

Оригинальная статья

УДК 582.26/27:574.9(262.5)

<https://doi.org/10.35885/1684-7318-2021-1-47-63>

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ МАКРОФИТОБЕНТОСА ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ ЗАКАЗНИКА «КАРАНЬСКИЙ» (СЕВАСТОПОЛЬ, ЧЁРНОЕ МОРЕ)

Н. В. Миронова, Т. В. Панкеева ✉

Федеральный исследовательский центр

«Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН»

Россия, 299011, г. Севастополь, просп. Нахимова, д. 2

Поступила в редакцию 11.03.2020 г., после доработки 08.10.2020 г., принята 03.11.2020 г.

Аннотация. Впервые на основе ландшафтного подхода выполнен сравнительный анализ видового разнообразия, изменений биомассы макрофитобентоса заказника «Караньский» за период с 1964 по 2016 г. Составлена ландшафтная карта подводного берегового склона, выделено три донных природных комплекса (ДПК). Основным является ДПК псефитовых отложений с доминированием *Carpodesmia crinita* и *Treptacantha barbata* (до 89.7% общей биомассы макрофитов). Для него характерны высокое флористическое разнообразие и максимальные значения биомассы макрофитобентоса. ДПК псефитовых отложений с доминированием видов *C. crinita*, *Tr. barbata* и с чередованием галечно-гравийных с битой ракушей отложений, где господствует *Phyllophora crispa*, характеризуется наиболее высоким флористическим разнообразием и снижением доли первых двух видов, вклад последнего вида – 14.4% общей биомассы макрофитов. ДПК псаммитовых отложений с доминированием *Ph. crispa* и отдельно хаотически расположенными глыбами, где преобладают *Nereia filiformis* и *Zanardinia typus*, отличается низким флористическим разнообразием, преобладанием *Ph. crispa* (74.3% общей биомассы макрофитов) и сохранностью многолетних видов. За более чем 50 лет в акватории заказника во всех ДПК (глубина 0.5 – 10 м) произошла перестройка и деградация растительной компоненты, что, вероятно, обусловлено усилением антропогенной деятельности в береговой зоне. В составе донной растительности исчезли *Eudisme virescens*, *Dictyota dichotoma*, *Feldmania irregularis*, *Dasya baillouviana*, *Rhodochorton purpureum*, обитающие на чистых открытых участках побережья, появились макрофиты (*Cladophora laetevirens*, *Ectocarpus siliculosus* и *C. virgatum*), характерные для эвтрофных вод, в количественном отношении резко увеличилась биомасса эпифитов (с 0.1 до 42.6% общей биомассы макрофитов) и снизилась роль видов-доминантов: *C. crinita*, *Tr. barbata* (с 99.9 до 78.6%) и *Ph. crispa* (с 52.9 до 14.4% общей биомассы макрофитов). Создание заказника «Караньский» способствовало сохранению и частичному восстановлению уникального природного резервата морской флоры и донной растительности, что подтверждается увеличением флористического разнообразия водорослей-индикаторов чистых вод и возрастанием доли краснокнижных видов.

Ключевые слова: макрофиты, *Carpodesmia crinita*, *Treptacantha barbata*, *Phyllophora crispa*, донные природные комплексы, заказник «Караньский», Чёрное море

✉ Для корреспонденции. Отдел биотехнологий и фиторесурсов Института биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН.

ORCID и e-mail адреса: <https://orcid.org/0000-0001-7110-7081>, dr.nataliya.mironova@yandex.ru (Миронова Наталия Всеволодовна); <https://orcid.org/0000-0002-8933-6103>, tatyapanankeeva@yandex.ru (Панкеева Татьяна Викторовна).

Для цитирования. Миронова Н. В., Панкеева Т. В. Пространственно-временные изменения макрофитобентоса прибрежной зоны заказника «Караньский» (Севастополь, Чёрное море) // Поволжский экологический журнал. 2021. № 1. С. 47 – 63. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2021-1-47-63>

ВВЕДЕНИЕ

В 2017 г. был создан государственный природный ландшафтный заказник регионального значения «Караньский» (Постановление правительства Севастополя..., 2017). Его общая площадь составила 568.76 га, из них морская акватория – 117.74 га. Создание нового заказника, охватывающего значительные по площади территорию и акваторию юго-западного Крыма – важный этап в расширении экологической сети г. Севастополя. Заповедание морской акватории заказника обеспечивает сохранность уникального природного резервата морской флоры и донной растительности. Здесь в составе макрофитобентоса встречаются виды водорослей, имеющие природоохранный статус на региональном, федеральном и международном уровнях. Виды *Phyllophora crispa* (Huds.) P.S. Dixon и *Stilophora tenella* (Esper) P.C. Silva внесены в списки Красной книги (КК) Российской Федерации (РФ) (2008). Эти же виды, а также *Treptacantha barbata* (Stackhouse) Orellana & Sansón (= *Cystoseira barbata*), *Carpodesmia crinita* (Duby) Orellana & Sansón (= *Cystoseira crinita*), *Laurencia coronopus* J.Ag., *Nereia filiformis* (J. Ag.) Zanard., *Codium vermilara* (Oliv.) Delle Chiaie входят в состав списков КК Республики Крым (РК) (2015). Кроме этого, *Phyllophora crispa*, *Stilophora tenella*, *Nereia filiformis* и *Codium vermilara* внесены в КК Севастополя (ККС) (2018). К охраняемым сообществам относятся фитоценозы *Cystoseira* spp. и *Phyllophora* spp. (EUNIS Habitats Directive Classification, 2007; Gubbay et al., 2016).

В организации и управлении морскими охраняемыми акваториями (МОА) важную роль играет проведение многолетних наблюдений за макрофитобентосом с целью оптимизации прибрежно-морского природопользования в условиях природоохранного режима (Boero et al., 2016; Fernández et al., 2016; Coad et al., 2019; Birben, 2020). Эта задача актуальна для г. Севастополя, где площадь МОА составляет около 3.3% общей площади акватории региона. Сведениям о МОА г. Севастополя и Крыма, их донной растительности и ключевых фитоценозах посвящён ряд научных работ (Миронова и др., 2007; Мильчакова и др., 2011, 2019; Sadogurskiy, 2017, 2018).

Применение ландшафтного подхода в гидробиотанических исследованиях позволяет оценить как биологическое, так и ландшафтное разнообразие акваторий МОА. Ландшафтные карты являются картографической и информационной основой мониторинга сохранения донной растительности. Однако научных работ, посвящённых использованию ландшафтного подхода в гидробиотанике, мало (Петров, 1989; Pankeeva, Mironova, 2019).

В связи с этим целью статьи является выявление пространственно-временных изменений макрофитобентоса на основе ландшафтного подхода за более чем 50-летний период (1964 – 2016 гг.) для организации мониторинговых наблюдений и выработки научно-обоснованных рекомендаций по обеспечению природоохранного режима заказника.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Авторами собраны, обработаны и проанализированы материалы полевых ландшафтных и гидробиотанических исследований (летний период 2005 и 2016 гг.), проведённых в прибрежной зоне заказника «Караньский» в соответствии с традиционными методиками (Калугина-Гутник, 1975; Игнатов и др., 1982; Петров, 1989; Pankeeva, Mironova, 2019). Работы выполняли с борта маломерного судна с применением лёгководолазной техники. В акватории были заложены перпендикулярно к берегу 3 трансекты, длина которых варьировала в зависимости от нижней границы обитания донной растительности (рис. 1). Привязку трансект осуществляли с помощью GPS-навигатора Oregon 650 (Garmin, США).

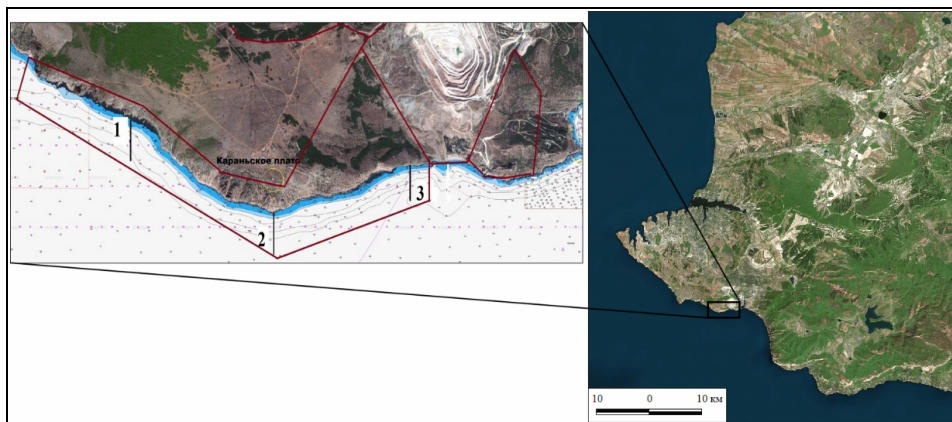


Рис. 1. Картограмма района исследований

Fig. 1. A scheme (map) of the surveyed region

Дайвер-исследователь, снабжённый дайв-компьютером (AERIS F10) (AERIS, США), проходил вдоль мерной линии (трансекты), отмечая глубину смены растительности, нижнюю границу обитания макрофитобентоса (фиталь), при этом выполняя фото- и видеосъёмку. На стандартных глубинах (0,5, 1, 3, 5, 10, 15 м), принятых в гидробиотанических исследованиях, дайвер визуально описывал гранулометрический состав донных отложений. При изучении состава и структуры фитоценозов на тех же глубинах закладывали по четыре учётные площадки размером 25×25 см. Идентификацию водорослей проводили с использованием определителя А. Д. Зиновой (1967), названия видов даны с учётом последних номенклатурных изменений (Guiry M. D., Guiry G. M., 2020). Выделение фитоценозов проводили согласно доминантной классификации по А. А. Калугиной-Гутник (1975). Всего собрано и обработано 48 количественных проб. Степень загрязнения морской воды косвенно оценивали по вычисленному флористическому коэффициенту Чени (P), при анализе структуры фитоценозов использовали индекс видового разнообразия Шеннона (H) (Калугина-Гутник, 1989). Для анализа многолетних изменений состава и структуры макрофитов (глубина 1 – 10 м) за 1964 г. привлекали архив-

ные материалы Института биологии южных морей (ИнБЮМ), известные для этого района и собранные по аналогичной методике (Калугина-Гутник, 1975).

Для создания ландшафтной карты использовали программный пакет QGIS 2.14.18 и электронную основу топографической карты. Сопрежжённый анализ карт геологического строения, топографической карты и сведений полевых съёмок позволили провести экстраполяцию участков территории со сходными параметрами для выделения границ донных природных комплексов (ДПК). ДПК представляют относительно однородные участки дна, характеризующиеся единством взаимосвязанных компонентов: литогенной основы (донных осадков в пределах активного слоя или поверхности коренной породы), придонной водной массы и населяющих их морских организмов (Папунов, 2008). Географическую привязку границ ландшафтных комплексов и определение их площади осуществляли с помощью программы QGIS. Ландшафтная карта является картографической основой, а ДПК – аквально-территориальными единицами для изучения многолетних изменений пространственного распространения состава и структуры макрофитобентоса.

Статистическую обработку данных выполняли в пакетах программ MS Excel 2000 (Microsoft Corp.) и Statistica 6.0 (Statsoft Inc., OK, USA).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Характеристика макрофитобентоса ДПК прибрежной зоны заказника. В ландшафтной структуре подводного берегового склона заказника «Караньский» выделено три ДПК с участием доминирующих видов макрофитов: *Treptacantha barbata*, *Carpodesmia crinita* и *Phyllophora crispa* (рис. 2).

ДПК псефитовых отложений с преобладанием видов *Carpodesmia crinita* и *Treptacantha barbata* (1) протянулся вдоль всей береговой линии заказника на глубине от 0.5 до 5 м (см. рис. 2). Подводный склон очень крутой, осложнённый крупно-глыбовым навалом (диаметр глыб достигает 5 – 10 м). Здесь зарегистрирован фитоценоз *Carpodesmia crinita* + *Treptacantha barbata* – *Cladostephus spongiosus* – *Ellisolandia elongata* [= *Corallina mediterranea*]. Его структура четырёхъярусная. На этом ДПК под пологом видов *Carpodesmia crinita* и *Treptacantha barbata* произрастает *Cladostephus spongiosus* (Huds.) C. Ag. Третий ярус состоит из низкорослых водорослей, образующих плотные дерновины (*Cladophoropsis membranacea* (Bang ex C. Ag.) Borgesen и виды рода *Ellisolandia* и *Corallina*). Четвёртый ярус образован корковыми красными водорослями, стелющимися на каменистом и скальном субстрате (*Hydrolithon farinosum* (J. V. Lamour.) Penrose & Y. M. Chamberlain (= *Fosliella farinosa*), *Pneophyllum confervicola* (Kütz.) Chamberlain (= *Melobesia minutula*) и *Lithothamnion* sp.

На слоевищах *Carpodesmia crinita* и *Treptacantha barbata* развиваются эпифитные синузии, представленные *Sphacelaria cirrhosa* (Roth) C. Ag., *Myriactula rivulariae* (Suhr ex Aresch.) Feldmann, *Corynophlaea umbellata* (C. Ag.) Kütz., *Laurencia coronopus*, *L. obtusa* (Huds.) J. V., *Vertebrata subulifera* (C. Ag.) Kuntz., *Antithamnion cruciatum* (C. Ag.) Nägeli, *Apoglossum ruscifolium* (Turner) J. Ag., *Chondria dasyphylla* (Woodw.) C. Ag., *Ch. capillaris* (Huds.) M. J. Wynne, *Ceramium arborescens* J. Ag., *C. diaphanum* (Lightf.) Roth, *C. tenuicorne* Kütz. Waern (= *C. strictum*) и

виды родов *Cladophora* и *Chaetomorpha*. В составе фитоценоза обнаружены сезонно-летние виды *Myriactula rivulariae*, *Corynophlaea umbellata* и *Cladophoropsis membranacea*. Видовой состав этого альгосообщества включает 30 видов (табл. 1).

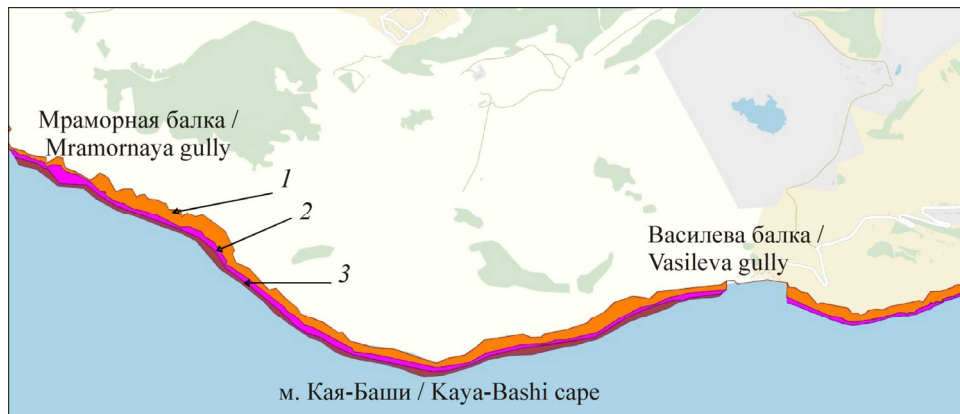


Рис. 2. Картограмма ландшафтной структуры донных природных комплексов (ДПК) подводного берегового склона заказника «Караньский» (2016 г.): 1 – псефитовые отложения с преобладанием видов *Treptacantha barbata* и *Carpodesmia crinita*; 2 – псефитовые отложения с доминированием видов *Treptacantha barbata*, *Carpodesmia crinita* и с чередованием галечно-гравийных с битой ракушкой отложений, где господствует *Phyllophora crispa*; 3 – псаммитовые отложения с доминированием *Phyllophora crispa* и отдельно хаотически расположенными глыбами, где преобладают *Nereia filiformis* и *Zanardinia typus*

Fig. 2. A scheme (map) of the landscape structure of the bottom natural complexes (BNC) of the underwater coastal abrasion slope of the Reserve “Karan’sky” (2016): 1 – psephitic deposits with the predominance of *Treptacantha barbata* and *Carpodesmia crinita*; 2 – psephitic deposits with the predominance of *Treptacantha barbata*, *Carpodesmia crinita* and with an alternating pebble-gravel with bat shells deposits, where *Phyllophora crispa* predominates; 3 – psammitic deposits with the predominance of *Phyllophora crispa* and separately chaotically located blocks, where *Nereia filiformis* and *Zanardinia typus* predominate

Биомасса фитоценоза в исследуемом диапазоне глубин варьирует в широком интервале, её величина с возрастанием глубины снижается вдвое, при этом доля видов *Carpodesmia crinita* и *Treptacantha barbata* достаточно высокая (табл. 2). Вклад эпифитной синузии составляет 10.0 – 19.2% общей биомассы макрофитов, среди эпифитов в прибрежной мелководной зоне (0.5 – 1 м) преобладают виды рода *Ceramium* (0.6 – 10.3% общей биомассы макрофитов), глубже – *Vertebrata subulifera* (8.4 – 17.1% общей биомассы макрофитов). Относительно низкие значения индекса видового разнообразия Шеннона (*H*) свидетельствуют об однородной структуре фитоценоза. Показание флористического коэффициента высокое, что связано со значительным количеством видов, преимущественно красных и зелёных водорослей по сравнению с бурыми, соотношение которых косвенно подтверждает наличие незначительного эвтрофирования акватории (см. табл. 1).

Таблица 1. Изменение количества видов макрофитов, индекса видового разнообразия Шеннона (H) и флористического коэффициента Чени (P) в донных природных комплексах (ДПК) заказника «Караньский» за разные годы

Table 1. Changes in the number of macrophyte species, the Shannon species diversity index (H) and the Cheney floral coefficient (P) in the bottom natural complexes (BNC) of the reserve “Karan’sky” for several years

ДПК / BNC	Год / Year	Макрофиты / Macrophytes			H	P
		Зеленые / Chlorophyta	Бурые / Ochrophyta	Красные / Rhodophyta		
1	1964	0	5	5	0.01–0.54	1.00
	2005	6	8	24	0.68–3.09	3.75
	2016	5	8	17	0.60–1.08	2.75
2	1964	4	10	10	0.42–1.49	1.40
	2005	9	10	24	2.55–2.74	3.30
	2016	2	10	15	1.93–2.63	1.70
3	2005	7	7	15	0.97	3.14
	2016	0	3	9	1.22	3.00
	1964	4	11	17	–	1.91
Итого / Total	2005	11	13	31	–	3.23
	2016	7	11	26	–	3.00

Примечание. Данные по общему количеству видов за 2016 г. (Чернышева, 2017), за 2005 г. (Бондарева и др., 2008), за 1964 г. – архивные материалы ИнБИОМ.

Note. Data on the total number of species for 2016 are from (Chernysheva, 2017), those for 2005 are from (Bondareva et al., 2008), and those for 1964 are from the archival materials of the Institute of Biology of the Southern Seas.

ДПК псефитовых отложений с доминированием видов *Carpodesmia crinita*, *Treptacantha barbata* и с чередованием галечно-гравийных с битой ракушкой отложений, где господствует *Phyllophora crispa* (2) занимает участок побережья на глубине 5 – 10 м (см. рис. 2). Подводный склон крутой, отмечен глыбовый навал. Здесь зарегистрирован фитоценоз *Carpodesmia crinita*+*Treptacantha barbata* – *Phyllophora crispa* – *Gelidium spinosum*. Структура этого фитоценоза также четырехъярусная. Второй ярус представлен *Phyllophora crispa*, которая обитает в основном на песчаном ракушечнике с примесью гравия и гальки, но встречается и на грубообломочном субстрате. В составе третьего яруса обильно зарегистрирован *Gelidium spinosum* (S. G. Gmrl.) P. C. Silva. Характерно, что виды *Antithamnion* отмечены на нижнем ярусе фитоценоза как литофиты и как эпифиты на талломах *Carpodesmia crinita*, *Treptacantha barbata* и *Phyllophora crispa*. На этом ДПК на глубине 10 м произрастают типичные глубоководные виды альгофлоры (*Nereia filiformis* и *Zanardinia typus* (Nardo) P. C. Silva). В составе эпифитов на слоевищах *Carpodesmia crinita* и *Treptacantha barbata*, помимо вышеперечисленных на предыдущем ДПК, отмечены *Lomentaria clavellosa* (Turn.) Gail., *Acrochaetium secundatum* (Lyngb.) Nägeli (= *Kylinia virgatula*), сезонно-зимний вид *Ectocarpus siliculosus* (Dillwyn) Lyngb. (= *E. confervoides*) и сезонно-летний вид *Stilophora tenella*.

Видовой состав фитоценоза включает 27 видов. Для него характерно значимое (почти в 2 раза) преобладание видов красных водорослей относительно других групп макрофитов и незначительное количество видов зелёных (см. табл. 1). Био-

масса фитоценоза при увеличении глубины снижается примерно втрое, при этом доля видов *Carpodesmia crinita* и *Treptacantha barbata* уменьшается в 1.3 раза, а *Phyllophora crispa* возрастает на порядок (см. табл. 2). На этом ДПК обильно представлены эпифиты, составляющие около трети общей биомассы макрофитов, среди которых доминируют *Vertebrata subulifera* (2.6 – 22.4% общей биомассы макрофитов) и виды *Antithamnion* и (0.1 – 14.4% общей биомассы макрофитов). Значения индекса видового разнообразия свидетельствуют о сложной структуре фитоценоза, где отмечен высокий вклад сопутствующих и эпифитных видов. Соотношение видового состава растительной компоненты этого ДПК характеризуется относительно низким значением флористического коэффициента, что обусловлено снижением количества зелёных и красных водорослей и увеличением – бурых (см. табл. 1).

Таблица 2. Изменение биомассы макрофитов, вклада доминирующих видов водорослей и их эпифитов в донных природных комплексах (ДПК) заказника «Караньский» при увеличении глубины за разные годы

Table 2. Changes in the biomass of macrophytes, the proportion of the dominant algae species and their epiphytic in the bottom natural complexes (BNC) of the reserve “Karan’sky” with increasing depth for several years

ДПК / BNC	Год / Year	Глубина, м / Depth, m	Биомасса макрофитов, г·м ⁻² / Biomass of macrophytes, gm·m ⁻²	Доля, % / Proportion, %		
				<i>Carpodesmia crinita</i> , <i>Treptacantha barbata</i>	<i>Phyllophora crispa</i>	Эпифитов / Epiphytic
1	1964	1–5	4975.0±298.4–2694.0±176.5	99.9–91.6	0	0.1–8.4
	2005	0.5–5	7356.7±521.8–5138.4±480.5	87.6–39.8	0	12.4–42.6
	2016	0.5–5	8474.7±654.14–4382.3±161.5	89.7–78.6	0	10.0–19.2
2	1964	5–10	3382.0±201.6–3519.0±195.5	91.3–38.6	0–52.9	7.0–2.5
	2005	5–10	4926.8±281.9–2032.1±69.4	37.4–49.1	0.6–10.7	50.2–33.3
	2016	5–10	3739.1±229.5–1306.7±63.2	69.7–54.8	0–14.4	30.3–20.9
3	2005	10–15	1575.2±113.5	0.4	76.3	1.3
	2016	10–15	425.8±33.2	0	74.3	12.8

ДПК псаммитовых отложений с доминированием *Phyllophora crispa* и от-дельно хаотически расположенными глыбами, где преобладают *Nereia filiformis* и *Zanardinia typus* (3), протянулся от Василёвой до Мраморной балки на глубине 10 – 15 м (см. рис. 2). Здесь зарегистрирован фитоценоз *Phyllophora crispa* + *Nereia filiformis* – *Zanardinia typus*. Этот фитоценоз – двухъярусный, при этом в первом ярусе на галечно-песчаных отложениях доминирует *Phyllophora crispa*, а на глыбах – *Nereia filiformis*. В составе фитоценоза единично встречаются *Lomentaria clavellosa*, *Cladostephus spongiosum*. На слоевищах *Phyllophora crispa* обильно представлена эпифитная синузия (*Acrochaetium secundatum*, *Vertebrata subulifera*, *Laurencia obtusa*, виды *Antithamnion*), тогда как на талломах *Nereia filiformis* эпифиты отсутствуют.

Для данного ДПК характерно минимальное видовое разнообразие, при этом зелёные виды водорослей отсутствуют (см. табл. 1). Биомасса фитоценоза низкая, доминирующая роль принадлежит *Phyllophora crispa* (см. табл. 2), доля *Nereia filiformis* составляет 11.8% общей биомассы макрофитов, а *Zanardinia typus* – 0.8% общей биомассы макрофитов. Упрощение структуры фитоценоза, связанное с увеличением глубины, отражается на величине индекса, значение которого понижает-

ся до 1.22. Флористический коэффициент, рассчитанный на этом ДПК, отличается максимальным значением, что обусловлено преобладанием красных видов водорослей (см. табл. 1).

Изменение состава и структуры макрофитобентоса ДПК за период с 1964 по 2016 г. Известно, что на состав и структуру донных фитоценозов, распределение биомассы макрофитобентоса в границах фитали существенное влияние оказывает экологическое состояние береговой зоны (Миронова и др., 2007; Мильчакова и др., 2011; Миронова, Панкеева, 2016). До 90-х гг. прошлого столетия для территории заказника «Караньский» было характерно специальное (военное) природопользование, что ограничивало доступ к береговой зоне. После снятия запретного режима приморская зона, прилегающих к заказнику территорий, стала активно застраиваться объектами рекреационной инфраструктуры и дачными посёлками. В начале 2000-х гг. в этом районе осуществляли добычу морского песка, что, вероятно, повысило мутность воды. Усиление антропогенной нагрузки вызвало увеличение эвтрофирования водной среды и привело к активизации обвальнопользования процессов в береговой зоне. В результате сложился конфликт природопользования между природоохранной ценностью и хозяйственной деятельностью. Под влиянием мнения учёных и общественности в 2008 г. была зарезервирована площадь для создания перспективной особо охраняемой территории – заказника «Караньский». Изменение типа природопользования береговой зоны, вероятно, отразилось на состоянии растительной компоненты ДПК и её продукционных характеристиках.

В 60-х гг. прошлого столетия на ДПК *псефитовых отложений с преобладанием видов *Carpodesmia crinita* и *Treptacantha barbata* (I)* зелёные водоросли отсутствовали, а бурых – отмечено минимальное количество (см. табл. 1). Среди них зарегистрированы индикаторы чистых вод, такие как *Eudesme virescens* (Carmichael ex Berkeley) J. Ag., *Dictyota dichotoma* (Huds.) J. V. Lamour. и *Feldmania irregularis* (Kütz.) Hamel (= *Ectocarpus arabicus*) – виды, которые не встречались позже. Только в 1964 г. в составе флоры обнаружена красная водоросль *Dasya baillouviana* (S. G. Gmel.) Mont. (= *D. pedicellata*), характерная для чистых акваторий открытых участков побережья.

К 2005 г. количество зелёных водорослей резко возросло (см. табл. 1). В этот период на всех глубинах ДПК обильно были представлены *Ulva rigida* C. Ag. и *U. intestinalis* L. – виды, предпочитающие районы с повышенным уровнем эвтрофирования морской среды. Значительно увеличилось количество бурых водорослей. Среди бурых видов макрофитов были представлены сезонно-зимние виды: *Scytosiphon lomentaria* (Lyngb.) Link. и *Punctaria latifolia* Grev., которые не фиксировали в 1964 и 2016 гг. В 2005 г. было зарегистрировано максимальное количество красных видов водорослей (см. табл. 1). В этом году в прибрежной зоне на глубине 0.5 м в составе эпифитной синузии встречался *Callithamnion corymbosum* (Smith) Lyngb., а глубже – *Ceramium diaphanum* (Lightfoot) Roth и *C. virgatum* Roth, которые считаются типичными представителями загрязнённых вод.

В 2016 г. количество зелёных водорослей было сходным по сравнению с этим показателем в 2005 г. (см. табл. 1), хотя видовой состав существенно изменился.

На этом ДПК наиболее часто встречаются представители родов *Cladophora* и *Chaetomorpha*, которые относятся к видам, обитающим в олиготрофных и мезотрофных водах. Количество бурых водорослей не изменилось за 11 лет. Однако появился *Ectocarpus siliculosus* – вид, предпочитающий районы, подверженные влиянию хозяйственно-бытовых стоков. Количество красных видов водорослей несколько снизилось (см. табл. 1).

За изучаемый период на этом ДПК биомасса макрофитобентоса как на верхней границе, так и на нижней возросла примерно в 1.5 – 2 раза, хотя доля видов *Carpodesmia crinita* и *Treptacantha barbata* снизилась, при этом её наименьшие показатели были зарегистрированы в 2005 г., а наибольшие – в 1964 г. (см. табл. 2). Вклад эпифитных водорослей существенно возрос, при этом их минимальная величина была отмечена в 1964 г., а максимальная – в 2005 г. (см. табл. 2). Значения индекса Шеннона увеличились, что свидетельствует об усложнении структуры сообщества. Величина коэффициента Чени также достигла наибольшего показателя в 2005 г., а наименьшего – в 1964 г. (см. табл. 1). Таким образом, произошедшие изменения во флористическом составе и количественных характеристиках макрофитов, возможно, свидетельствуют о возросшем эвтрофировании водных масс, которое, судя по вычисленным показателям, незначительно снизилось за последние годы.

В 1964 г. на ДПК псефитовых отложений с доминированием видов *Carpodesmia crinita*, *Treptacantha barbata* и с чередованием галечно-гравийных с битой ракушкой отложений, где господствует *Phyllophora crispa* (2), зелёные водоросли были представлены в основном типичными представителями олиготрофных вод, такими как *Chaetomorpha aërea* (Dillwyn) Kütz. и *Codium vermilara* (Oliv.) Delle Chiaje. Более 50 лет назад *Ulva rigida* произрастала только на глубине 10 м. Количество бурых водорослей на этом ДПК в течение всего периода исследований было одинаковым (см. табл. 1), при этом их видовой состав отличался. В составе флоры красных водорослей обнаружен *Rhodochorton purpureum* (Lightfoot) Rosenvinge – вид, обитающий в олиготрофных водах, который не обнаружили в последующие годы. В 60-х гг. прошлого века *Osmundea pinnatifida* (Huds.) Stackh. (обитатель чистых прозрачных вод) произрастала только в нижней сублиторальной зоне (глубина 10 м).

В 2005 г. было зарегистрировано максимальное разнообразие зелёных видов макрофитов, среди них сезонно-зимний *Bryopsis plumosa* (Huds.) C. Ag., *Cladophora albida* (Nees) Kütz.), *Ulva intestinalis*, *C. laetevirens* (Dillwyn) Kütz.), при этом два последних вида являются индикаторами эвтрофирования среды. *Ulva rigida* стала встречаться на всех глубинах. Бурые водоросли, такие как *Scytosiphon lomentaria* (Lyngb.) Link. и *Punctaria latifolia* Grev., были отмечены на ДПК только в этом году. В 2005 г. было зафиксировано максимальное видовое разнообразие красных водорослей (см. табл. 1). Здесь зарегистрированы *Polysiphonia denudata* (Dillwyn) Grev. ex Harv., *Ceramium siliculosum* (Kütz.) Maggs ex Hommersand (= *C. elegans*), *Ceramium diaphanum* и *C. virgatum* – виды, которые произрастают преимущественно в эвтрофированных районах и отличаются высокой толерантностью к хозяйст-

венно-бытовому загрязнению. Начиная с 2005 г. *Osmundea pinnatifida* стала произрастать ближе к берегу на глубине 3 м.

В 2016 г. на этом ДПК было зарегистрировано минимальное разнообразие зелёных видов водорослей (см. табл. 1). В этом году отмечали *Chaetomorpha aërea* и *Ch. linum* (O. F. Müll) Kütz.) – виды, обитающие на чистых участках прибрежной зоны. *Ulva rigida* не обнаружили. Среди красных водорослей обильно встречаются представители рода *Ceramium*.

За период с 1964 по 2016 г. на этом ДПК биомасса макрофитов на его верхней границе в целом оказалась соизмеримой, а на нижней – уменьшилась более чем в 2.5 раза (см. табл. 2). С увеличением глубины доля видов *Carpodesmia crinita* и *Treptacantha barbata* снижалась, при этом наибольшая величина этого показателя была зарегистрирована в 1964 г., а наименьшая – в 2005 г. (см. табл. 2). В диапазоне глубин от 5 до 10 м вклад *Phyllophora crispa* существенно возрастал (см. табл. 2). Характерно, что наибольшая биомасса этого вида была зафиксирована в 1964 г. За весь период изучения доля эпифитов увеличивалась с повышением глубины. В 2005 г. был достигнут максимум этой величины, в 2016 г. значения были несколько ниже, тогда как минимальная доля эпифитных водорослей была зарегистрирована в 1964 г. За более чем 50-летний период индекс Шеннона возрастал, что свидетельствует о полидоминантной структуре сообществ, высоком вкладе сопутствующих и эпифитных видов. Величина коэффициента Чени повысилась более чем в 2 раза за период с 1964 по 2005 г., тогда как к 2016 г. существенно снизилась (см. табл. 1). Таким образом, на этом ДПК также выявлено негативное изменение растительной компоненты и её продукционных характеристик, при этом наиболее неблагоприятное состояние макрофитобентоса зарегистрировано также в 2005 г.

В 1964 г. на ДПК псаммитовых отложений с доминированием *Phyllophora crispa* и отдельно хаотически расположенными глыбами, где преобладают *Nereia filiformis* и *Zanardinia typus* (3), пробы не были отобраны. В 2005 г. на этом ДПК встречалось равное количество видов зелёных и бурых водорослей, тогда как красных – было вдвое больше (см. табл. 1).

В 2016 г. зелёные виды водорослей не были обнаружены (см. табл. 1). За прошедшие 11 лет количество бурых и красных водорослей снизилось примерно вдвое. В этом году в составе фитоценоза не были зарегистрированы *Ectocarpus siliculosus*, *Sphacelaria cirrhosa*, *Carpodesmia crinita*, *Treptacantha barbata*, *Ceramium diaphanum*, *Ellisolandia elongata* (J. Ellis & Sol.) K. R. Hind & G. W. Saunders, *Jania rubens* (L.) J. V. Lamour. по сравнению с видовым составом макрофитов за 2005 г.

С 2005 по 2016 г. на этом ДПК биомасса макрофитов снизилась почти в 4 раза, хотя доля *Phyllophora crispa* оказалась соизмеримой, вклад эпифитов увеличился более чем на порядок (см. табл. 2). За этот период в изучаемом диапазоне глубин структура сообщества усложнилась, поэтому индекс Шеннона несколько повысился, тогда как величина коэффициента Чени практически не изменилась (см. табл. 1). Таким образом, на этом ДПК отмечено резкое снижение видового разнообразия и продукционных показателей макрофитобентоса, что, вероятно, в первую очередь, связано со снижением прозрачности воды на этих глубинах и общим повышением загрязнения водных масс.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ многолетней динамики состава и структуры макрофитобентоса заказника «Караньский» показал их трансформацию за период с 1964 по 2016 г. Так, если в 60 – 70-е гг. прошлого века нижняя граница фитали проходила на глубине свыше 30 м (Калугина-Гутник, 1975), то в настоящее время она не превышает 15 м. Такие изменения показаны для многих районов крымского шельфа (Миронова и др., 2007; Мильчакова и др., 2011).

Сравнительный анализ полученных результатов выявил, что флористический состав водорослей и количественные показатели фитоценозов значительно изменились во всех ДПК заказника. Для видового состава макрофитобентоса характерно увеличение количества зелёных и красных водорослей. Такая тенденция типична для районов с возросшей антропогенной нагрузкой (Калугина-Гутник, 1975; Миронова и др., 2007; Мильчакова и др., 2011). В 2005 г. отмечено максимальное количество видов, относящихся к группе водорослей, предпочитающих загрязнённые акватории. В этом году в летний период в составе фитоценозов всех ДПК были отмечены сезонно-зимние виды, что свидетельствует о невысокой температуре воды из-за её низкой прозрачности. В 2016 г. количество видов, относящихся к группе водорослей, обитающих в трофных водах, снизилось, их роль в структуре сообществ уменьшилась, что косвенно подтверждает улучшение качества воды.

За период изучения на ДПК (глубина 0.5 – 10 м) сократилась роль видов-доминантов *Carpodesmia crinita* и *Treptacantha barbata* (с 99.9 до 78.6%), *Phyllophora crispa* (с 52.9 до 14.4% общей биомассы макрофитов), резко увеличилась доля эпифитирующих макрофитов (см. табл. 2). Так, если ранее вклад эпифитов не превышал 0.1%, то сейчас – повысился на два порядка, что привело к усложнению структуры фитоценозов и повышению индекса Шеннона. Величина флористического коэффициента Чени повысилась примерно вдвое в акватории заказника за период с 1964 по 2005 г., что свидетельствует о возросшей эвтрофикации прибрежной зоны изучаемого участка. Значение этого коэффициента несколько уменьшилось в 2016 г., что, вероятно, подтверждает некоторое снижение загрязнения среды.

Создание заказника «Караньский» способствовало сохранению и частичному восстановлению уникального природного резервата морской флоры и донной растительности, что подтверждается увеличением флористического разнообразия водорослей-индикаторов чистых вод и возрастанием доли краснокнижных видов.

1. В ландшафтной структуре подводного берегового склона заказника «Караньский» выделено три ДПК с участием доминирующих видов макрофитов. Эти же ДПК регистрировали и более 50 лет назад. Основным, как и 52 года назад, является ДПК псефитовых отложений с доминированием *Carpodesmia crinita* и *Treptacantha barbata* (89.7 – 78.6% общей биомассы макрофитов), для него характерно высокое флористическое разнообразие и максимальные значения биомассы макрофитобентоса. ДПК псефитовых отложений с доминированием видов *Carpodesmia crinita*, *Treptacantha barbata* и с чередованием галечно-гравийных с битой ракушей отложений, где господствует *Phyllophora crispa*, характеризуется наиболее высоким флористическим разнообразием и снижением доли первых двух

видов до 69.7 – 54.8%, а вклад последнего вида не превышает 14.4% общей биомассы макрофитов ДПК. В 1964 г. на этом ДПК также было отмечено максимальное разнообразие флоры и высокие продукционные показатели *Phyllophora crispa* (до 52.9% общей биомассы макрофитов). ДПК псаммитовых отложений с доминированием *Phyllophora crispa* и отдельно хаотически расположенными глыбами, где преобладают *Nereia filiformis* и *Zanardinia typus*, отличается низким флористическим разнообразием, преобладанием *Phyllophora crispa* (74.3% общей биомассы макрофитов ДПК) и сохранностью многолетних видов.

2. Сравнительный анализ видового разнообразия и распределения биомассы макрофитов за более чем 50-летний период выявил изменения растительной компоненты ДПК прибрежной зоны заказника. В составе донной растительности исчезли *Eudesme virescens*, *Dictyota dichotoma*, *Feldmania irregularis*, *Dasya bairdii*, *Rhodochorton purpureum*, обитающие на чистых открытых участках побережья, появились макрофиты (*Cladophora laetevirens*, *Ectocarpus siliculosus* и *C. virgatum*), предпочитающие районы с повышенным уровнем эвтрофирования морской среды. Увеличилась биомасса эпифитов (0.1 – 42.6% общей биомассы макрофитов) и снизилась роль видов-доминантов (*Carpodesmia crinita*, *Treptacantha barbata* и *Phyllophora crispa*).

3. В настоящее время условия прибрежной акватории в границах заказника «Караньский» соответствуют слабоэвтрофным, на что указывает высокое флористическое разнообразие водорослей-индикаторов чистых вод, хорошая степень сохранности краснокнижных видов и многолетних коренных фитоценозов.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН (№ АААА А18-118021350003-6).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бондарева Л. В., Миронова Н. В., Мильчакова Н. А., Рябогина В. Г. Сохранение природных экосистем юго-западного Крыма // Современные проблемы экологии Азово-Черноморского региона : материалы III Междунар. конф. Керчь : Изд-во ЮгНИРО, 2008. С. 127 – 135.

Игнатов Е. И., Митина Н. П., Папунов В. Г. Методика исследований донных комплексов мелководной части шельфа // Подводные гидробиологические исследования. Владивосток : Дальневост. науч. центр АН СССР, 1982. С. 80 – 83.

Зинова А. Д. Определитель зелёных, бурых и красных водорослей южных морей СССР. Л. : Наука. Ленингр. отд-ние, 1967. 400 с.

Калугина-Гутник А. А. Фитобентос Чёрного моря. Киев : Наук. думка, 1975. 248 с.

Калугина-Гутник А. А. Изменение видового состава фитобентоса в бухте Ласпи за период 1964 – 1983 гг. // Экология моря. 1989. Т. 31. С. 7 – 12.

Красная книга города Севастополя. Севастополь : ИД «РОСТ-ДООФК», 2018. 432 с.

Красная книга Республики Крым. Растения, водоросли и грибы. Симферополь : «ИТ «АРИАЛ»», 2015. 480 с.

Красная книга Российской Федерации (растения и грибы). М. : Т-во науч. изд. КМК, 2008. 885 с.

Мильчакова Н. А., Александров В. В., Рябогина В. Г. Состояние ключевых фитоценозов морских охраняемых акваторий и проблемы их сохранения (Юго-Западный Крым, Чёрное море) // Биология растений и садоводство : теория, инновации. 2019. Т. 149. С. 113 – 123.

Мильчакова Н. А., Миронова Н. В., Рябогина В. Г. Морские растительные ресурсы // Промысловые биоресурсы Чёрного и Азовского морей. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2011. С. 117 – 139.

Миронова Н. В., Панкеева Т. В. Запасы макрофитов как показатель экологического состояния береговой зоны региона Севастополя // Морские биологические исследования : достижения и перспективы : сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, приуроченной к 145-летию Севастопольской биологической станции. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2016. Т. 2. С. 306 – 309.

Миронова Н. В., Мильчакова Н. А., Рябогина В. Г. Ресурсы макрофитов побережья Гераклеяского полуострова и особенности их многолетней динамики (Крым, Чёрное море) // Труды ВНИРО. Т. 147. Морские промысловые беспозвоночные и водоросли : биология и промысел. К 70-летию со дня рождения Бориса Георгиевича Иванова. 2007. С. 381 – 396.

Папунов Д. В. Межгодовая динамика донных природных комплексов береговой зоны Черного моря на полуострове Абрау // Водные ресурсы, экология и гидрологическая безопасность : сб. тр. Второй науч. конф. молодых ученых и талантливых студентов. М. : Россельхозакадемия, 2008. С. 77 – 79.

Петров К. М. Подводные ландшафты : теория, методы исследования. Л. : Наука. Ленингр. отд-ние, 1989. 126 с.

Постановление правительства Севастополя о создании государственного природного ландшафтного заказника регионального значения «Караньский» от 7 сентября 2017 года № 667-ПП. Севастополь, 2017. URL: <https://sev.gov.ru/docs/253/41692/> (дата обращения: 19.02.2020).

Чернышева Е. Б. Распределение макроводорослей в природном «Караньский» // Экология : рациональное природопользование и безопасность жизнедеятельности : материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Майкоп : Изд-во Адыгейского гос. ун-та, 2017. Ч. 1. С. 100 – 103.

Birben Ü. The effectiveness of protected areas in biodiversity conservation : The case of Turkey // *Cerne*. 2019. Vol. 25, № 4. P. 424 – 438. <https://doi.org/10.1590/01047760201925042644>

Boero F., Foglini F., Aliani S., Angeletti L., Barbieri L., Beroldo R., Falcieri F., Grande V., Griffa A., Langone L., Lazzari P., Lobato T., Miserocchi S., Palamà D., Sclavo M., Solidoro C., Suaria G., Taviani M., Toncini A., Trincardi F. et al. Coconet : Towards coast to coast networks of marine protected areas (from the shore to the high and deep sea), coupled with sea-based wind energy potential // *SCIRES-IT : SCientific RESearch and Information Technology*. 2016. Vol. 6, suppl. P. 1 – 95.

Coad L., Watson J. E., Geldmann J., Burgess N. D., Leverington F., Hockings M., Knights K., Marco M. Widespread shortfalls in protected area resourcing undermine efforts to conserve biodiversity // *Frontiers in Ecology and the Environment*. 2019. Vol. 17, iss. 5. P. 259 – 264. <https://doi.org/10.1002/fee.2042>

EUNIS Habitats Directive Classification. Copenhagen : European Environment Agency, 2007. Available at: <http://www.eea.europa.eu/themes/biodiversity/eunis/eunis-habitats-classification> (accessed 15 February 2020).

Fernández C. G., Paulo D., Serrão E. A., Engelen A. H. Limited differences in fish and benthic communities and possible cascading effects inside and outside a protected marine area in Sagres (SW Portugal) // *Marine Environmental Research*. 2016. Vol. 114. P. 12 – 23. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2015.12.003>

Gubbay S., Sanders N., Haynes T., Janssen J. A. M., Rodwell J. R., Nieto A., García Criado M., Beal S., Borg J., Kennedy M., Micu D., Otero M., Saunders G., Calix M. European Red List of Habitats. Part 1. Marine Habitats. Luxembourg : Publications Office of the European Union, 2016. 52 p.

Guiry M. D., Guiry G. M. AlgaeBase. Galway : National University of Ireland, 2020. Available at: <http://www.algaebase.org> (accessed 15 February 2020).

Pankeeva T. V., Mironova N. V. Spatiotemporal changes in the macrophytobenthos of Laspi Bay (Crimea, Black Sea) // *Oceanology*. 2019. Vol. 59, iss. 1. P. 86 – 98. <https://doi.org/10.1134/S0001437019010168>

Sadogurskiy S. Ye. Macrophytobenthos in the coastal waters near Cape Tarkhankut (Crimean Peninsula, the Black Sea) // *International Journal on Algae*. 2018. Vol. 20, № 1. P. 69 – 84. <https://doi.org/10.1615/InterJAlgae.v20.i1.70>

Sadogurskiy S. Ye. Macrophytobenthos of the coastal water area at the Cape Karamrun (Peninsula, the Black Sea) // *International Journal on Algae*. 2017. Vol. 19, № 2. P. 51 – 58. <https://doi.org/10.1615/InterJAlgae.v19.i2.30>

Spatial-temporal changes of macrophytobenthos in the coastal zone of the Reserve “Karan’sky” (Sevastopol City, Black Sea)

N. V. Mironova, T. V. Pankeeva ✉

A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of the Russian Academy of Sciences
2 Nakhimov Ave., Sevastopol 299011, Russia

Received: 11 March 2020 / revised: 8 October 2020 / accepted: 3 November 2020

Abstract. For the first time, a comparative analysis of the specific diversity, changes in the biomass of macrophytobenthos in the reserve “Karan’sky” coastal zone from 1964 to 2016 was performed on the basis of a landscape approach. A landscape map of the underwater coastal slope has been drawn up, three bottom natural complexes (BNC) have been identified. The BNC of psephite deposits dominated by *C. crinita* and *Tr. barbata* (up to 89.7–78.6% of the total biomass of macrophytes) is the main one. This complex is characterized by high floristic diversity and maximum values of the biomass of macrophytobenthos. The BNC of psephite deposits with *C. crinita* and *Tr. barbata* to predominate and with pebble-gravel deposits with broken shells alternate, where *Ph. crispa* is the dominant species, is characterized by high floristic diversity and a decreased proportion of *C. crinita* and *Tr. barbata*, the contribution of *Ph. crispa* to the total biomass of macrophytes is 14.4%. The BNC of psammitic deposits with *Ph. crispa* to predominate and with separately randomly located blocks, where *Nereia filiformis* and *Zanardinia typus* predominate, is characterized by low floristic diversity, the predominance of *Phyllophora crispa* (74.3% of the total biomass of macrophytes), and the preservation of perennial species. For more than 50 years, there was a reorganization and degradation of the plant component in all BNC (depth 0.5–10 m), which was probably due to the intensification of anthropogenic activity in the coastal zone. *Eudisme virescens*, *Dictyota dichotoma*, *Feldmania irregularis*, *Dasya baillouviana* and *Rhodochorton purpureum*, which live in clean, open areas of the coast, have disappeared from the bottom vegetation, and macrophytes (*Cladophora laetevirens*, *Ectocarpus siliculosus* and *C. virgatum*), typical for eutrophic waters, have appeared in the duodenum. The biomass of epiphytes has increased (from 0.1 to 42.6% of the total biomass of macrophytes), and the role of dominant species has decreased: *C. crinita*, *Tr. barbata* (from 99.9 to 78.6%) and *Ph. crispa* (from 52.9 to 14.4% of the total biomass of macrophytes). The organization of the “Karan’sky” Reserve contributed to the preservation and partial restoration of the unique natural complex of marine flora and bottom vegetation, which is confirmed by the increased floristic diversity of algae-indicators of clean waters and the increased proportion of the Red Data Book species.

Keywords: macrophytes, *Carpodesmia crinita*, *Treptacantha barbata*, *Phyllophora crispa*, bottom natural complexes, Reserve “Karan’sky”, Black Sea

For citation: Mironova N. V., Pankeeva T. V. Spatial-temporal changes of macrophytobenthos in the coastal zone of the Reserve “Karan’sky” (Sevastopol City, Black Sea). *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2021, no. 1, pp. 47–63. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2021-1-47-63>

Acknowledgments. This work was carried out within the framework of the government task in A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of the Russian Academy of Sciences (No. AAAA-A18-118021350003-6).

✉ Corresponding author. Biotechnology and Phytoreources Department, A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of the Russian Academy of Sciences, Russia.

ORCID and e-mail addresses: <https://orcid.org/0000-0001-7110-7081>, dr.nataliya.mironova@yandex.ru (Natalia V. Mironova); <https://orcid.org/0000-0002-8933-6103>, tatyanapankeeva@yandex.ru (Tatyana V. Pankeeva).

REFERENCES

- Bondareva L. V., Milchakova N. A., Mironova N. V., Ryabogina V. G. Conservation of natural ecosystems of the south-western Crimea. *Current problems of the Azov-Black Sea Region ecology: Materials III International Conference*. Kerch, YugNIRO Publ., 2008, pp. 127–135 (in Russian).
- Ignatov E. I., Mitina N. P., Paponov V. G. Methods of research of bottom complexes of the shallow part of the shelf. In: *Podvodnye gidrobiologicheskie issledovaniya* [Underwater Hydrobiological Research]. Vladivostok, Dal'nevostochnyi nauchnyi tsentr AN SSSR Publ., 1982, pp. 80–83 (in Russian).
- Zinova A.D. *Opredelitel' zelenykh, burykh i krasnykh vodoroslej yuzhnykh morej SSSR* [Determinant of Green, Brown and Red Algae of the Southern Seas of the USSR]. Leningrad, Nauka Publ., 1967. 397 p. (in Russian).
- Kalugina-Gutnik A. A. *Fitobentos Chernogo morya* [Phytobenthos Black Sea]. Kyiv, Naukova Dumka Publ., 1975. 248 p. (in Russian).
- Kalugina-Gutnik A. A. Variations in the species composition of phytobenthos in the Laspi Bay over 1964–1983. *Ekologiya morya*, 1989, vol. 31, pp. 7–12 (in Russian).
- The Red Book of the Sevastopol*. Sevastopol, ID “ROST-DOAFK” Publ., 2018. 432 p. (in Russian).
- The Red Book of the of the Republic of Crimea. Plants, Algae and Mushrooms*. Simferopol, IT “ARIAL” Publ., 2015. 480 p. (in Russian).
- The Red Book of the Russian Federation (Plants and Fungi)*. Moscow, KMK Scientific Press Ltd., 2008. 855 p. (in Russian).
- Milchakova N. A., Alexandrov V. V., Ryabogina V. G. State of key phytocenoses of marine protected areas and problems their conservation (Southwestern Crimea, Black Sea). *Plant Biology and Horticulture: Theory, Innovation*, 2019, vol. 149, pp. 113–123 (in Russian).
- Milchakova N. A., Mironova N. V., Ryabogina V. G. Marine Plant Resources. In: *Biological Resources of the Black Sea and Sea of Azov*. Sevastopol, EKOSI-Gidrofizika Publ., 2011. 367 p. (in Russian).
- Mironova N. V., Pankeeva T. V. Macrophyte stocks as an indicator of the ecological state of the coastal zone of the Sevastopol region. In: *Marine Biological Research: Achievements and prospects: Collection of materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference with International participation dedicated to the 145th anniversary of the Sevastopol Biological Station*. Sevastopol, EKOSI-Gidrofizika Publ., 2016. vol. 2. pp. 306–309 (in Russian).
- Mironova N. V., Milchakova N. A., Ryabogina V. G. The macrophyte stock and its long-term dynamics in the coastal sea of the Gerakleisky peninsula (Crimea, the Black Sea). *VNIRO Proceedings*, vol. 147: Marine Commercial in Vertebrates and Algae (Biology and Fishery). To 70-th Anniversary of B. G. Ivanov, 2007, pp. 381–396 (in Russian).
- Paponov D. V. Interannual dynamics of bottom natural complexes of the Black Sea coastal zone on the Abrau peninsula. In: *Water Resources, Ecology and Hydrological Safety: Collection of the Second Scientific Conference of Young Scientists and talented Students*. Moscow, Rossel'hoz-kademiya Publ., 2008. pp. 77–79 (in Russian).
- Petrov K. M. *Podvodnye landschafty: teoriia, metody issledovaniia* [Underwater Landscapes: Theory, Research Methods]. Leningrad, Nauka Publ., 1989. 126 p. (in Russian).
- Postanovlenie pravitel'stva Sevastopolya o sozdanii gosudarstvennogo prirodnogo landshaftnogo zakaznika regional'nogo znacheniya “Karan'skij” ot 7 sentyabrya 2017 goda № 667-PP* [Resolution of the Government of Sevastopol on the creation of the state natural landscape reserve of regional significance “Karansky” dated September 7, 2017 No. 667-PP]. Sevastopol, 2017. Available at: <https://sev.gov.ru/docs/253/41692/> (accessed 19 February 2020) (in Russian).

Chernysheva E. B. Distribution of macroalgae in the reserve “Karansky”. In: *Ekologiya: rational'noe prirodopol'zovanie i bezopasnost' zhiznedeiatel'nosti: materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [Ecology: Rational Use of Natural Resources and Safety of Life: Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference With International Participation]. Maykop, Izdatel'stvo Adygeiskogo gosudarstvennogo universiteta, 2017, pt. 1. pp. 100–103 (in Russian).

Birben Ü. The effectiveness of protected areas in biodiversity conservation: The case of Turkey. *Cerne*, 2019, vol. 25, no. 4, pp. 424–438. <https://doi.org/10.1590/01047760201925042644>

Boero F., Foglini F., Aliani S., Angeletti L., Barbieri L., Beroldo R., Falcieri F., Grande V., Griffa A., Langone L., Lazzari P., Lobato T., Miseroocchi S., Palamà D., Sclavo M., Solidoro C., Suaria G., Taviani M., Toncini A., Trincardi F. et al. Coconet: Towards coast to coast networks of marine protected areas (from the shore to the high and deep sea), coupled with sea-based wind energy potential. *SCIRES-IT: SCientific REsearch and Information Technology*, 2016, vol. 6, suppl., pp. 1–95.

Coad L., Watson J. E., Geldmann J., Burgess N. D., Leverington F., Hockings M., Knights K., Marco M. Widespread shortfalls in protected area resourcing undermine efforts to conserve biodiversity. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2019, vol. 17, iss. 5, pp. 259–264. <https://doi.org/10.1002/fee.2042>

EUNIS Habitats Directive Classification. Copenhagen, European Environment Agency, 2007. Available at: <http://www.eea.europa.eu/themes/biodiversity/eunis/eunis-habitats-classification> (accessed 15 February 2020).

Fernández C. G., Paulo D., Serrão E. A., Engelen A. H. Limited differences in fish and benthic communities and possible cascading effects inside and outside a protected marine area in Sagres (SW Portugal). *Marine Environmental Research*, 2016, vol. 114, pp. 12–23. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2015.12.003>

Gubbay S., Sanders N., Haynes T., Janssen J. A. M., Rodwell J. R., Nieto A., García Criado M., Beal S., Borg J., Kennedy M., Micu D., Otero M., Saunders G., Calix M. *European Red List of Habitats. Part 1. Marine Habitats*. Luxembourg, Publications Office of the European Union, 2016. 52 p.

Guiry M. D., Guiry G. M. *AlgaeBase*. Galway, National University of Ireland, 2020. Available at: <http://www.algaebase.org> (accessed 15 February 2020).

Pankeeva T. V., Mironova N. V. Spatiotemporal changes in the macrophytobenthos of Laspi Bay (Crimea, Black Sea). *Oceanology*, 2019, vol. 59, iss. 1, pp. 86–98. <https://doi.org/10.1134/S0001437019010168>

Sadogurskiy S. Ye. Macrophytobenthos in the coastal waters near Cape Tarkhankut (Crimean Peninsula, the Black Sea). *International Journal on Algae*, 2018, vol. 20, no. 1, pp. 69–84. <https://doi.org/10.1615/InterJAlgae.v20.i1.70>

Sadogurskiy S. Ye. Macrophytobenthos of the coastal water area at the Cape Karamrun (Peninsula, the Black Sea). *International Journal on Algae*, 2017, vol. 19, no. 2, pp. 51–58. <https://doi.org/10.1615/InterJAlgae.v19.i2.30>