

ЭКОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 582.271/275:502.7(262.5)

doi: 10.17072/1994-9952-2023-2-179-194

Таксономический анализ макрофитобентоса акватории памятника природы «Прибрежный аквальный комплекс у мыса Фиолент» (Черное море)

Ирина Константиновна Евстигнеева^{1✉}, Ирина Николаевна Танковская²

^{1,2} Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН, Севастополь, Россия

^{1✉} ikevstigneeva@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7473-251X>

² itankovskay@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4907-0179>

Аннотация. С увеличением антропогенного влияния на охраняемые морские объекты происходит сокращение их биоразнообразия. Возникает необходимость составления прогнозов воздействия на их береговую зону. Прогнозы должны базироваться на результатах многолетних наблюдений, которые в акватории памятника природы «Прибрежный аквальный комплекс у мыса Фиолент» проводились эпизодически в середине XX в. Сведения о флоре памятника немногочисленны и требуют актуализации. Цель работы – изучение видового состава, таксономической структуры и изменчивости макрофитобентоса памятника в современных условиях. Альгологические работы осуществляли методом вертикальных гидробиотических разрезов в июле 2021 г. Пробы отбирал дайвер на глубине 0.5; 1, 3, 5, 10 и 15 м на восточном и западном участках. На основе данных за период с 1977 по 2021 гг. составлен список из 90 видов, 63 родов, 35 семейств, 24 порядков, 5 классов Chlorophyta, Ochrophyta, Rhodophyta. 13 видов имеют природоохранный статус. Основу фитоценозов образуют маловидовые роды, а флористических спектров – ограниченное число надвидовых таксонов. В 2021 г. фитоценоз памятника включал 52 вида. Флора памятника тепловодная, субтропическая, среда ее обитания – мезотрофная. Сравнение состава фитоценозов восточного и западного участков не выявило принципиальных различий. Низкие значения коэффициента Жаккара указывают на батиметрическую обособленность флористического состава. Выявлена прямая зависимость числа видов от глубины. Показано, что качественная гетерогенность фитоценозов в разные десятилетия не так выражена, как в пределах одного десятилетия.

Ключевые слова: макрофитобентос, видовой состав, таксономическая структура, пространственно-временная изменчивость, особо охраняемая территория, Крым, Черное море

Для цитирования: Евстигнеева И. К., Танковская И. Н. Таксономический анализ макрофитобентоса акватории памятника природы «Прибрежный аквальный комплекс у мыса Фиолент» (Черное море) // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2023. Вып. 2. С. 179–194. <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2023-2-179-194>.

Благодарности: работа выполнена в рамках Государственного задания № 121030300149-0 Института биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН. Авторы выражают благодарность Т. В. Панкеевой (с.н.с. ФИЦ ИнБЮМ), Н. В. Мироновой (с.н.с. ФИЦ ИнБЮМ), водолазу-дайверу И. Ю. Тамойкину за помощь в проведении исследований.

ECOLOGY

Original article

Taxonomic analysis of macrophytobenthos in the area of the Natural Monument «Coastal aquatic complex near Cape Fiolent» (Black Sea)

Irina K. Evstigneeva^{1✉}, Irina N. Tankovskaya²

^{1,2} A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas, of the RAS, Sevastopol, Russia

^{1✉} ikevstigneeva@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7473-251X>

² itankovskay@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4907-0179>

Abstract. An increase in anthropogenic impact on protected marine objects makes their biodiversity decrease. There is a need to make forecasts of the impact on their coastal zone. The forecasts should be based on the re-

sults of long-term observations, which were carried out sporadically in the water area of the natural monument "Coastal aquatic complex near Cape Fiolent" in the middle of the 20th century. Information about the flora of the monument is scarce and needs to be updated. The aim of the study was to investigate the species composition, taxonomic structure and variability of the monument macrophytobenthos in modern conditions. Algological works were carried out by the method of vertical hydro-botanical sections in July 2021. Samples were taken by a diver at depths of 0.5; 1, 3, 5, 10 and 15 m in the eastern and western sections. A list of 90 species, 63 genera, 35 families, 24 orders, 5 classes Chlorophyta, Ochrophyta, Rhodophyta was compiled based on data for the period 1977 - 2021. 13 species have a conservation status. The basis of phytocenosis is formed by minor genera and the floristic spectra - by a limited number of superspecific taxa. In 2021 the phytocenosis of the monument included 52 species. The flora of the monument is warm-water, subtropical, and its habitat is mesotrophic. Comparison of the composition of phytocenoses in the eastern and western sites revealed no fundamental differences. Low values of Jaccard's coefficient indicate bathymetric isolation of the floristic composition. A direct dependence of the number of species on depth was revealed. It is shown that qualitative heterogeneity of phytocenoses in different decades is not as pronounced as within the same decade.

Keywords: macrophytobenthos, species composition, taxonomic structure, spatial and temporal variability, specially protected area, Crimea, Black Sea

For citation: Evstigneeva I. K., Tankovskaya I. N. [Taxonomic analysis of macrophytobenthos in the area of the Natural Monument «Coastal aquatic complex near Cape Fiolent» (Black Sea)]. *Bulletin of Perm University. Biology*. Iss. 2 (2023): pp. 179-194. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2023-2-179-194>.

Acknowledgments: the work was performed as a part of the state assignment of A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas, Russian Academy of Sciences (Project No 121030300149-0). The authors are grateful to T. V. Pankeeva (Sr IBSS), N. V. Mironova (Sr IBSS) and diver I. Yu. Tamoikin for their help in the research.

Введение

Биоразнообразие играет важную роль в обеспечении экосистемных функций и услуг, которые человечество получает из Мирового океана. Понимание того, как это обеспечение сохранится в эпоху, когда главным двигателем изменений окружающей среды становится человек, требует знания закономерностей формирования морского биоразнообразия во времени и пространстве [Strong et al., 2015; Buonocore et al., 2021]. Известно, что морские экосистемы с их эколого-видовым разнообразием в отдельных регионах нуждаются в обеспечении эффективной сохранности и защиты [Öztürk et al., 2017; Birben, 2019; Coad et al., 2019]. Одним из способов их сохранения является создание сети особо охраняемых природных территорий (ООПТ) [Панкеева, Миронова, Пархоменко, 2022]. Такие территории, помимо прямого назначения, способны стать полигонами для мониторинга состояния локального биоразнообразия, результаты которого могут быть приняты во внимание при усовершенствовании природоохранных мероприятий [Fernández et al., 2016]. В прибрежной зоне Крыма расположены шесть ООПТ, включающих морские охраняемые акватории [Позаченюк и др., 2020; Особо охраняемые..., 2020]. В их число входят памятники природы гидрологического профиля. Существует мнение, что таксономические оценки разнообразия в Мировом океане крайне неполны или требуют актуализации [Luuraert et al., 2020]. Это в полной мере относится и к региональным ООПТ, среди которых «Прибрежный аквальный комплекс (ПАК) у мыса Фиолент». Экологически важным компонентом морских экосистем являются бентосные макроводоросли. В связи с этим целью данной работы стало изучение видового состава, таксономической структуры и пространственно-временной изменчивости макрофитобентоса ПАК.

Материал и методы исследования

Памятник природы «ПАК у мыса Фиолент» находится на юго-западе Крыма и представляет собой единую бенчево-клифовую зону, выработанную в отложениях структурных денудационноостанцовых равнин Гераклеяского полуострова и в магматических породах [Игнатов, Орлова, Санин, 2014]. Его береговая зона отличается своеобразным геолого-геоморфологическим строением и активными динамическими процессами. Акватория считается относительно чистой, что обеспечивается сезонными и суточными перемещениями водных масс и сгонно-нагонными явлениями. К факторам, обеспечивающим особенности циркуляции и динамики вод в районе от мыса Херсонес до мыса Фиолент, относятся интенсивный поток Основного Черноморского течения, направленный на запад и северо-запад вдоль южного побережья Крыма, севастопольский антициклон, северная периферия которого нередко является вдольбереговым потоком, направленным на юго-восток [Дьяков и др., 2020]. Западнее ПАК располагаются канализационно-очистные сооружения (КОС) «Южные», восточнее – КОС «Балаклавские». В неблагоприятных условиях (слабые течения и отсутствие стратификации) плюм сточных вод может быть большим (до 2.0–3.5 км²) и способным к поднятию на поверхность. Периодически у мыса Фиолент значения БПК₅

превышают ПДК [Грузинов и др., 2019]. В 2021 г. такое превышение было зафиксировано у выпуска КОС «Балаклавские» [Дьяков и др., 2020].

Альгологические работы проводили в июле 2021 г. методом вертикальных гидробиотических разрезов. Один из них был выполнен на восточном участке памятника (акватория пляжа «Яшмовый»), второй – на западном (пляж «Царский») (рис. 1).

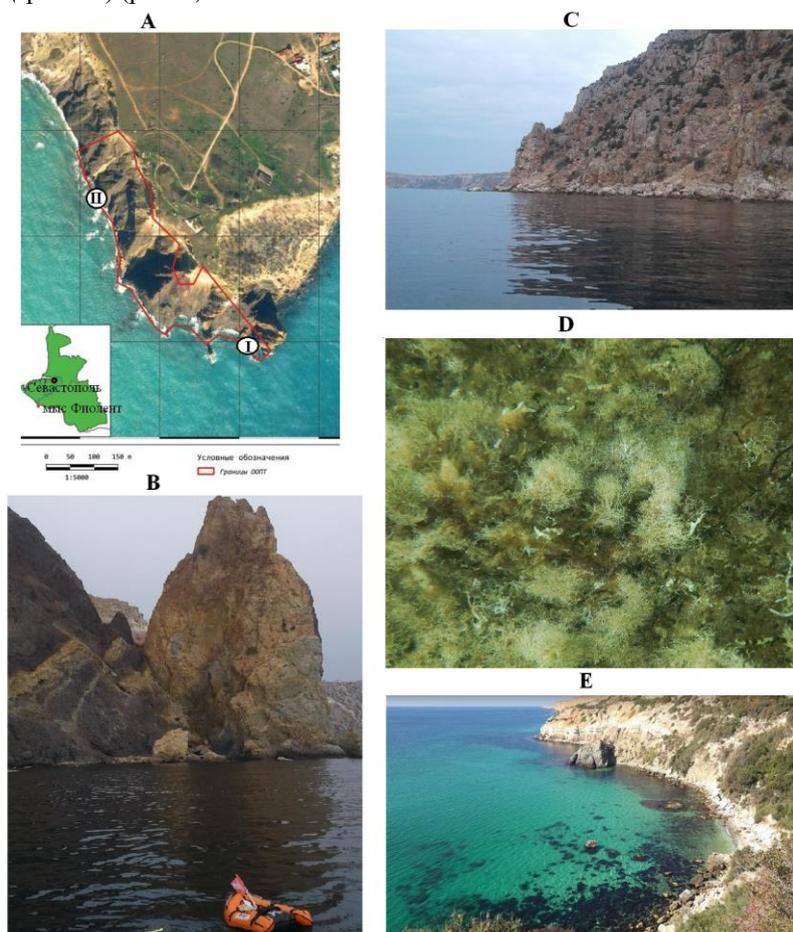


Рис. 1. Прибрежный аквальный комплекс у мыса Фиолент (Севастопольский регион):

А – схема расположения разрезов; В – пляж «Яшмовый» (I) (N 44° 30.244'; E 33° 30.225'); С, Е – пляж «Царский» (II) (N 44° 30.461'; E 33° 28.921'); D – заросли макроводорослей на глубине 1 м

[The Coastal aquatic complex at Cape Fiolent (Sevastopol region):

A – schematic location of the transects, B – «Yashmovyj» beach (I) (N 44° 30.244'; E 33° 30.225'); C, E – «Carskiy» beach (II) (N 44° 30.461'; E 33° 28.921'); D – macroalgae overgrowth at a depth of 1 m]

Отбор проб проводили с помощью дайвера на глубинах 0.5, 1; 3; 5; 10 и 15 м до границы распространения водорослей в четырехкратной повторности с применением учетных площадок размером 25 × 25 см [Калугина, 1969]. Всего было собрано 44 количественные пробы. Их первичная обработка проходила в лаборатории, где определяли видовой состав водорослей с применением микроскопа «Армед XS-90». Для идентификации видов руководствовались отечественным определителем [Зинова, 1967] и учитывали результаты последних номенклатурных ревизий [Guiry and Guiry, 2023].

Для описания таксономической структуры применяли сведения о пропорциях флоры, а данные по видовому составу привлекали для оценки принадлежности морской флоры к конкретной географической зоне (коэффициент Фельдманна) и для определения степени эвтрофирования водной среды в районе исследования (индекс Ченя) [Feldmann, 1937; Cheney, 1977]. Для сравнения альгофлоры восточного и западного участков ПАК использовали коэффициенты сходства видов по Жаккару (K_j , %) и их встречаемости (R , %). Данные о встречаемости легли в основу расчетов индексов гомотонности фитоценоза ($J_{1,2}$), фитоценотической активности видов (особо-, высоко-, средне-, малоактивные), а также для выявления особенностей распределения видов по группам постоянства [Миркин, Розенберг, Наумова, 1989; Dajoz, 2006; Савинов, Никитин, 2017]. На базе этих данных виды делили на 5 классов встречаемости (класс А –

0–20%, B – 21–40%, C – 41–60%, D – 61–80%, E – 81–100%), по соотношению которых определяли степень соответствия закону встречаемости Раункиера [Грейг-Смит, 1967].

Для описания состояния фитоценоза в разные периоды времени привлекали собственные, архивные и литературные данные [Мильчакова, 2003]. Результаты собственных исследований в районе пляжа «Яшмовый» на глубине 0.5 м в июле и августе таких смежных лет, как 2002, 2003, 2005, 2007 и 2009 гг., а также в периоды, отделенные несколькими десятилетиями (1977, 2007, 2021 гг.) и условно обозначенные как несмежные годы, применили для описания разногодичной изменчивости видового состава. Для оценки изменчивости количества видов в ценозе и отделах определяли его среднее значение с доверительным интервалом [Жукова, 2019], а по величине коэффициента вариации (C_v , %) – еще и тип варибельности показателя (верхне- и нижнормальный, значительный, большой, очень большой, аномально высокий) [Зайцев, 1990].

Результаты и обсуждение

Общая характеристика макрофитобентоса в акватории «ПАК у мыса Фиолент» летом 2021 г. В период наших работ в составе макрофитобентоса (МФБ) ПАК обнаружены 52 вида из 38 родов, 23 семейств, 16 порядков, 5 классов отделов Chlorophyta (Ch), Ochrophyta (Och) и Rhodophyta (Rh) (табл. 1).

Таблица 1

Видовой состав макроводорослей памятника природы «ПАК у мыса Фиолент» [Species composition of macroalgae of the Nature conservation area «NAC at the cape Fiolent»]

№	Таксон	1*	2	3	4	5
CHLOROPHYTA Rchb.						
Ulvophyceae Mattox et K.D. Stewart						
Cladophorales Haeckel						
Cladophoraceae Wille						
1	<i>Chaetomorpha linum</i> (O.F. Müll.) Kütz.		+	+	+	+
2	<i>Chaetomorpha aerea</i> (Dillw.) Kütz.		+	+	+	+
3	<i>Cladophora laetevirens</i> (Dillw.) Kütz.	+	+	+	+	+
4	<i>Cladophora albida</i> (Nees) Kütz.	+	+	+	+	+
5	<i>Cladophora liniformis</i> Kütz.				+	
6	<i>Cladophora sericea</i> (Huds.) Kütz.			+	+	
7	<i>Cladophora vadorum</i> Aresch. Kütz.			+		
8	<i>Lychaete echinus</i> (Biaioletto) M.J. Wynne		+			
Ulvales F.F. Blackman et Tansley						
Ulvaceae J.V. Lamour. ex Dumort.						
9	<i>Ulva intestinalis</i> L.				+	+
10	<i>Ulva linza</i> L.				+	
11	<i>Ulva rigida</i> C. Agardh				+	+
Ulvellaceae Schmidle						
12	<i>Ulvella viridis</i> (Reinke) R. Nielsen, O'Kelly et B. Wysor		+			
13	<i>Ulvella wittrockii</i> (Wille) R. Nielsen		+			
14	<i>Ulvella lens</i> P.Crouan et H. Crouan	+	+			
15	<i>Ulvella scutata</i> (Reinke) R. Nielsen, C.J. O'Kelly et B. Wysor	+	+			
Boodleaceae Borgesen						
16	<i>Cladophoropsis membranacea</i> (Hofm.-Bang ex C. Agardh) Borgesen		+			
Ulotrichales Borzi						
Ulotrichaceae Kütz.						
17	<i>Ulothrix implexa</i> (Kütz.) Kütz.			+	+	+
Bryopsidales J.H. Schaffner						
Bryopsidaceae Bory						
18	<i>Bryopsis hypnoides</i> J.V. Lamour.	+	+			
Codiaceae Stackhouse						
19	<i>Codium vermilara</i> (Olivi) Delle Chiaje	+	+			
Acrosiphoniales (отсутствует)						
Acrosiphoniaceae S. Jónsson						
20	<i>Acrosiphonia arcta</i> (Dillw.) Gain		+			
Всего Ch: 20 видов, 10 родов, 8 семейств, 5 порядков, 1 класс						
OCHROPHYTA Caval.-Sm.						
Phaeophyceae Kjellm.						
Fucales Bory						
Sargassaceae Kütz.						
21	<i>Gongolaria barbata</i> (Stackh.) Kuntze	+	+	+	+	+

№	Таксон	1*	2	3	4	5
22	<i>Ericaria crinita</i> (Duby) Molinari et Guiry	+	+	+	+	+
Sphacelariales Mig. Cladostephaceae Oltm.						
23	<i>Cladostephus hirsutus</i> (L.) Boudouresque et M. Perret-Boudouresque ex Heesch et al.	+	+	+	+	+
Sphacelariaceae Decne.						
24	<i>Sphacelaria cirrosa</i> (Roth) C. Agardh	+	+	+	+	+
25	<i>Halopteris scoparia</i> (L.) Sauvageau		+		+	
Tilopteridales Bessey Cutleriaceae J.W. Griffith et A. Henfrey						
26	<i>Zanardinia typus</i> (Nardo) P.C. Silva in Greuter	+	+			
Ectocarpales Bessey Chordariaceae Grev.						
27	<i>Punctaria tenuissima</i> (C. Agardh) Grev.				+	
28	<i>Punctaria latifolia</i> Grev.			+		
29	<i>Stilophora tenella</i> (Esper) P.C. Silva	+	+		+	
30	<i>Corynophlaea umbellata</i> (C. Agardh) Kütz.	+	+	+	+	+
31	<i>Corynophlaea flaccida</i> (C. Agardh) Kütz.				+	+
32	<i>Litosiphon laminariae</i> (Lyngb.) Harvey		+			
33	<i>Striaria attenuata</i> (Grev.) Grev.	+	+			
34	<i>Myriactula rivulariae</i> (Suhr ex Aresch.) Feldmann	+	+			+
35	<i>Eudesme virescens</i> (Carmichael et Berkeley) J. Agardh	+	+			
36	<i>Stictyosiphon adriaticus</i> Kütz.	+				
37	<i>Spermatochnus paradoxus</i> (Roth) Kütz.	+	+			
38	<i>Giraudia sphacelarioides</i> Derbès et Solier		+			
39	<i>Asperococcus bullosus</i> J.V. Lamour.	+	+			
Ectocarpaceae Lyngb.						
40	<i>Ectocarpus siliculosus</i> (Dillw.) Lyngb.	+	+			
Acinetosporaceae G. Hamel et Feldmann						
41	<i>Feldmannia lebelii</i> (Aresch. ex P. Crouan et H. Crouan) Hamel.			+		
42	<i>Feldmannia irregularis</i> (Kütz.) Hamel	+	+		+	+
43	<i>Feldmannia paradoxa</i> (Montagne) Hamel		+			
Dictyotales Bory Dictyotaceae J.V. Lamour. ex Dumortier						
44	<i>Dictyota fasciola</i> (Roth) J.V. Lamour.		+	+	+	+
45	<i>Padina pavonica</i> (L.) Thivy in W.R. Taylor	+	+	+	+	+
Ralfsiales Nakamura et P.-E. Lim et H. Kawai Pseudoralfsiaceae Parente, Fletcher et G.W. Saunders						
46	<i>Pseudoralfsia verrucosa</i> (Areschoug) Parente, Fletcher et G.W. Saunders		+			
Всего Och: 26 видов, 22 рода, 9 семейств, 6 порядков, 1 класс						
RHODOPHYTA Wettst. Florideophyceae Cronquist						
Ceramales Nägeli Rhodomelaceae Horan.						
47	<i>Carradoriella denudata</i> (Dillw.) Savoie et G.W. Saunders		+	+	+	+
48	<i>Carradoriella elongata</i> (Huds.) Savoie et G.W. Saunders	+				
49	<i>Polysiphonia opaca</i> (C. Agardh) Moris et De Notaris			+	+	
50	<i>Polysiphonia breviarticulata</i> (C. Agardh) Zanard.				+	+
51	<i>Polysiphonia subulata</i> (Ducluzeau) Kütz.			+		
52	<i>Vertebrata subulifera</i> (C. Agardh) Kuntze	+	+	+	+	+
53	<i>Vertebrata fucoides</i> (Huds.) Kuntze				+	+
54	<i>Laurencia obtusa</i> (Huds.) J.V. Lamour.	+	+	+	+	+
55	<i>Laurencia coronopus</i> J. Agardh	+	+	+	+	+
56	<i>Palisada perforata</i> (Bory) K.W. Nam	+	+	+		
57	<i>Osmundea pinnatifida</i> (Huds.) Stackhouse				+	
58	<i>Chondria dasyphylla</i> (Woodw.) C. Agardh	+			+	+
59	<i>Chondria capillaris</i> (Huds.) M.J. Wynne		+		+	+
Ceramiaceae Dumort.						
60	<i>Ceramium virgatum</i> Roth	+	+	+	+	+
61	<i>Ceramium diaphanum</i> (Lightf.) Roth		+	+	+	+
62	<i>Ceramium ciliatum</i> (Ell.) Ducl.		+	+	+	+
63	<i>Ceramium deslongchampsii</i> Chauvin ex Duby		+	+		
64	<i>Antithamnion cruciatum</i> (Agardh) Näg.				+	+

№	Таксон	1*	2	3	4	5
65	<i>Pterothamnion plumula</i> (J. Ellis) Näg. <i>Callithamniaceae</i> Kütz.			+		
66	<i>Callithamnion corymbosum</i> (J.E. Smith.) Lyngb.		+	+	+	+
67	<i>Callithamnion granulatum</i> (Ducluzeau) C. Agardh			+		
68	<i>Gaillona seposita</i> (Gunnerus) Athanasiadis <i>Delesseriaceae</i> Bory		+	+		
69	<i>Apoglossum ruscifolium</i> (Turn.) J. Agardh <i>Wrangeliaceae</i> J. Agardh	+			+	+
70	<i>Spermothamnion strictum</i> (C. Agardh) Gelidiales Kylin <i>Gelidiaceae</i> Kütz.	+	+	+	+	+
71	<i>Gelidium crinale</i> (Hare ex Turner)	+	+	+		+
72	<i>Gelidium spinosum</i> (S.G. Gmel.) P.C. Silva Gigartinales F. Schmitz <i>Phylloporaceae</i> Willk.		+	+		+
73	<i>Phyllophora crispa</i> (Huds.) P.S. Dixon Corallinales P.C. Silva et H.W. Johans. <i>Corallinaceae</i> J.V. Lamour.	+	+	+	+	+
74	<i>Corallina officinalis</i> L.		+		+	+
75	<i>Ellisolandia elongata</i> (J. Ellis et Solander) K.R. Hind et G.W. Saunde	+	+	+	+	+
76	<i>Hydrolithon farinosum</i> (J.V. Lamour.) Penrose et Y.M. Chamb.	+	+	+	+	+
77	<i>Pneophyllum confervicola</i> (Kütz.) Y.M. Chamberlain	+	+			
78	<i>Pneophyllum fragile</i> Kütz.	+	+			
79	<i>Jania rubens</i> (L.) J.V. Lamour.	+	+	+		
80	<i>Jania virgata</i> (Zanard.) Montagne Acrochaetiales Feldmann <i>Acrochaetiaceae</i> Fritsch ex W.R. Taylor		+			
81	<i>Acrochaetium secundatum</i> (Lyngb.) Näg. in Näg. et Cramer <i>Rhodochortonaceae</i> (автор не указан)		+	+	+	+
82	<i>Rhodochorton purpureum</i> (Light.) Rosenv. Hapalidiales W.A. Nelson, J.E. Sutherland, T.J. Farr et H.S. Yoon <i>Hapalidiaceae</i> J.E. Gray		+		+	+
83	<i>Melobesia membranacea</i> (Esper) J.V. Lamour. Rhodymeniales Näg. <i>Lomentariaceae</i> Willkomm				+	+
84	<i>Lomentaria clavellosa</i> (Lightfoot ex Turner) Gaillon Peyssonneliales Kraysky, Fredericq et J.N. Norris <i>Peyssonneliaceae</i> Denizot			+	+	+
85	<i>Peyssonnelia dubyi</i> P. Crouan et H. Crouan <i>Palmariales</i> Guiry et D.E.G. Irvine <i>Meiodiscaceae</i> S.L. Clayden et G.W. Saunders		+			
86	<i>Meiodiscus concreescens</i> (K.M. Drew) P.W. Gabrielson Nemaliales F. Schmitz <i>Nemaliaceae</i> De Toni et Levi		+			
87	<i>Nemalion elminthoides</i> (Velley) Batters Halymeniales G.W. Saunders et Hommersand <i>Grateloupiaceae</i> Schmitzn		+	+		
88	<i>Dermocorynus dichotomus</i> (J. Agardh) Gargiulo, Morabito et Manghisi Stylonematophyceae H.S. Yoon, K.M. Müller, R.G. Sheath, F.D. Ott et D. Bhattacharya Stylonematales K.M. Drew <i>Stylonemataceae</i> K.M. Drew			+		
89	<i>Chroodactylon ornatum</i> (C. Agardh) Basson Compsopogonophyceae G.W. Saunders et Hommersand Erythropeltales Garbary, G.I. Hansen et Scagel <i>Erythrotrichiaceae</i> G.M. Smith					+
90	<i>Erythrotrichia carnea</i> (Dillw.) J. Agardh			+	+	+
Всего Rh: 44 вида, 31 род, 18 семейств, 13 порядков, 3 класса						
Итого: 90 видов, 63 рода, 35 семейств, 24 порядка, 5 классов						

Примечание: * 1 – архивные данные Калугиной-Гутник А.А. за 1977 г.; 2 – Мильчакова, 2003; 3 – архивные данные авторов за 2002–2005, 2007, 2009 гг.; 4 – пляж «Яшмовый» и 5 – пляж «Царский» за 2021 г.

Среди видов, обнаруженных летом 2021 г, каждый пятый имеет охранный статус и включен в различные Красные книги и списки [The Black Sea Red Data List, 1997; The Black Sea Red Data Book, 1999; Красная книга РФ, 2008; Червона книга України, 2009; Красная книга Крыма, 2015; Красная книга Севастополя, 2018].

Таксономическая пропорция бентосной флоры в 2021 г. выглядит как 1 порядок : 1 семейство : 2 рода : 3 вида. Видовое соотношение отделов демонстрирует количественное превосходство красных водорослей (1Ch:1Och:3Rh). Коэффициент Фельдманна составляет 2.2, что указывает на принадлежность флоры ПАК к тепловодной, субтропической. Величина индекса Ченея (3.0) позволяет считать среду обитания водорослей в период наших исследований близкой к мезотрофной.

Основу таксономического разнообразия составляет ограниченное число надвидовых таксонов, сведения о которых приведены в табл. 2.

Таблица 2

Флористический спектр ведущих (по числу видов, N) таксонов в 2021 г.

[Floristic spectrum of leading (by number of species, N) taxa in 2021]

Род	N, ед.	Ранг	Семейство	N, ед.	Ранг	Порядок	N, ед.	Ранг
<i>Cladophora</i>	4	I	<i>Rhodomelaceae</i>	10	I	Ceramiales	17	I
<i>Ulva</i>	3	II	<i>Ceramiales</i>	4	II	Cladophorales	6	II
<i>Ceramium</i>	3	II	<i>Cladophoraceae</i>	6	III	Ectocarpales	6	II
			<i>Chordariaceae</i>	5	IV			
Всего видов	10 (19%)*		Всего видов	25 (48%)		Всего видов	29 (56%)	

Примечание: *% от общего числа видов.

В спектре родов преобладают одно- или двувидовые таксоны. Среди семейств и порядков с высоким родовым разнообразием выделяются *Ceramiales*, *Rhodomelaceae*, Ectocarpales, Corallinales, Ceramiales, многие из которых занимают ведущее положение в черноморском МФБ. Среди порядков с большим разнообразием семейств отмечены Sphacelariales и Ceramiales. Отделы в определенной мере отличаются друг от друга своими таксономическими пропорциями и спектрами (табл. 3).

Таблица 3

Таксономические пропорции и спектры в фитоценозе и отделах в 2021 г.

[Taxonomic proportions and spectra in phytocenoses and divisions in 2021]

Пропорции таксонов (п:с:р:в)*	Таксономические спектры		
	отделы (Ch; Och; Rh)		фитоценоз
Фитоценоз	1:1:2:3	в/р	2.5; 1.1; 1.3
Chlorophyta	1:1:1:3	в/с	3.3; 2.2; 2.1
Ochrophyta	1: 1:3:3	в/п	3.3; 3.2; 3.2
Rhodophyta	1:1:2:3	р/с	1.3; 2.0; 1.6
		р/п	1.3; 3.0; 2.4
		с/п	1.0; 1.5; 1.6

Примечание: * п – порядки, с – семейства, р – роды, в – виды.

Пропорция таксонов у Rh и фитоценоза одинаковая, что объясняется высоким участием отдела в формировании МФБ в районе исследований. Летом 2021 г. на них приходится 53–56% от общего числа таксонов каждого ранга. Для таксономических спектров Ch характерна самая высокая среди отделов видовая насыщенность семейств, самое низкое родовое разнообразие семейств и порядков, малое число семейств, приходящихся на один порядок. Спектры Och и Rh во многом совпадают.

Виды, обнаруженные летом 2021 г., обладают разной встречаемостью на горизонтах. Для зеленых водорослей характерны самый низкий размах ее вариации и небольшое среднее значение (17–33% и 22% соответственно), у бурых водорослей уровень этих параметров является наиболее высоким среди отделов (17–100% и 55%). Встречаемость видов Rh вдвое выше, чем у Ch и ниже, чем у Och. Представитель бурых водорослей *Ericaria crinita* (Duby) Molinari et Guiry обитает повсеместно. У *Cladostephus hirsutus* (L.) Boudouresque, *Laurencia obtusa* (Huds.) J.V. Lamour., *Corallina officinalis* L., *Vertebrata subulifera* (C. Agardh) Kuntze встречаемость не достигает 100%, но и она в 1.5–2.5 раза выше, чем у других видов. С учетом экологической шкалы [Калугина-Гутник, 1975], виды с высокой встречаемостью относятся к морским, олигосапробным и большей частью к ведущим и многолетним водорослям.

Макрофитобентос в акватории пляжа «Царский» (западная часть памятника природы) в 2021 г.

На данном участке обнаружено 44 вида макроводорослей из 34 родов, 23 семейств, 16 порядков отделов Ch, Och и Rh (табл. 4). Видовое соотношение отделов выглядит как 1Ch:1Och:4Rh. На долю Rh приходится 56, 61, 62 и 61% общего числа порядков, семейств, родов и видов соответственно. Величина индекса Ченея (3.8) свидетельствует о средней степени органического загрязнения морской среды исследованной части акватории. При этом некоторое время назад пляж считался закрытым и труднодоступным для

отдыхающих из-за крутого спуска и освоения этого участка берега дачными кооперативами [Долотов, Иванов, 2007]. Пропорции таксонов у отделов и фитоценоза совпадают на уровне соотношения «порядок : семейство», у Och, Rh и ценоза – «порядок : семейство : род», у Rh и ценоза пропорции одинаковые. Среди родов только *Ceramium* представлен тремя видами, остальные – одним или двумя. Наиболее высоким разнообразием соподчиненных таксонов отличаются Ceramiales, *Ceramiales* и *Rhodomelaceae*.

Таблица 4

Таксономическая характеристика макрофитобентоса в акватории пляжей «Яшмовый» и «Царский» летом 2021 г.

[Taxonomic characteristics of macrophytobenthos in the water area of beaches «Yashmovyj» and «Carskiji» in the summer of 2021]

Отдел / ценоз	Количество таксонов				Пропорция таксонов (п:с:р:в)	Таксономические спектры			
	п	с	р	в		в/р	в/с	в/п	с/п
Ценоз	14/16*	21/23	35/34	48/44	1:1.5:2.5:3/1:1:2:3	1.4/1.3	2.3/1.9	3.4/2.7	1.5/1.4
Ch	3/3	3/3	4/4	10/7	1:1:1:3/1:1:1:2	2.5/1.7	3.3/2.3	3.3/2.3	1.0/1.0
Och	4/4	6/6	11/9	12/10	1:1.5:3:3/1:1.5:2:2/5	1.1/1.0	2.0/1.7	3.0/2.2	1.5/1.5
Rh	7/9	12/14	20/21	26/27	1:2:3:4/1:2:2:3	1.3/1.3	2.2/1.9	3.7/3.0	1.7/1.6

Примечание: * перед чертой данные для пляжа «Яшмовый», после – для пляжа «Царский».

Распределение видов по глубинам отличается неравномерностью. Представители Ch встречаются в диапазоне глубин от 0.5 до 5 м, нижняя граница распространения Och и Rh проходит на горизонте 15 м (рис. 2).

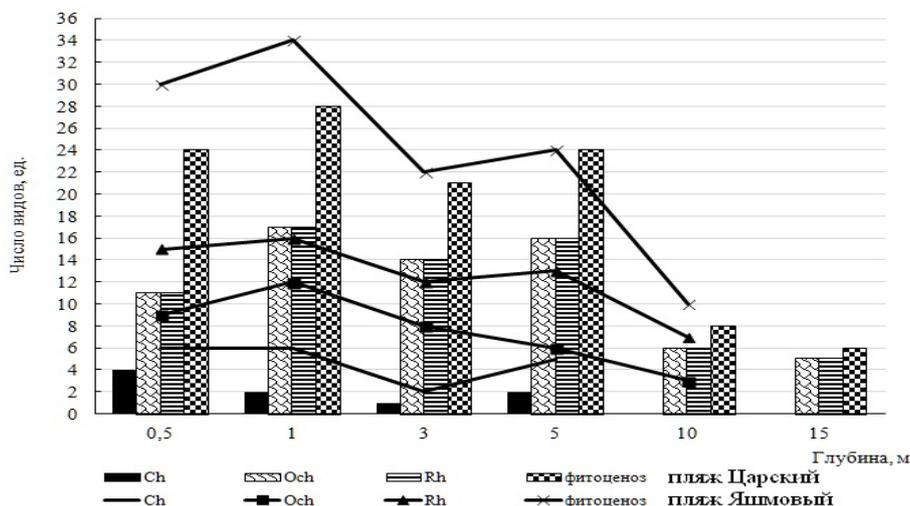


Рис. 2. Изменение числа видов в отделах и ценозе по глубинам в акватории пляжей «Яшмовый» и «Царский» в 2021 г.

[Changes in the number of species in divisions and cenosis by depth in the waters of beaches «Yashmovyj» and «Carskiji» in 2021]

В зависимости от встречаемости на станциях разреза виды делятся на группы постоянных, добавочных и случайных (рис. 3).

По числу видов в ценозе преобладает добавочная группа (57%), а две другие представлены примерно равной долей. Среди Ch отсутствуют постоянные виды с встречаемостью более 50% и господствуют случайные (71% от общего числа видов Ch в 2021 г.). Среди Och один вид случайный, остальные – постоянные и добавочные. У Rh к добавочной группе относятся 67% видов. *Ericaria crinita* обладает 100%-ной встречаемостью. Средняя встречаемость видов Och (55%) в 1.3 раза выше, чем Rh и в 2.5 раза, чем Ch.

О роли вида в сообществе можно судить по величине индекса фитоценологической активности. Расчеты показывают, что в районе пляжа «Царский» доминируют среднеактивные виды и достаточно много высокоактивных (табл. 5). Вклад особаоактивных видов в два-три раза меньше такового у остальных категорий. Неактивные виды отсутствуют. Высокая общая доля видов со средней и малой активностью (почти 60%) говорит о батиметрической динамичности фитоценоза исследованной части акватории.

Максимум видового разнообразия Ch приходится на 0.5 м, что связано с характером спектрального состава света на малых глубинах. С увеличением глубины до 3 м число видов отдела уменьшается. Второй пик, но уже не максимальный, наблюдается на 5 м. Изменения абсолютного числа видов Rh и в фитоценозе происходят синхронно с максимумом на 1 м и минимумом на 15 м. Для Och характерна обрат-

ная зависимость между глубиной и абсолютным числом видов. Батиметрические изменения этого же показателя у Rh имеют волнообразный характер. Среднее число видов Rh (11.5 ± 4.1) в 5 раз больше, чем у Ch, и вдвое, чем у Och. Для батиметрических изменений относительного числа видов Ch присущ четко выраженный максимум на 0.5 м. У Och между относительным числом видов и глубиной связь обратно пропорциональная, у Rh и ценоза – прямая. Характер таких зависимостей наглядно демонстрирует приспособленность представителей трех отделов к спектральному составу света на разных глубинах. Среднее относительное число видов Ch (9.2 ± 4.1) в несколько раз меньше, чем у Och (27.5 ± 5.7) и Rh (66.4 ± 10.2). Изменчивость абсолютного и относительного числа видов Ch по типу одинаково «значительная», у других отделов она ниже и находится в пределах «нормы».

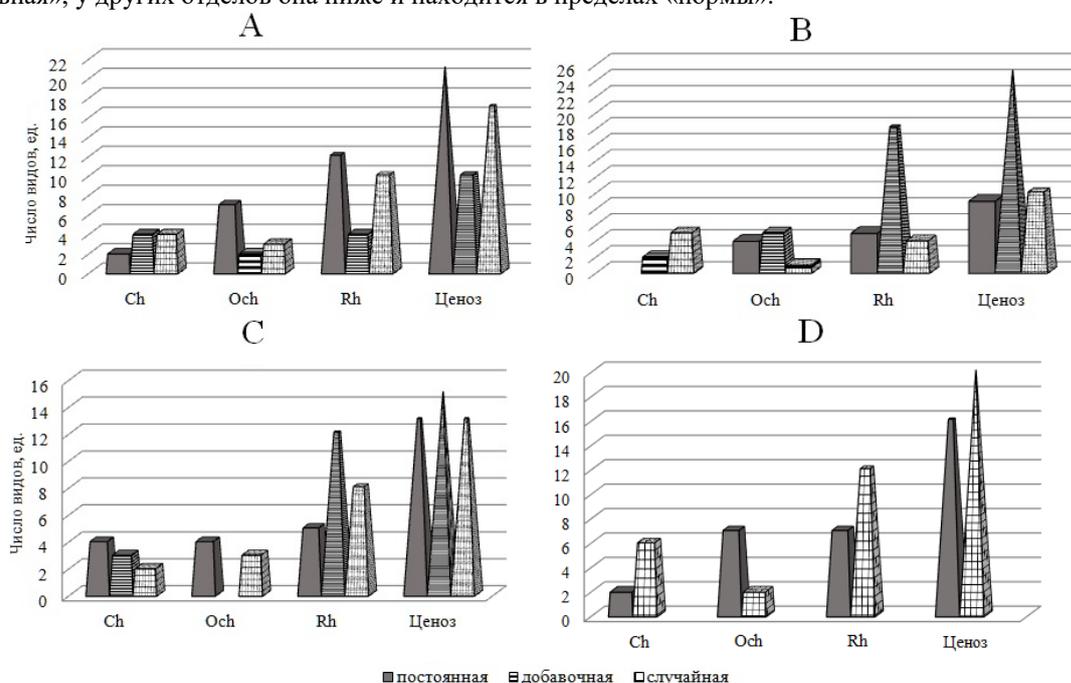


Рис. 3. Распределение видов по группам постоянства на разных участках охраняемой акватории летом 2021 г. и в разные периоды лет: А – пляж «Яшмовый», В – пляж «Царский»; С – смежные, D – несмежные годы

[Distribution of species by persistence groups on different sections of the protected water area in the summer of 2021 and in different periods of years: A – «Yashmovy» beach, B – «Carskij» beach, C – adjacent, D – non-adjacent years]

Таблица 5

Распределение видов по группам фитоценотической активности (2021 г.)
[Distribution of species by phytocenotic activity groups in 2021]

Группа	Пляжи		Годы	
	«Яшмовый»	«Царский»	Смежные	Несмежные
Особоактивная	14 (29%)	5 (11%)	8 (19%)	6 (17%)
Высокоактивная	7 (16%)	13 (30%)	5 (12%)	10 (28%)
Среднеактивная	10 (20%)	16 (36%)	13 (32%)	20 (55%)
Малоактивная	17 (35%)	10 (23%)	15 (37%)	–

С глубиной меняются не только количественные, но и качественные параметры фитоценоза. Матрица значений коэффициента Жаккара говорит о батиметрической гетерогенности видового состава всего сообщества и входящих в него отделов (рис. 4).

Самый низкий уровень сходства видового состава характерен для Ch. Отметим, что в районе исследованных отделов отличается небольшим видовым разнообразием и ограниченной зоной обитания. У других отделов сходство видов выше, но и оно касается примерно только их трети. В большинстве случаев гетерогенность видового состава снижается с ростом глубины. Исключение составляют фитоценоз, Och и Rh на 0.5 и 1 м, 10 и 15 м. Полная аналогия видового состава Och зафиксирована на 0.5 и 1 м.

Вывод о неоднородности видового состава МФБ на разных глубинах подтвержден результатами расчета индексов J_1 и J_2 , первый из которых не достигает 1, а второй – 2. Распределение видов по классам встречаемости демонстрирует частичное нарушение закона встречаемости Раункиера (класс $A > B > C >$

= < D < E), учитывая численное соотношение классов А и В (А < В). Такой тип соотношения видов пяти классов встречаемости характерен сообществу, в котором постоянные виды малочисленны (рис. 5).

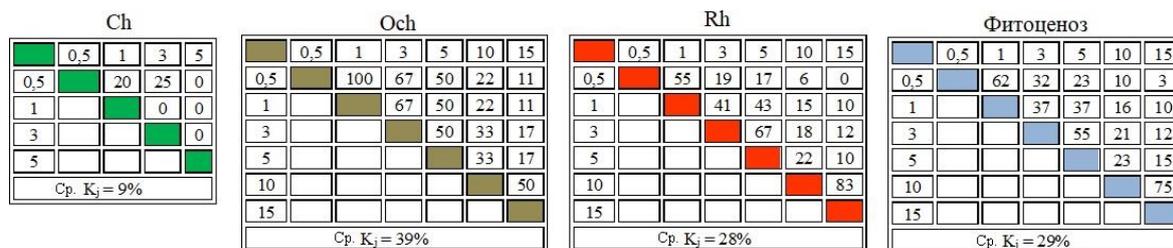


Рис. 4. Матрица значений коэффициента Жаккара (%) для фитоценоза и отделов на разных глубинах (2021 г.)

[Matrix of Jaccard's coefficient values (%) for phytocenosis and divisions at different depths (in 2021)]

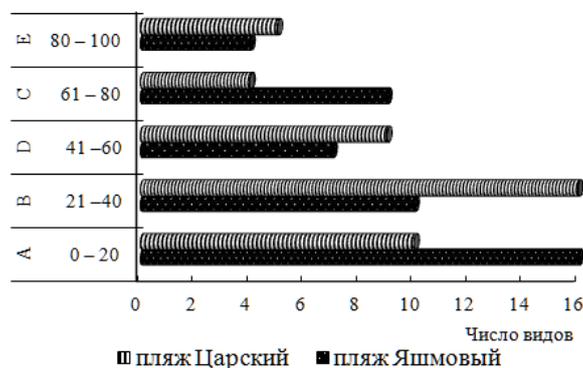


Рис. 5. Число видов различных классов встречаемости в макрофитобентосе пляжей «Яшмовый» и «Царский» в 2021 г.

[Number of species of different occurrence classes in the macrophytobenthos of beaches «Yashmovyj» and «Carskij» in 2021]

Макрофитобентос в акватории пляжа «Яшмовый» (восточная часть памятника природы) в 2021 г. МФБ в акватории пляжа представлен 48 видами, что составляет 92% от общего числа видов, идентифицированных летом 2021 г. Они относятся к 35 родам, 21 семейству и 14 порядкам Ch, Och и Rh. Таксономические пропорции у Ch, Rh и ценоза совпадают на уровне соотношения «порядок : семейство» (1:1), в остальном они отличаются друг от друга (табл. 4). Видовое соотношение отделов выглядит как 1Ch:1Och:3Rh. Среди родов только девять включают от 2 до 4 видов с максимумом у *Cladophora*, тогда как у *Ceramium* и *Ulva* на один вид меньше. Роды, представленные одним видом, составляют 74% от их общего разнообразия в акватории пляжа и объединяют в своем составе 54% обнаруженных здесь видов. К семействам и порядкам с высоким видовым богатством относятся *Cladophoraceae*, *Ceramiales*, *Rhodomeleaceae*, *Cladophorales*, *Ectocarpales* и *Ceramiales*. Rh доминирует по всем параметрам таксономического состава. На долю его видов, родов, семейств и порядков приходится 50–57% от общего числа таксонов этих рангов. Преобладание родов, представленных одним видом, большое число одно- или двух-видовых порядков (57%) и семейств (76%), свидетельствуют о высоком таксономическом разнообразии флоры в акватории пляжа «Яшмовый» в 2021 г. Коэффициент Фельдманна составляет 2,2, что определяет флору в данной части акватории ПАК как среднюю между бореальной и субтропической. Индекс Ченя (3,0) показывает соответствие качества среды нижнему пределу средней степени ее загрязнения.

В акватории пляжа бурые и красные водоросли встречаются в диапазоне глубин от 0,5 до 10 м, зеленые – от 0,5 до 5 м. Отсутствие донной растительности на глубине более 10 м, где распространено урочище слабонаклонной равнины из песчаных отложений, было отмечено ранее [Панкеева, Миронова, Пархоменко, 2022]. Константное ядро флоры состоит из *Gongolaria barbata* (Stackh.) Kuntze, *Ericaria crinita*, *Cladostephus hirsutus*, *Vertebrata subulifera*. Встречаемость каждого пятого вида достигает 80%, треть видов обитает только на одном из горизонтов. Средняя встречаемость видов Ch (38%) меньше, чем у Rh (48%) и особенно у Och (60%). Все виды, в зависимости от встречаемости на станциях разреза, делятся на постоянные (44% общего состава), добавочные (21%) и случайные (35%). В отделах они представлены по-иному: среди Ch больше всего добавочных и случайных видов (по 40%), среди Och преобладают постоянные виды (58%), среди Rh – они же (46%) и случайные (38%). Коэффициент Жаккара на

разных глубинах наиболее высок у Och (50%), у других отделов и фитоценоза он ниже в 1.5 раза. Значения индексов J_1 (1.0) и J_2 (2.1) свидетельствуют о том, что пространственная неоднородность видового состава на восточной границе памятника менее выражена, чем на западной, а распределение видов по классам встречаемости соответствует закону Раункиера, что объясняется высоким суммарным вкладом видов классов С и Е (13 видов). Вывод о степени батиметрической неоднородности сообщества в акватории пляжа «Яшмовый» подтверждается и данными о количественном соотношении групп видов с разной фитоценотической активностью. В составе бентоса пляжа наибольшее развитие получают мало- и особо-активные виды. Общий вклад видов с высокой встречаемостью составляет 45%. Такое соотношение видов с разной активностью в фитоценозе указывает на некую сбалансированность видового состава ценоза в исследованном диапазоне глубин.

Наибольшее число видов обнаружено на первых двух горизонтах, после которых показатель у Och и Rh уменьшается. Rh по абсолютному числу видов лидирует повсеместно: на него приходится от 47 (на 1 м) до 70% (на 10 м) видового состава на каждом горизонте. Минимум видового разнообразия Ch зафиксирован на 3 м, у фитоценоза и других отделов – на 10 м. Сходной тенденцией для отделов является снижение абсолютного числа видов с глубиной (см. рис. 2).

Батиметрические изменения относительного числа видов у Ch и Och не проявляют выраженного тренда. Можно лишь выделить горизонт, где уровень этого показателя минимальный (3 м у Ch и 5 м у Och), в остальной же части фитали он одинаково выше. У Rh минимум относительного числа видов приходится на малые глубины, максимум – на самую глубоководную для разреза станцию (10 м). Изменения абсолютного и относительного числа видов соответствуют «норме» ($C_v = 15-32\%$).

Сравнительный анализ МФБ на западном и восточном участках памятника природы летом 2021 г. Сравнение таксономического состава МФБ на двух участках ПАК показало отсутствие принципиальных различий. В незначительной степени они проявляются на уровне количества видов у Ch и фитоценоза, родов и видов у Och, порядков и семейств у Rh (см. табл. 4). Видовая представленность Ch, Och и фитоценоза в акватории пляжа «Яшмовый» хотя и выше, чем в районе пляжа «Царский», но только на 2–4 таксона. Одинаковым является видовое соотношение отделов Ch и Och. Однако, с учетом пропорции трех отделов, вклад красных водорослей все же весомее на западном участке. На обоих участках примерно одинаковые таксономические спектры ценоза и таких базовых отделов, как Och и Rh. Разнообразие ведущих таксонов и константного ядра флоры выше в акватории пляжа «Яшмовый».

Встречаемость видов на двух участках, в отличие от этого же показателя на каждом из них, но по глубинам, достигает 69–83% с максимумом у Rh. Виды с максимальной встречаемостью составляют 77% от их общего количества на двух участках. Такие высокие показатели свидетельствуют о качественной однородности фитоценоза в целом на двух участках ПАК. С учетом встречаемости видов на горизонтах в пределах каждого из участков, распределение по группам постоянства не совпадает (см. рис. 3). Так, в составе МФБ и среди Rh в районе пляжа «Царский» больше добавочных видов, а в акватории пляжа «Яшмовый» – постоянных. Среди Ch пляжа «Яшмовый» доминируют добавочные и случайные виды, пляжа «Царский» – только случайные.

Учитывая батиметрические изменения общего числа видов в фитоценозе, видим, что Rh и Och характеризуются одинаковой тенденцией его снижения с увеличением глубины. Пространственная локация крайних значений данного показателя на двух участках, как правило, совпадает, что подчеркивает важность среди других факторов спектрального состава света на разных глубинах для успешного функционирования водорослей. Низкие значения коэффициента Жаккара указывают на батиметрическую обособленность флористического состава МФБ на каждом из участков. Тем не менее, МФБ пляжа «Яшмовый» на разных глубинах, хотя и гетерогенен, но в меньшей степени, что подтверждается значениями индексов J_1 (1.0) и J_2 (2.1), величиной вклада постоянных видов, характером соотношения групп разной фитоценотической активности и соответствием распределения видов между классами встречаемости закону Раункиера. Кроме того, установлено, что батиметрические изменения видового состава в этой части ПАК протекают без превышения «нормы» ($C_v = 28-44\%$). Неоднородность видового состава на западном участке сопровождается более интенсивной изменчивостью по глубинам (тип «значительный», $C_v = 50-62\%$).

Разногодичные изменения макрофитобентоса памятника природы. Установлено, что в смежные годы максимум видового разнообразия МФБ, Ch и Rh зарегистрирован в 2009 г., у Och – в 2007 г. (табл. 6). Среднее число видов Rh вдвое выше, чем у других отделов. Они лидируют в любой из периодов наблюдений, тогда как Och и Ch попеременно сменяют друг друга на второй и третьей позициях.

Большую часть времени количественное соотношение Ch и Och, выраженное как 1:1, остается постоянным. По шкале Г.Н. Зайцева, вариации видового состава этих отделов в смежные годы находятся в пределах биологической «нормы», а повышенный уровень изменчивости общего числа видов в сообществе связан со «значительным» типом изменений показателя у такого базового отдела, как Rh. Матрица значений коэффициента Жаккара иллюстрирует высокую степень гетерогенности видового состава в

смежные годы, что особенно характерно Rh (рис. 6). Фитоценоз в этот период отличается большим вкладом средне- и малоактивных видов и вдвое-втрое низкой долей особо- и высокоактивных видов.

Таблица 6

Разногодичная изменчивость видового состава отделов и фитоценоза в смежные и несмежные годы
[Variability in species composition of divisions and phytocenosis in adjacent and non-adjacent years]

Таксон/ценоз	Смежные годы					Параметры изменчивости			Несмежные годы			Параметры изменчивости		
	2002	2003	2005	2007	2009	$\bar{x} \pm \sigma$	C_v	тип	1977	2007	2021	$\bar{x} \pm \sigma$	C_v	тип
Ценоз	13*	10	20	16	31	18.0±7.1	45	зн**	15	16	29	20.0±8.8	39	зн
Chlorophyta	4	2	4	4	7	4.2±1.6	43	вн	2	4	6	4.0±2.3	50	зн
Ochrophyta	2	3	7	5	5	4.4±1.7	44	вн	6	5	8	6.3±1.7	24	нн
Rhodophyta	7	5	9	7	19	9.4±4.9	59	зн	7	7	15	9.7±5.2	48	зн

Примечание: * количество видов, ** нн – нижняя норма, вн – верхняя норма, зн – значительный тип.

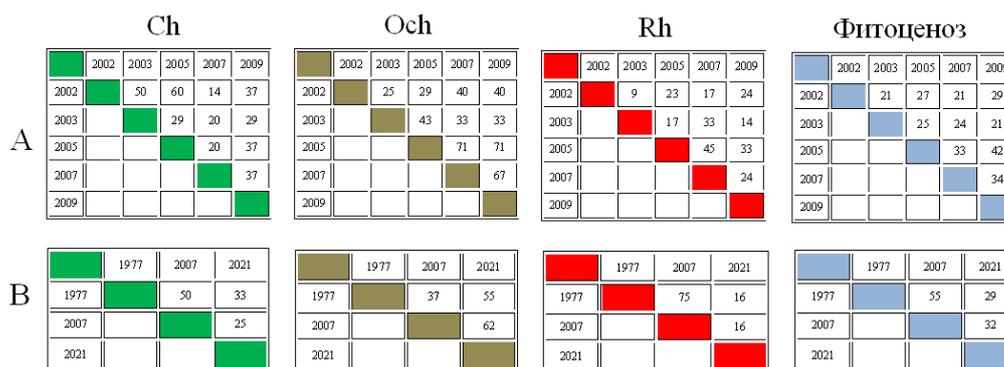


Рис. 6. Матрица значений коэффициента Жаккара (%) для фитоценоза и отделов в смежные (А) и несмежные (В) годы

[Matrix of Jaccard's coefficient values (%) for phytocenosis and divisions in adjacent (A) and non-adjacent (B) years]

Сравнительно большую устойчивость во времени сохраняет видовой комплекс Och, особенно в такие пары лет, как 2005 и 2007, 2007 и 2009, 2005 и 2009. Большинство видов Och проявляют высокую требовательность к условиям среды, с чем связана мера их приспособленности к определенной амплитуде этих условий. В соответствии с этим возникает набор видов, стойко сохраняющийся из года в год. Размах значений коэффициента Жаккара изменяется в следующем направлении: Ch = Och → Rh → фитоценоз.

В период с 2002 по 2009 гг. сообщество представлено постоянными, добавочными и случайными видами, вклад которых в общий состав примерно одинаковый. У Ch в почти равной мере господствуют постоянные и добавочные виды. Среди Och отсутствуют добавочные виды, лидирующие у Rh (см. рис. 3).

В несмежные годы, в начале и конце тридцатилетнего периода наблюдений (от 1977 до 2007 г.) число видов в сообществе, а также у Och и Rh находятся на одном уровне, тогда как у Ch наблюдается двукратное увеличение показателя. Большинство видов Ch успешно развивается в водной среде с повышенным содержанием органических веществ, и такое нарастание разнообразия представителей Ch является индикатором ухудшения экологической обстановки. За более чем сорокалетний период (с 1977 по 2021 г.) видовой разнообразие Ch возрастает втрое, Rh и ценоза – вдвое, Och – в 1.3 раза. В периоды, разделенные десятилетиями, малоактивные виды отсутствуют, а чуть более половины видов отличаются средней активностью. Вместе с тем общая доля групп видов, наиболее часто встречающихся в исследованные периоды, составляет 45%. Таким образом, соотношение групп с разной активностью в сообществе в смежные и несмежные годы не совпадает. Вдвое больший вклад средне- и высокоактивной групп, отсутствие малоактивных видов указывает на межгодовую динамичность видового состава в пределах одного десятилетия и более выраженную устойчивость его в периоды, разделенные несколькими декадами лет. В несмежные годы в сообществе отсутствуют добавочные виды, первую позицию занимают случайные, вторую – постоянные. Разнообразие группы видов с максимально высокой встречаемостью втрое больше, чем в смежные годы. Случайные виды преобладают среди Ch и Rh, постоянные – среди Och. Rh доминируют в любой отрезок времени, и среднее число их видов в 1.5 и 2.5 раза больше, чем у Och и Ch.

Среднее значение коэффициента Жаккара для разных десятилетий равно примерно 39%, что выше, чем у видового состава в рамках одной декады лет (рис. 6). Среди отделов Och проявляет наибольшую устойчивость во времени. В начале и конце 30-летнего периода фитоценоз характеризовался достаточно высоким сходством видового состава и, прежде всего, за счет Ch и Rh. В 2021 г., по сравнению с 1977 г.,

отличие ценоза и указанных отделов увеличивается, а у Och снижается в 1.5 раза. Такая тенденция сохраняется и при сопоставлении видового состава в последнюю декаду наблюдений.

Известно, что изменения состава и структуры фитоценозов связаны с колебаниями условий внешней среды в отдельные годы и периоды лет [Василевич, 1983]. Наши исследования показывают, что наиболее сильно флюктуации выражены в смежные годы, поскольку изменения условий среды обычно не происходят год за годом и в одном и том же направлении. Вместе с тем, возникшие изменения в структуре ценоза длятся недолго, и после прекращения действия вызвавшей их причины происходит возврат сообщества к исходному или к близкому к нему состоянию [Работнов, 1983]. Поэтому гетерогенность ценоза в разные периоды лет не так выражена, как в пределах одного десятилетия.

Общая таксономическая характеристика макрофитобентоса акватории «ПАК у мыса Фиолент» летом 1977–2021 гг. На основе собственных, литературных и архивных данных о видовом разнообразии за период с 1977 по 2021 гг. составлен общий список видов бентосных макроводорослей памятника природы (см. табл. 1). С учетом современных таксономических ревизий он включает 90 видов, представляющих 63 рода, 35 семейств, 24 порядка, 5 классов отделов Ch, Och и Rh. В составе МФБ памятника присутствуют 13 видов с природоохранным статусом. На долю Ch, Och и Rh приходится 22, 29 и 49% общего видового состава. Подавляющее большинство родов, семейств, а у Rh еще и порядков представлено одним видом (табл. 7).

Таблица 7

Общая таксономическая характеристика макрофитобентоса «ПАК у мыса Фиолент» в летний период 1977–2021 гг.

[General taxonomic characteristics of macrophytobenthos at "NAC at Cape Fiolent" in the summer period 1977-2021]

Отдел/ценоз	Число таксонов				Пропорция таксонов	Ведущие роды	Доля одновидовых р, с, п (%)
	п	с	р	в	п:с:р:в		
Chlorophyta	5	8	10	20	1:2:2:4	<i>Ulva, Ulvella, Cladophora</i>	50, 62, 60
Ochrophyta	6	9	22	26	1:15:4:4	<i>Feldmannia</i>	86, 44, 33
Rhodophyta	13	18	31	44	1:1:2:3	<i>Ceramium, Polysiphonia</i>	68, 61, 69
Ценоз	24	35	63	90	1:15:3:4	выше перечисленные	71, 57, 58

Примечание: в – вид, р – род, с – семейство, п – порядок.

Больше всего одновидовых родов среди Och, порядков – среди Rh, доля семейств такого же типа у Ch и Rh одинаково выше, чем у Och. Полученные данные свидетельствуют о пестроте таксономического состава МФБ охраняемого объекта. Подтверждением этому являются и результаты сравнения списков видов, полученных в разные периоды лет. Установлено, что только треть видов встречались часто, причем из них 15 видов (17%) входили во все списки, а 10 (11%) – в четыре из пяти имеющихся. По всем параметрам таксономического состава лидируют Rh, вторую позицию занимают Och. Таксономические пропорции Ch и Rh близки к совпадению, а их родовой коэффициент (в/р) выше, чем у Och. У фитоценоза и отделов, кроме Ch, количественное соотношение порядков и семейств почти одинаковое.

Заключение

На основе собственных, литературных и архивных данных о видовом разнообразии за период с 1977 по 2021 гг. составлен общий аннотированный список видов макроводорослей гидрологического памятника природы. С учетом современных таксономических ревизий он включает 90 видов, представляющих 63 рода, 35 семейств, 24 порядка, 5 классов отделов Chlorophyta, Ochrophyta и Rhodophyta. В состав макрофитобентоса памятника природы входят 13 видов с охраняемым статусом.

Дана оценка современного состояния макрофитобентоса охраняемой акватории. Показано, что в состав фитоценоза на восточной и западной границах ПАК летом 2021 г. входили 52 вида (58% от их общего числа за весь период наблюдений). Основу таксономического разнообразия фитоценозов в настоящее время и ранее составляют одно- или двувидовые роды, флористические спектры сформированы ограниченным числом надвидовых таксонов. Пропорции в отделах и ценозе таксономически специфичны.

Результаты фитоиндикации позволяют считать флору памятника тепловодной, субтропической, а среду ее обитания близкой по качеству к мезотрофной.

Сравнение таксономического состава и спектров, видового соотношения отделов на восточной и западной границе ПАК не выявило принципиально значимых различий и свидетельствует о качественной однородности фитоценозов двух участков на современном этапе. Тем не менее, разнообразие ведущих таксонов и константного ядра флоры, хотя и в незначительной степени, выше в восточной части акватории ПАК.

Низкие значения коэффициента Жаккара указывают на батиметрическую обособленность флористического состава на каждом участке. Значения индексов гомотонности фитоценоза свидетельствуют о

том, что пространственная неоднородность видового состава на восточной границе памятника менее выражена, чем на западной, а распределение видов по классам встречаемости соответствует закону Раункиера. Закономерность изменения числа видов, в соответствии с которой с ростом глубины показатель снижается, наиболее выражена у сообщества в акватории пляжа «Яшмовый».

Определены степень и направленность разногодичной изменчивости состава ценоза. Показано, что его неоднородность в разные декады лет не столь выражена, как в пределах одного десятилетия.

Список источников

1. Василевич В.И. Очерки теоретической фитоценологии. Л.: Наука, 1983. 248 с.
2. Грейг-Смит П. Количественная экология растений. М.: Мир, 1967. 359 с.
3. Грузинов В.М. и др. Источники загрязнения прибрежных вод Севастопольского района // *Океанология*. 2019. Т. 59, № 4. С. 579–590. <https://doi.org/10.31857/S0030-1574594579-590>
4. Даждо Р. Основы экологии. М.: Прогресс, 1975. 245 с.
5. Долотов В.В., Иванов В.А. Повышение рекреационного потенциала Украины: кадастровая оценка пляжей Крыма. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2007. 193 с.
6. Дьяков Н.Н. и др. Гидролого-гидрохимические характеристики прибрежных вод Крыма и необходимые мероприятия по снижению уровня загрязнения рекреационных зон // *Труды ГОИН*. 2020. № 221. С. 163–194.
7. Жукова А.А., Минец М.Л. Биометрия. Описательная статистика: учеб. пособие. Минск, 2019. 100 с.
8. Зайцев Г.Н. Математика в экспериментальной ботанике. М.: Наука, 1990. 296 с.
9. Зинова А.Д. Определитель зеленых, бурых и красных водорослей южных морей СССР. М.; Л.: Наука, 1967. 397 с.
10. Игнатов Е.И., Орлова М.С., Санин А.Ю. Береговые морфосистемы Крыма. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2014. 267 с.
11. Калугина А.А. Исследование донной растительности Черного моря с применением легководолазной техники // *Морские подводные исследования*. М.: Наука, 1969. С. 105–113.
12. Калугина-Гутник А.А. Фитобентос Черного моря. Киев: Наук. думка, 1975. 248 с.
13. Красная книга города Севастополя. Главное управление природных ресурсов и экологии города Севастополя. Калининград; Севастополь: РОСТ-ДООАФК, 2018. 432 с.
14. Красная книга Республики Крым. Растения, водоросли и грибы / под. ред. А.В. Ена, Д.А. Фатерыга. Симферополь: Ариал, 2015. 480 с.
15. Красная книга Российской Федерации (растения и грибы). М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. 885 с.
16. Мильчакова Н.А. Макрофитобентос // *Современное состояние биоразнообразия прибрежных вод Крыма (черноморский сектор)*. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003. С. 152–208.
17. Миркин Б.М., Розенберг Г.С., Наумова Л.Г. Словарь понятий и терминов современной фитоценологии. М.: Наука, 1989. 223 с.
18. Особо охраняемые природные территории Севастополя. Симферополь: Ариал, 2020. 140 с.
19. Панкеева Т.В., Миронова Н.В. Ландшафтная структура береговой зоны памятника природы «Прибрежный аквальный комплекс у мыса Сарыч» // *Труды Карадагской научной станции им. Т.И. Вяземского – природного заповедника РАН*. 2022. Т. 7, № 1 (21). С. 51–60.
20. Позаченюк Е.А. и др. Состояние особо охраняемых природных территорий города федерального значения Севастополя // *Геополитика и экогеодинамика регионов*. 2020. Т. 6 (16), вып. 2. С. 161–171.
21. Работнов Т.А. Фитоценология. М.: Изд-во МГУ, 1983. 384 с.
22. Савинов А.Б., Никитин Ю.Д. Развитие представлений об активности растений, ее экологической роли и способах оценки в экосистемах // *Принципы экологии*. 2017. № 3. С. 20–39.
23. Червона книга України. Рослинний світ. Київ: Глобалконсалтинг, 2009. 912 с.
24. Birben Ü. The effectiveness of Protected Areas in Biodiversity Conservation: The Case of Turkey. // *CERNE*. 2019. Vol. 25, № 4. P. 424–438.
25. Black Sea Red Data List. 1997. URL: <http://www.grid.unep.ch/bsein/redbook/index.htm>.
26. Black Sea Red Data Book / ed. H.J. Dumont. New York: United Nations Office for Project Services, 1999. 413 p.
27. Buonocore E. et al. Trends and Evolution in the Concept of Marine Ecosystem Services: An Overview // *Water*. 2021. 13(15). 2060 p. <https://doi.org/10.3390/w13152060>
28. Coad L. et al. Widespread shortfalls in protected area resourcing undermine efforts to conserve biodiversity // *Frontiers in Ecology and the Environment*. 2019. Vol. 17(5), iss. 5. P. 259–264. <https://doi.org/10.1002/fee.2042>
29. Cheney D.T. R + C/P anew and improved ratio for comparing seaweed floros // *Journal Phycology*. 1977. Vol. 13, № 2 (Suppl.). 12 p.

30. Feldmann J. Recherches sur la végétation marine de la Méditerranée. La côte d'Albères // *Revue Algology*. 1937. Vol. 10. P. 1–339.
31. Fernández C.G. et al. Limited differences in fish and benthic communities and possible cascading effects inside and outside a protected marine area in Sagres (SW Portugal) // *Journal Marine Environmental Research*. 2016. Vol. 114. P. 12–23. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2015.12.003>
32. Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. URL: <http://www.algaebase.org>. [дата обращения: 20.02 2023].
33. Luyyaert T. et al. Status of Marine Biodiversity in the Anthropocene // S. Jungblut, V. Liebich, M. Bode-Dalby (Eds.). *YOUMARES 9 - The Oceans: Our Research, Our Future: Proceedings of the 2018 conference for Young Marine Researcher in Oldenburg, Germany*, Springer Nature Switzerland AG, 2020. P. 57–82. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-20389-4>
34. Öztürk B. et al. Prospects for Marine Protected Areas in the Turkish Black Sea // *Management of Marine Protected Areas*. 2017. P. 247–262. DOI: 10.1002/9781119075806.ch13
35. Strong J.A. et al. Marine biodiversity and ecosystem function relationships: The potential for practical monitoring applications // *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2015. Vol. 161. P. 46–64.

References

1. Vasilevich V.I. *Očerki teoretičeskoj fitocenologii* [Essays on Theoretical Phytocenology]. Leningrad, Nauka Publ., 1983. 248 p. (In Russ.).
2. Greig-Smith P. *Količestvennaja ekologija rastenij* [Quantitative Ecology of Plants]. Moscow, Mir Publ., 1967. 359 p. (In Russ.).
3. Gruzinov V.M., D'yakov N.N., Mezenceva I.V., Mal'chenko Yu.A., Zhohova N.V., Korshenko A.N. [Sources of pollution of coastal waters of Sevastopol district]. *Okeanologija*. V. 59, No 4 (2019): pp. 579-590. doi.org/10.31857/S0030-1574594579-590. (In Russ.).
4. Dajoz R. *Osnovy ekologii* [Fundamentals of Ecology]. Moscow, Progress Publ., 1975. 245 p. (In Russ.).
5. Dolotov V.V., Ivanov V.A. *Povyšenie rekreacionnogo potenciala Ukraïny: kadaastrovaja ocenka pljažej Kryma* [Increase of Ukraine recreational potential: cadastral evaluation of Crimea beaches]. Sevastopol, Ekosigidrofizika Publ., 2007. 193 p. (in Russ.).
6. D'yakov N.N., Malchenko Y.A., Lipchenko A.E., Bobrova S.A., Timoshenko T.Y. [Hydrological and hydrochemical characteristics of the coastal waters of the Crimea and the necessary measures to reduce the level of pollution of recreational areas]. *Trudy GOIN*. No. 221 (2020): pp. 163-194. (In Russ.).
7. Zhukova A.A., Minec M.L. *Biometrija. Opisatel'naja statistika* [Biometrics. Descriptive statistics: a training manual]. Minsk, BGU Publ., 2019. 100 p. (In Russ.).
8. Zaitsev G.N. *Matematika v èksperimental'noj botanike* [Mathematics in experimental botany]. Moscow, Nauka Publ., 1990. 296 p. (In Russ.).
9. Zinova A.D. *Opređelitel' zelenych, burych i krasnych vodoroslej južnych morej SSSR* [Guide for identification of green, brown and red algae of the southern seas of the USSR]. Moscow, Leningrad, Nauka Publ., 1967. 397 p. (In Russ.).
10. Ignatov E.I., Orlova M.S., Sanin A.Yu. *Beregovye morfosistemy Kryma* [Coastal morphosystems of the Crimea]. Sevastopol, Ekosigidrofizika Publ., 2014. 267 p. (In Russ.).
11. Kalugina A.A. [Study on bottom vegetation of the Black Sea by means of light diving equipment]. *Morskije podvodnye issledovanija* [Marine Underwater Research]. Moscow, Nauka Publ., 1969, pp. 105-113. (In Russ.).
12. Kalugina-Gutnik A.A. *Fitobentos Černogo morja* [Phytobenthos of the Black Sea]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1975. 248 p. (In Russ.).
13. *Krasnaja kniga goroda Sevastopolja* [The Red Book of the city of Sevastopol]. Kaliningrad, Sevastopol, ROST-DOAFK Publ., 2018. 432 p. (In Russ.).
14. Ena A.V., Fateryga D.A., eds. *Krasnaja kniga Respubliki Krym. Rastenija, vodorosli i griby* [The Red Data Book of the Republic of Crimea. Plants, algae and mushrooms]. Simferopol, ARIAL Publ., 2015. 480 p. (In Russ.).
15. Trutnev Yu.P., Kamelin R.V. et al., eds. *Krasnaja kniga Rossijskoj Federacii (rastenija i griby)* [The Red Data Book of the Russian Federation (plants and mushrooms)]. Moscow, KMK Publ., 2008. 885 p. (In Russ.).
16. Milchakova N.A. [Macrophytobenthos]. *Sovremennoe sostojanie bioraznoobrazija pribrežnyh vod Kryma* [Modern condition of biological diversity in near-shore zone of Crimea (the Black sea sector)]. Sevastopol, EKOSI-Gidrophizika Publ., 2003, pp. 152-208. (In Russ.).
17. Mirkin B.M., Rozenberg G.S., Naumova L.G. *Slovar' ponjatij i terminov sovremennoj fitocenologii* [Slovar' ponyatij i terminov sovremennoj fitocenologii]. Moscow, Nauka Publ., 1989. 223 p. (In Russ.).
18. Golubeva E.I. et al., ed. *Osobo ochranjaemye prirodnye territorii Sevastopolja* [Specially Protected Natural Areas of Sevastopol]. Simferopol, ARIAL Publ., 2020. 140 p. (In Russ.).
19. Pankeeva T.V., Mironova N.V. [Landscape structure of the coastal zone of the natural monument "Coastal aquatic complex at Cape Sarych"]. *Trudy Karadagskoj naučnoj stancii im. T.I. Vjazemskogo – prirodnoho zapovednika RAN*. V. 7, No 1(21) (2022): pp. 51-60. (In Russ.).

20. Pozachenyuk E.A., Pankeyeva T.V., Pankeyeva A.Y., Pizova E.V. [The state of specially protected natural territories of the federal city of Sevastopol]. *Geopolitika i èkogeodinamika regionov*. V. 6(16), No 2 (2020): pp. 161-171. (In Russ.).
21. Rabotnov T.A. *Fitocenologija* [Phytocenology]. Moscow, MGU Publ., 1983. 384 p. (In Russ.).
22. Savinov A.B., Nikitin Yu.D. [Development of ideas about plant activity, its ecological role and methods of assessment in ecosystems]. *Principy èkologii*. No 3 (2017): pp. 20-39. (In Russ.).
23. Didukh Ya.P., ed. *Červona kniga Ukraïni. Roslinnij svit* [The Red Book of Ukraine. Flora]. Kyiv, Globalconsulting Publ., 2009. 912 p. (In Ukr.).
24. Birben Ü. The effectiveness of Protected Areas in Biodiversity Conservation: The Case of Turkey. *CERNE*. V. 25, No 4 (2019): pp. 424-438.
25. The Black Sea Red Data List. 1997. Available at: <http://www.grid.unep.ch/bsein/redbook/index.htm>.
26. Dumont H.J., ed. *The Black Sea Red Data Book*. New York, United Nations Office for Project Services, 1999. 413 p.
27. Buonocore E., Grande U., Franzese P.P., Russo G.F. Trends and Evolution in the Concept of Marine Ecosystem Services: An Overview. *Water*. 13(15) (2021): 2060 p. <https://doi.org/10.3390/w1315206>
28. 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*. V. 17(5), Iss. 5 (2019): pp. 259-264. <https://doi.org/10.1002/fee.2042>
29. Cheney D.T. R + C/P anew and improved ratio for comparing seaweed floros. *Journal Phycology*. V. 13, No 2 (Suppl.) (1977): 12 p.
30. Feldmann J. Recherches sur la végétation marine de la Méditerranée. La côte d'Albères. *Revue Algology*. V. 10 (1937): pp. 1-339.
31. 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). *Journal Marine Environmental Research*. V. 114 (2016): pp. 12-23. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2015.12.003>
32. Guiry M.D., Guiry G.M. *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. Available at: <http://www.algaebase.org>. (accessed 20.02 2023).
33. Luypaert T., McCarthy M. L., Hagan J., Poti M. Status of Marine Biodiversity in the Anthropocene. In book: S. Jungblut, V. Liebich, M. Bode-Dalby (Eds.) *YOUMARES 9 - The Oceans: Our Research, Our Future: Proceedings of the 2018 conference for Young Marine Researcher in Oldenburg, Germany, 2020*. pp. 57-82. Springer Nature Switzerland AG. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-20389-4>
34. Öztürk B., Fach B., Keskin C., Arkin S., Topaloğlu B., Öztürk A. Prospects for Marine Protected Areas in the Turkish Black Sea. In book: *Management of Marine Protected Areas*. 2017, pp. 247-262. DOI: 10.1002/9781119075806.ch13
35. Strong J.A., Andonegi E., Bizsel K.C., Danovaro R., Elliott M., Franco A., Garces E., Little S., Mazik K., Moncheva S., Papadopoulou N.K., Patricio J., Queirós A.M., Smith C.J., Stefanova K., Solaun O. Marine biodiversity and ecosystem function relationships: The potential for practical monitoring applications. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. V. 161 (2015): pp. 46-64.

Статья поступила в редакцию 16.02.2023; одобрена после рецензирования 09.03.2023; принята к публикации 02.06.2023.

The article was submitted 16.02.2023; approved after reviewing 09.03.2023; accepted for publication 02.06.2023.

Информация об авторах

И. К. Евстигнеева – канд. биол. наук, ст. научный сотрудник отдела биотехнологий и фиторесурсов;

И. Н. Танковская – младший научный сотрудник отдела биотехнологий и фиторесурсов.

Information about the authors

I. K. Evstigneeva – Ph.D. in Biology, senior researcher at the Dept. of Biotechnology and phytoresources;

I. N. Tankovskaya – Junior Researcher at the Dept. of Biotechnology and phytoresources.