стационара свидетельствует о стабильно высокой эвтрофикации и, вероятно, о локальном распреснении прибрежных вод в летний сезон.

Если изменение соотношения эколого-флористических группировок по КВ позволяло лишь строить некоторые предположения, то динамика соотношения эколого-флористических группировок по БМ дает уверенность в правильности определения характера и вектора трансформации условий водной среды.

Источник эвтрофирования определить несложно. Учитывая расположение стационара непосредственно в зоне пролегания короткого мелководного аварийного коллектора КОС, логично предположить, что именно его стоки являются причиной локального интенсивного эвтрофирования и распреснения. Более трудной задачей является оценка динамики их поступления и, соответственно, изменения интенсивности эвтрофирования прибрежно-морской акватории в 1991–2022 гг., а также установление связи с масштабами изменений в растительном покрове ПСЛ стационара. Динамической информации, тем более по отдельному коллектору, в открытом доступе нет. На ЮБК основной объем сточных вод формируется хозяйственно-бытовой деятельностью населения и объектами туристической сферы, т.е. прямо зависит от количества рекреантов. Их основной поток к тому же приходится именно на летний сезон (численность местного населения и интенсивность хозяйствования за период исследований и в прочие сезоны года будем считать относительно постоянными). Статистика свидетельствует, что к 1995 г. турпоток в Крым (значительная часть которого всегда концентрируется на ЮБК, в т.ч. в Гурзуфе) по сравнению с началом десятилетия снизился более чем в три раза (Туризм в Крыму⁵; Управление федеральной службы⁶). Нагрузка на инфраструктуру и объем сточных вод соответственно уменьшились, что, несомненно, снизило уровень трофности прибрежно-морских вод у ЮБК. Наиболее заметное снижение должно было произойти вблизи самих локальных источников интенсивного эвтрофирования, одним из которых является коллектор гурзуфской КОС. Очевидно, что так и случилось. К 1997–1998 гг. сообщества ПСЛ гидробиотического стационара адаптировались к уменьшению трофности вод, в результате их структурно-функциональная организация стала такой же, как в большинстве естественных акваторий региона (Белич и др., 2018; Садогурский, 2009, 2014). Ряд исследователей отмечает, что на это время пришелся период общего оздоровления экосистем у берегов Крыма и в Черном море в целом (Заика и др., 2004; Мильчакова, 2003; Minicheva et al., 2008). В 2000-е гг. начались обратные процессы. К 2009 г. по сравнению с 1995 г. в два раза возрос турпоток, а значит и объем сточных вод (Туризм в Крыму; Управление федеральной службы). При этом необходимо отметить, что в течение обсуждаемых тридцати лет степень износа гурзуфской КОС неуклонно возрастала, достигнув 98% (Пупырев, 2015). На этом фоне в сообществах макрофитобентоса ПСЛ произошли столь сильные структурно-функциональные изменения, что при сохранении современного уровня эвтрофирования (а тем более при его возможном увеличении) возможна их деградация. Первыми признаками таковой следует считать развитие в летний сезон моно- и олигодоминантных сообществ полисапробных солоноватоводных космополитов с низкой БМ. Как показывает динамика структурно-функциональной организации макрофитобентоса, наблюдавшаяся в 1990-х гг., ситуация обратима. Но восстановление (вероятно в течение 2–3 лет) возможно лишь при условии сокращения объемов неочищенных сточных вод, поступающих в прибрежную акваторию.

Было бы неверным считать, что моно- и олигодоминантные сообщества мезо- и полисапробных Chlorophyta вовсе нехарактерны для южнобережной ПСЛ. Однако чаще всего они развиваются и относительно недолго регистрируются весной (что отмечено выше при кратком описании сезонных изменений), гораздо реже осенью, т.е. в переходные периоды, когда одни сезонные виды (и сообщества) завершают свою вегетацию, а другие еще не полностью развились. Их непрерывное существование с весны до осени однозначно связано с избыточным эвтрофированием, поскольку в это же время в прилегающих акваториях развивались полидоминантные сообщества (неопу-

⁵Туризм в Крыму. Википедия, 2023. Электронный ресурс. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%83%D1%80%D0%B8%D0%B7%D0%BC_%D0%B2_%D0%9A%D1%80%D1%8B%D0%BC%D1%83 (дата обращения 22.05.2023).

⁶ Управление федеральной службы государственной статистики по Республике Крым и г. Севастополю (Крымстат). Электронный ресурс. URL: <https://82.rosstat.gov.ru/> (дата обращения 22.05.2023).

бликованные данные авторов), типичные для южнобережной ПСЛ (Белич, 2001; Белич и др., 2018; Погребняк и Маслов, 1976). Это заключение подтверждают и результаты целого ряда подобных исследований, выполненных в других эвтрофированных прибрежных районах (Fort et al., 2020; Korpinen et al., 2007 и др.)

В общей сложности за период 1991–2022 гг. (включая все сезоны 1991 и 1992 гг.) в ПСЛ стационара отмечено 55 видов макрофитов: Chlorophyta – 14 (25.45%), Ochrophyta – 10 (18.18%), Rhodophyta – 31 (56.36%) (Табл. 1). Наиболее широко представлен отдел Rhodophyta: 3 класса, 10 порядков, 11 семейств, 23 рода. Отделы Chlorophyta и Ochrophyta представлены менее и в равной степени: по 1 классу, 4 порядка, 6 семейств и 8 родов. Самые многочисленные роды – *Cladophora* Kütz., *Ulva* L., *Ceramium* Roth. Необходимо отметить, что во флоре ЮБК, да и Черного моря в целом, нет видов, встречающихся исключительно в ПСЛ, но есть наиболее характерные, которые стабильно в ней присутствуют и формируют ядро макрофлоры. В обсуждаемом случае это: *U. intestinalis*, *C. albida*, *C. sericea*, *Ch. aerea*, *L. obscura*, *C. ciliatum*, *D. fasciola*, *Sphacelaria cirrosa* и *Pneophyllum confervicola*. Вследствие сезонных колебаний БМ часть из них периодически входит или на время исключается из числа доминантов, что и определяет циклическую смену сезонных сообществ ПСЛ. Вместе с тем встречаются виды редкие или в той или иной мере несвойственные биотопу и региону в целом. В 2000 г. впервые на ЮБК и именно в ПСЛ была отмечена *Ulva kylinii*. Ныне вид регистрируется все чаще и уже входит в число доминантов сообществ (Табл. 1) (Белич и др., 2020; Садогурский и др., 2019а). В 2022 г. в ПСЛ стационара отмечена *Laurencia pyramidalis*⁷. Этот вид был известен из прилегающей с запада акватории (ныне в границах заповедника «Мыс Мартыан») по сборам начала XX в. (Чернов, 1929), после чего исчез из сборов на долгие годы, а совсем недавно вновь зарегистрирован в ПСЛ и наиболее мелководных участках сублиторали ЮБК, где встречается редко и в небольшом количестве (Садогурский и др., 2019b). Вероятно, это один из классических примеров «пульсирующих» элементов региональной флоры (Голубев, 2004), при этом у некоторых черноморских макроводорослей периоды пульсации (причины которых недостаточно ясны) длятся десятки лет (Садогурская и др., 2017). В отличие от прочих, *Bonnemaisonia hamifera* для местной флоры является чужеродным элементом азиатско-тихоокеанского происхождения. Это инвазионный вид, проникший на ЮБК в 2017 г. (Садогурский и др., 2023). В сублиторали его массовое развитие изменяет структуру и облик растительных сообществ, что позволило отнести его к категории трансформеров (Richardson et al., 2000). В ПСЛ вид встречается лишь в виде отдельных нитей, но весьма многочисленных и во всех пробах без исключения.

Дальнейшие исследования в границах стационара и в прилегающих акваториях позволят уточнить сведения о динамике и современном состоянии макрофитобентоса у ЮБК.

Заключение

В результате стационарных гидробиотанических наблюдений в акватории, подверженной локальному эвтрофированию, в составе флоры ПСЛ за период 1991–2022 гг. в разные сезоны зарегистрировано 55 видов водорослей-макрофитов: Chlorophyta – 14 (25.45%), Ochrophyta – 10 (18.18%), Rhodophyta – 31 (56.36%). Девять видов, постоянно присутствуя во флоре ПСЛ, формируют ее ядро. В ходе мониторинга установлено, что в состав летней флоры ПСЛ гидробиотанического стационара входят 39 видов макроводорослей, которые в разные годы формировали различные по составу и структуре растительные сообщества. Показано, что их структурно-функциональная организация определяется уровнем эвтрофирования, который зависит от объема и качества сточных вод, поступающих в прибрежно-морскую акваторию обследованного района. К настоящему времени из-за увеличения рекреационной нагрузки на фоне предельного износа КОС развились моно- и олигодоминантные растительные сообщества, сформированные полисапробными солоноватоводными космополитными представителями Chlorophyta, что характерно для высокотрофных вод. При сохранении, а тем более при увеличении уровня эвтрофирования возможна деградация макроскопической растительности ПСЛ. В то же время сокращение объемов и качественная очистка сточных вод могут способствовать восстановлению сообществ, по составу и структуре соответствующих естественным и слабо трансформированным акваториям. В связи с этим для обследованного района и в целом для ЮБК в комплексе мер, направленных на оздоровление состояния прибрежно-морских экосистем, ключевыми являются реконструкция существующих и создание новых современных КОС.

⁷ Вид идентифицирован по E. Taşkin and A. Sukatar (2013).

Список литературы

- Арнольди, Л.В., 1948. О литорали в Черном море. *Труды Севастопольской биологической станции* 6, 353–359.
- Белич, Т.В., 1993. Распределение макрофитов псевдолиторального пояса на Южном берегу Крыма. *Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук*. Ялта, Украина, 244 с.
- Беліч, Т.В., 2001. Фітобентос псевдоліторалі заповідних і антропогенно змінених акваторій Південного берега Криму. *Науковий вісник Ужгородського національного університету. Серія: Біологія* 9, 199–201.
- Беліч, Т.В., 2002. Псевдоліторальна альгофлора акваторії смт. Гурзуф. *Матеріали конференції «Актуальні проблеми флористики, систематики, екології та збереження фіторізноманіття»*. Львів, Україна, 7–9.
- Белич, Т.В., Садогурская, С.А., Садогурский, С.Е., 2019. К изучению водорослей-макрофитов и цианобактерий прибрежно-аквальных комплексов Юго-Восточного района Крыма. *Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада* 131, 61–69. <https://doi.org/10.25684/NBG.boolt.131.2019.07>
- Белич, Т.В., Садогурская, С.А., Садогурский, С.Е., 2020. К вопросу видового разнообразия прибрежных акваторий Южного берега Крыма. *Труды Карадагской научной станции им. Т.И. Вяземского – природного заповедника РАН* 4 (16), 3–12. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.16425.62569>
- Белич, Т.В., Садогурский, С.Е., Садогурская, С.А. 2018. Ревизия флоры макрофитов заповедника «Мыс Мартыан». *Труды Карадагской научной станции им. Т.И. Вяземского – природного заповедника РАН* 3 (7), 3–21. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.17236.45440>
- Голубев, В.Н., 2004. О «пульсирующих» элементах региональных флор. *Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада* 90, 8–12.
- Грузинов, В.М., Дьяков, Н.Н., Мезенцева, И.В., Мальченко, Ю.А., Жохова, Н.В., 2018. Проблемы состояния морской окружающей среды Крымского полуострова. *Труды Государственного Океанографического Института* 219, 124–151.
- Ена, В.Г., 1983. Заповедные ландшафты Крыма. Таврия, Симферополь, СССР, 108 с.
- Евстигнеева, И.К., Танковская, И.Н., 2020а. Локальные аспекты регионального разнообразия и динамики макрофитобентоса в Черном море (Голубой залив). *Вестник Удмурдского университета. Серия биология. Науки о земле* 30 (1), 18–28.
- Евстигнеева, И.К., Танковская, И.Н., 2020б. Макрофитобентос и макрофитоперифитон приоритетной «Форос-Алушта» и прилегающей акватории (Черное море). *Экосистемы* 21 (51), 45–58.
- Заика, В.Е., Болтачев, А.Р., Зуев, Г.В., Ковалев, А.В., Мильчакова, Н.А., Сергеева, Н.Г., 2004. Флористические и фаунистические изменения на Крымском шельфе Черного моря после 1995–1998 гг. *Морський екологічний журнал* 3 (2), 37–44.
- Зинова, А.Д., 1967. Определитель зеленых, бурых и красных водорослей Южных морей СССР. Наука, Москва – Ленинград, СССР, 400 с.
- Калугина-Гутник, А.А., 1975. Фитобентос Черного моря. *Наукова думка*, Киев, СССР, 248 с.

- Ковардаков, С.А., Фирсов, Ю.К., 2008. Донный фитоценоз в акватории Черноморского рекреационного комплекса и его вклад в процессы самоочищения. В: Еремеев, В.Н. (ред.), *Системы контроля окружающей среды. Средства, информационные технологии и мониторинг: сборник научных трудов*. МГИ, Севастополь, Украина, 421–425.
- Маслов, И.И., 1988. Группировки водорослей-макрофитов на гидротехнических сооружениях Южного берега Крыма. *Труды Никитского ботанического сада* **104**, 93–103.
- Маслов, И.И., 1992. Макрофитобентос пляжной зоны гостиницы «Ореанда» города Ялты. *Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада* **74**, 25–31.
- Мильчакова, Н.А., 2003. Макрофитобентос. *Современное состояние биоразнообразия прибрежных вод Крыма (Черноморский сектор)*. ЭКОСИ-Гидрофизика, Севастополь, Украина, 152–208.
- Миничева, Г.Г., 1998. Использование показателей поверхности бентосных водорослей для экспресс-диагностики трофо-сапробионтного состояния прибрежных экосистем. *Альгология* **8** (4), 419–427.
- Миничева, Г.Г., Тучковенко, Ю.С., Большаков, В.Н., Зотов, А.Б., Руснак, Е.М., 2013. Реакция альгосообществ северо-западной части Черного моря на локальные, региональные и глобальные факторы. *Альгология* **23** (1), 19–36.
- Погребняк, И.И., Маслов, И.И., 1976. К изучению донной растительности района мыса Мартьян. *Труды Никитского ботанического сада* **70**, 105–113.
- Пупырев, Е.И., 2015. Справка. Водоснабжение и водоотведение Республики Крым и Севастополя. Москва, Россия, 33 с.
- Садогурская, С.С., Садогурский, С.Е., Белич, Т.В., Садогурская, С.А., 2017. Новые местонахождения *Halopteris scoparia* (L.) Sauv. (Phaeophyceae) у берегов Крымского полуострова. *Альгология* **27** (1), 99–108.
- Садогурский, С.Е., 2009. Макрофитобентос у побережья ботанического заказника «Канак» (Черное море): современное состояние и пути сохранения. *Заповідна справа в Україні* **15** (1), 31–39.
- Садогурский, С.Е., 2014. Состав и распределение макрофитобентоса у мыса Святой Троицы (Черное море, Украина). *Морской экологический журнал* **13** (1), 53–62.
- Садогурский, С.Е., 2017. Макрофитобентос прибрежной акватории у мыса Карамрун (Крым, Черное море). *Альгология* **27** (3), 261–276. <https://doi.org/10.15407/alg27.03.261>
- Садогурский, С.Е., Белич, Т.В., Садогурская, С.А., 2019а. К изучению фитобентоса заповедной акватории у мыса Мартьян (Южный берег Крыма, Черное море). *Экосистемы* **19** (49), 27–37. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.14498.79040>
- Садогурский, С.Е., Белич, Т.В., Садогурская, С.А., 2019б. Макрофиты прибрежно-морских акваторий природных заповедников Крымского полуострова (Черное и Азовское моря). *Альгология* **29** (3), 322–351. <https://doi.org/10.15407/alg29.03.322>
- Садогурский, С.Е., Белич, Т.В., Садогурская, С.А., 2023. Инвазия *Vonnetamsonia hamifera* Hariot в прибрежные фитоценозы у Южного берега Крыма (Черное море). *Биология внутренних вод* **1**, 65–71. <https://doi.org/10.31857/S0320965223010175>
- Современные ландшафты Крыма и сопредельных акваторий, 2009. Позаченюк, Е.А. (ред.). Бизнес-Информ, Симферополь, Украина, 672 с.

- Чернов, В.К., 1929. К биологии водорослей у Южного берега Крыма. *Русский ботанический журнал* 8 (8–9), 222–229.
- Шмидт, В.М., 1984. Математические методы в ботанике: Учебное пособие. Издательство Ленинградского университета, Ленинград, СССР, 288 с.
- Egorov, V.N., Gorbunov, R.V., Plugatar, Yu.V., Malakhova, L.V., Sadogurskiy, S.E. et al., 2021. Cystoseira phytocenosis as a biological barrier for heavy metals and organochlorine compounds in the SPNA Cape Martyan marine area (the Black Sea). *Regional Studies in Marine Science* 41, 101572. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2020.101572>
- Fort, A., Mannion, C., Fariñas-Franco, J.M., Sulpice, R., 2020. Green tides select for fast expanding *Ulva* strains. *Science of The Total Environment* 698, 134337. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134337>
- Korpinen, S., Honkanen, T., Vesakoski, O., Hemmi, A., Koivikko, R., Jyrki Lopenen, J., Jormalainen, V., 2007. Macroalgal communities face the challenge of changing biotic interactions: review with focus on the Baltic Sea. *AMBIO: A Journal of the Human Environment* 36 (2), 203–211. [http://dx.doi.org/10.1579/0044-7447\(2007\)36\[203:MCFTCO\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1579/0044-7447(2007)36[203:MCFTCO]2.0.CO;2)
- Minicheva, G.G., Maximova, O.V., Moruchkova, N.A., Simakova, U.V., Sburlea, A. et al., 2008. The state of macrophytobenthos. State of the environment of the Black Sea (2001–2006/7). BSC, Istanbul, Turkey, 448 p.
- Minicheva, G., Afanasyev, D., Kurakin, A., 2014. Black Sea monitoring guidelines. Macrophytobenthos. EMBLAS project, 92 p.
- Richardson, D.M., Pyšek, P., Rejmanek, M., Barbour, M.G., Panetta, F.D., West, C.J., 2000. Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions. *Diversity and Distribution* 6, 93–107. <https://doi.org/10.1046/j.1472-4642.2000.00083.x>
- Taşkın, E., Sukatar, A., 2013. The red algal genera *Laurencia*, *Osmundea* and *Palisada* (Rhodomelaceae, Rhodophyta) in Turkey. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 13, 713–723. http://10.4194/1303-2712-v13_4_17

References

- Arnol'di, L.V., 1948. O litorali v Chernom more [About littoral in the Black Sea]. *Trudy Sevastopol'skoi biologicheskoi stantsii [Proceedings of the Sevastopol Biological Station]* 6, 353–359. (In Russian).
- Belich, T.V., 1993. Raspredelenie makrofitov psevdolitoral'nogo poyasa na Yuzhnom beregu Kryma [Distribution of macrophytes of the pseudolittoral belt on the Southern coast of Crimea]. *PhD in Biology thesis*. Yalta, Ukraine, 244 p. (In Russian).
- Belich, T.V., 2001. Fitobentos psevdolitorali zapovidnikh i antropogenno zminenikh akvatorii Pivdenного берега Криму [Phytobenthos of the pseudolittoral of protected and anthropogenically modified waters of the Southern coast of Crimea]. *Naukovii visnik Uzhgorods'kogo natsional'nogo universitetu. Seriya: Biologiya [Scientific Bulletin of Uzhhorod National University. Series: Biology]* 9, 199–201. (In Ukrainian).
- Belich, T.V., 2002. Psevdolitoral'na al'goflora akvatorii smt. Gurzuf [Pseudolittoral algoflora of the water area of the settlement Gurzuf]. *Materiali konferentsii "Aktual'ni problemi floristiki, sistematiki, ekologii ta zberezheniya fitoriznomanit'tya" [Materials of the conference "Actual problems of floristry, taxonomy, ecology and conservation of phytodiversity"]*. L'vov, Ukraine, 7–9. (In Ukrainian).

- Belich, T.V., Sadogurskaya, S.A., Sadogurskiy, S.Ye., 2019. K izucheniyu vodoroslei-makrofitov i tsianobakterii pribrezhno-akval'nykh kompleksov Yugo-Vostochnogo raiona Kryma [To the study of algae-macrophytes and cyanobacteria of coastal-aquatic complexes of the South-Eastern region of Crimea]. *Byulleten' Gosudarstvennogo Nikitskogo botanicheskogo sada [Bulletin of the State Nikita Botanical Garden]* **131**, 61–69. (In Russian). <https://doi.org/10.25684/NBG.boolt.131.2019.07>
- Belich, T.V., Sadogurskaya, S.A., Sadogurskiy, S.Ye., 2020. K voprosu vidovogo raznoobraziya pribrezhnykh akvatorii Yuzhnogo berega Kryma [To the question of species diversity of coastal water areas of the Southern coast of Crimea]. *Trudy Karadagskoi nauchnoi stantsii im. T.I. Vyazemskogo – prirodnogo zapovednika RAN [Proceedings of T.I. Vyazemsky Karadag scientific station – Natural Reserve of the Russian Academy of Sciences]* **4** (16), 3–12. (In Russian). <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.16425.62569>
- Belich, T.V., Sadogurskaya, S.A., Sadogurskiy, S.Ye., 2018. Reviziya flory makrofitov zapovednika “Mys Mart'yan” [Revision of the macrophyte flora of the “Mys Mart'yan” Nature Reserve]. *Trudy Karadagskoi nauchnoi stantsii im. T.I. Vyazemskogo – prirodnogo zapovednika RAN [Proceedings of T.I. Vyazemsky Karadag scientific station – Natural Reserve of the Russian Academy of Sciences]* **3** (7), 3–21. (In Russian). <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.17236.45440>
- Chernov, V.K., 1929. K biologii vodoroslei u Yuzhnogo berega Kryma [To the biology of algae near the Southern coast of Crimea]. *Russkii botanicheskii zhurnal [Russian Botanical Journal]* **8** (8–9), 222–229. (In Russian).
- Egorov, V.N., Gorbunov, R.V., Plugatar, Yu.V., Malakhova, L.V., Sadogurskiy, S.E. et al., 2021. Cystoseira phytocenosis as a biological barrier for heavy metals and organochlorine compounds in the SPNA Cape Mart'yan marine area (the Black Sea). *Regional Studies in Marine Science* **41**, 101572. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2020.101572>
- Ena, V.G., 1983. Zapovednye landshafty Kryma [Protected landscapes of Crimea]. Tavriya, Simferopol', USSR, 108 p. (In Russian).
- Evstigneeva, I.K., Tankovskaya, I.N., 2020a. Lokal'nye aspekty regional'nogo raznoobraziya i dinamiki makrofitobentosa v Chernom more (Goluboi zaliv) [Local aspects of regional diversity and dynamics of macrophytobenthos in the Black Sea (Gulf of Blue)]. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya biologiya. Nauki o zemle [Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences]* **30** (1), 18–28. (In Russian).
- Evstigneeva, I.K., Tankovskaya, I.N., 2020b. Makrofitobentos i makrofitoperifiton prioritetnoi “Foros-Alushta” i prilagaiushchei akvatorii (Chernoe more) [Macrophytobenthos and macrophytoperiphyton of the priority “Foros-Alushta” and adjacent water area (Black Sea)]. *Ekosistemy [Ecosystems]* **21** (51), 45–58. (In Russian).
- Fort, A., Mannion, C., Fariñas-Franco, J.M., Sulpice, R., 2020. Green tides select for fast expanding *Ulva* strains. *Science of The Total Environment* **698**, 134337. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134337>
- Golubev, V.N., 2004. O “pul'siruiushchikh” elementakh regional'nykh flor [On “pulsating” elements of regional floras]. *Byulleten' Gosudarstvennogo Nikitskogo botanicheskogo sada [Bulletin of the State Nikita Botanical Garden]* **90**, 8–12. (In Russian).
- Gruzinov, V.M., D'yakov, N.N., Mezentseva, I.V., Mal'chenko, Yu.A., Zhokhova, N.V., 2018. Problemy sostoyaniya morskoi okruzhayushchei sredy Krymskogo poluostrova [Problems of the state of the marine environment of the Crimean Peninsula]. *Trudy Gosudarstvennogo Okeanograficheskogo Instituta [Proceedings of the State Oceanographic Institute]* **219**, 124–151. (In Russian).

- Kalugina-Gutnik, A.A., 1975. Fitobentos Chyornogo morya [Phytobenthos of the Black Sea]. Naukova dumka, Kiev, USSR, 248 p. (In Russian).
- Korpinen, S., Honkanen, T., Vesakoski, O., Hemmi, A., Koivikko, R., Jyrki Lopenen, J., Jormalainen, V., 2007. Macroalgal communities face the challenge of changing biotic interactions: review with focus on the Baltic Sea. *AMBIO: A Journal of the Human Environment* **36** (2), 203–211. [http://dx.doi.org/10.1579/0044-7447\(2007\)36\[203:MCFTCO\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1579/0044-7447(2007)36[203:MCFTCO]2.0.CO;2)
- Kovardakov, S.A., Firsov, Yu.K., 2008. Donnyi fitotsenoz v akvatorii Chernomorskogo rekreatsionnogo kompleksa i ego vklad v protsessy samoochishcheniya [Bottom phytocenosis in the water area of the Black Sea recreational complex and its contribution to self-purification processes]. In: Ereemeev, V.N. (ed.), *Sistemy kontrolya okruzhayushchei sredy. Sredstva, informatsionnye tekhnologii i monitoring: sbornik nauchnykh trudov [Environmental control systems. Means, information technologies and monitoring: collection of scientific papers]*. Sevastopol', Ukraine, 421–425. (In Russian).
- Maslov, I.I., 1988. Gruppirovki vodoroslei-makrofitov na gidrotehnicheskikh sooruzheniyakh Yuzhnogo berega Kryma [Groupings of algae-macrophytes on hydraulic structures of the Southern coast of Crimea]. *Trudy Nikitskogo botanicheskogo sada [Scientific works of Nikita Botanical Garden]* **104**, 93–103. (In Russian).
- Maslov, I.I., 1992. Makrofitobentos plyazhnoi zony gostinitsy "Oreanda" goroda Yalty [Macrophytobenthos of the beach zone of the hotel "Oreanda" of Yalta]. *Byulleten' Gosudarstvennogo Nikitskogo botanicheskogo sada [Bulletin of the State Nikita Botanical Garden]* **74**, 25–31. (In Russian).
- Mil'chakova, N.A., 2003. Makrofitobentos [Macrophytobenthos]. *Sovremennoe sostoyanie bioraznoobraziya pribrezhnykh vod Kryma (Chernomorskii sektor) [Current state of biodiversity of coastal waters of Crimea (Black Sea sector)]*. ECOSI-Hydrophysics, Sevastopol, Ukraine, 152–208. (In Russian).
- Minicheva, G.G., 1998. Ispol'zovanie pokazatelei poverkhnosti bentosnykh vodoroslei dlya ekspress-dagnostiki trofo-saprobiontnogo sostoyaniya pribrezhnykh ekosistem [Use of surface indexes of benthos algae for express diagnostics of the trophosaprobiotic status of marine coastal ecosystem]. *Al'gologiya [Algology]* **8** (4), 419–427. (In Russian).
- Minicheva, G.G., Maximova, O.V., Moruchkova, N.A., Simakova, U.V., Sburlea, A. et al., 2008. The state of macrophytobenthos. State of the environment of the Black Sea (2001–2006/7). BSC, Istanbul, Turkey, 448 p.
- Minicheva, G.G., Tuchkovenko, Yu.S., Bol'shakov, V.N., Zotov, A.B., Rusnak, E.M., 2013. Reaktsiya al'gosoobshchestv severo-zapadnoi chasti Chernogo morya na lokal'nye, regional'nye i global'nye faktory [Response of alga communities in the northwestern Black Sea to local, regional and global factors]. *Al'gologiya [Algology]* **23** (1), 19–36. (In Russian).
- Minicheva, G., Afanasyev, D., Kurakin, A., 2014. Black Sea monitoring guidelines. Macrophytobenthos. EMBLAS project, 92 p.
- Pogrebnyak, I.I., Maslov, I.I., 1976. K izucheniyu donnoi rastitel'nosti rayona mysy Mart'yan [To the study of the benthic vegetation of the area of Cape Martyan]. *Trudy Nikitskogo botanicheskogo sada [Scientific works of Nikita Botanical Garden]* **70**, 105–113. (In Russian).
- Pupyrev, E.I., 2015. Spravka. Vodospabzhenie i vodootvedenie Respubliki Krym i Sevastopolja [Reference. Water supply and sanitation in the Republic of Crimea and Sevastopol]. Moskva, Russia, 33 p. (In Russian).

- Richardson, D.M., Pyšek, P., Rejmanek, M., Barbour, M.G., Panetta, F.D., West, C.J., 2000. Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions. *Diversity and Distribution* **6**, 93–107. <https://doi.org/10.1046/j.1472-4642.2000.00083.x>
- Sadogurskaya, S.S., Sadogurskiy, S.Ye., Belich, T.V., Sadogurskaya, S.A., 2017. New locations of *Halopteris scoparia* (L.) Sauv. (Phaeophyceae) along the seacoast of the Crimean Peninsula. *International Journal on Algae* **19** (1), 51–58. <https://doi.org/10.1615/InterJAlgae.v19.i1.40>
- Sadogurskiy, S.Ye., 2009. Makrofitobentos u poberezh'ya botanicheskogo zakaznika "Kanaka" (Chernoe more): sovremennoe sostoyanie i puti sokhraneniya [Macrophytobenthos near the coast of the botanical reserve "Kanaka" (Black Sea): current state and ways of conservation]. *Zapovidna sprava v Ukraini [Nature Reserves in Ukraine]* **15** (1), 31–39. (In Russian).
- Sadogurskiy, S.Ye., 2014. Sostav i raspredelenie makrofitobentosa u mysa Svyatoi Troitsy (Chernoe more, Ukraina) [Composition and distribution of macrophytobenthos at Cape Holy Trinity (Black Sea, Ukraine)]. *Mors'kii ekologichnii zhurnal [Marine Biological Journal]* **13** (1), 53–62. (In Russian).
- Sadogurskiy, S.Ye., 2017. Macrophytobenthos of the Coastal Water Area at the Cape Karamrun (Crimean Peninsula, the Black Sea). *International Journal on Algae* **19** (2), 51–58. <https://doi.org/10.1615/InterJAlgae.v19.i2.30>
- Sadogurskiy, S.Ye., Belich, T.V., Sadogurskaya, S.A., 2019a. K izucheniyu fitobentosa zapovednoi akvatorii u mysa Mart'yan (Yuzhnyi bereg Kryma, Chyornoe more) [To the study of phytobenthos of the protected water area near Cape Martyan (Southern coast of Crimea, Black Sea)]. *Ekosistemy [Ecosystems]* **19** (49), 27–37. (In Russian). <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.14498.79040>
- Sadogurskiy, S.Ye., Belich, T.V., Sadogurskaya, S.A., 2019b. Macrophytes of the marine water areas of the nature reserves in the Crimean Peninsula (Black Sea and Azov Sea). *International Journal on Algae* **21** (3), 253–270. <https://doi.org/10.1615/InterJAlgae.v21.i3.50>
- Sadogurskiy, S.Ye., Belich, T.V., Sadogurskaya, S.A., 2023. The invasion of the alien species *Bonnemaisonia hamifera* Hariot in coastal phytocenoses near the Southern Coast of Crimea (the Black Sea). *Inland Water Biology* **16** (1), 65–71. <https://doi.org/10.1134/S1995082923010145>
- Shmidt, V.M., 1984. Matematicheskie metody v botanike: Uchebnoe posobie [Mathematical methods in botany: Textbook]. Leningrad State University, Leningrad, USSR, 288 p. (In Russian).
- Sovremennyye landshafty Kryma i sopredel'nykh akvatorii [Modern landscapes of the Crimea and adjacent waters], 2009. Pozachenyuk, E.A. (ed.) Biznes-Inform, Simferopol', Ukraine, 672 p. (In Russian).
- Taşkın, E., Sukatar, A., 2013. The red algal genera *Laurencia*, *Osmundea* and *Palisada* (Rhodomelaceae, Rhodophyta) in Turkey. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **13**, 713–723. http://10.4194/1303-2712-v13_4_17
- Zaika, V.E., Boltachev, A.R., Zuev, G.V., Kovalev, A.V., Mil'chakova, N.A., Sergeeva, N.G., 2004. Floristicheskie i faunisticheskie izmeneniya na Krymskom shel'fe Chernogo morya posle 1995–1998 gg. [Floristic and faunistic changes on the Crimean shelf of the Black Sea after 1995–1998]. *Mors'kii ekologichnii zhurnal [Marine Biological Journal]* **3** (2), 37–44. (In Russian).
- Zinova, A.D., 1967. Opredelitel' zelenykh, burykh i krasnykh vodoroslei Yuzhnykh morei SSSR [Identifier of green, brown and red algae of the South Seas of the USSR]. Nauka, Moscow – Leningrad, USSR, 400 p. (In Russian).