



Научная статья

Экологическая структура сообщества макроводорослей на западе Крыма

И.К. Евстигнеева* , И.Н. Танковская 

Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН, 299011, г. Севастополь,
пр. Нахимова, д. 2.

*ikevstigneeva@gmail.com

Поступила в редакцию: 29.05.2022
Доработана: 14.06.2022
Принята к печати: 25.06.2022
Опубликована онлайн: 29.12.2022

DOI: 10.23859/estr-220529
УДК 582.271/275:502.7(262.5)

Аннотация. Исследование макрофитобентоса у западного берега Крыма на участке от мыса Тюбек до Языковой балки показало, что в его состав входят водоросли 12 экологических групп. Наибольшим видовым разнообразием характеризуются морская, ведущая, однолетняя и олигосапробная группы, что типично для черноморского фитобентоса. Экологическим своеобразием отличается Chlorophyta, в котором доминируют солоноватоводно-морские, редкие и мезосапробные виды, занимающие в других отделах вторую позицию. Крайние значения числа видов в экогруппах приходятся на участки прибрежной зоны с разной активностью абразионно-оползневых процессов и антропогенного вмешательства. Видовое разнообразие и флористический состав экогрупп подвержены пространственной трансформации, но их соотношение стабильно. Выявленное доминирование олигосапробионтов, многочисленность мезосапробионтов и малая доля полисапробионтов соответствует их пропорции на чистых морских участках. Однако величины флористического и сапробиологического коэффициентов показывают, что качество среды в районе исследований приближается к мезотрофному.

Ключевые слова: макрофитобентос, экологические группы, встречаемость, флористический состав, пространственная изменчивость, Черное море

Для цитирования. Евстигнеева, И.К., Танковская, И.Н., 2023. Экологическая структура сообщества макроводорослей на западе Крыма. *Трансформация экосистем* 6 (1), 108–120. <https://doi.org/10.23859/estr-220529>

Article

The ecological structure of the macroalgal community in western Crimea

Irina K. Evstigneeva^{id}, Irina N. Tankovskaya^{id}*A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas, Russian Academy of Sciences, pr. Nakhimova 2, 299011 Sevastopol***ikevstigneeva@gmail.com*

Received: 29.05.2022
Revised: 14.06.2022
Accepted: 25.06.2022
Published online: 29.12.2022

DOI: 10.23859/estr-220529
UDC 582.271/275:502.7(262.5)

Translated by S.V. Nikolaeva

Abstract. A study of the macrophytobenthos off the western coast of Crimea in the area from Cape Tyubek to Yazykovaya Balka showed the presence of 12 ecological groups of algae. The marine, dominant, annual and oligosaprobic groups are characterized by the highest species diversity, which is typical of the Black Sea phytobenthos. Chlorophyta is an ecologically distinct group dominated by brackish-marine, mesosaprobic and rare species that rank second in other divisions. The extreme values of numbers of species in the ecogroups occur in areas of the coastal zone with varying activity of abrasion and landslide processes and anthropogenic interference. Species diversity and floristic composition of ecogroups are subject to spatial transformation even though their ratio is stable. The observed dominance of oligosaprobionts, the abundance of mesosaprobionts and the low number of polysaprobionts correspond to their proportions in the pristine marine areas. However, the values of the floristic and saprobiological coefficients show that the quality of the environment in the study area is close to mesotrophic.

Key words: macrophytobenthos, ecological groups, occurrence rate, floristic composition, spatial variability, Black Sea

To cite this article. Evstigneeva, I.K., Tankovskaya, I.N., I.N., 2023. The ecological structure of the macroalgal community in western Crimea. *Ecosystem Transformation* 6 (1), 108–120. <https://doi.org/10.23859/estr-220529>

Введение

Важной характеристикой фитоценоза, наряду с видовым составом и биомассой, формируемой растениями, является структурно-функциональная дифференциация видов. Еще в 1924 г. Л.Г. Раменским было отмечено, что каждый вид экологически индивидуален, что проявляется в его способности обитать лишь в определенных пределах выраженности экологических факторов и их сочетаний (Работнов, 1983). Поэтому фитоценозы представляют собой системы экологически и биологически различных видов растений. Среди подходов к дифференциации черноморских макроводорослей можно выделить тот, который

базируется на учете их отношения к солёности и сапробности среды обитания, степени встречаемости в Черном море и генетически закрепленной продолжительности вегетационного периода. Экологическая шкала, предложенная А.А. Калугиной-Гутник, широко применяется в гидробиологических исследованиях в течение десятков лет (Белич и др., 2019; Березина, 2011; Евстигнеева и Танковская, 2020; Калугина-Гутник, 1975; Маслов, 2004). Сведения об экологическом составе важны как для оценки еще одного из аспектов биоразнообразия морских экосистем, так и для расширения возможностей фитоиндикации среды их обитания (Капков и др., 2021; Archinoia and Piazzzi, 2021; Borja

et al., 2011; Kang et al., 2011; Wells et al., 2007). К сожалению, отсутствие или недостаточность знаний о макрофитах ряда черноморских регионов не позволяет делать широких обобщений, касающихся экосистемного, ландшафтного, хозяйственного потенциалов и закономерностей распространения прибрежных сообществ (García, 2021). Не стали исключением в этом отношении и донные природные комплексы на западе Крымского полуострова. Между тем они характеризуются высоким количественным развитием макрофитобентоса и его ключевых продуцентов (Панкеева и Миронова, 2021). Цель нашей работы – охарактеризовать экологические особенности макрофитобентоса и вклад представителей различных отделов в формирование спектров экологических групп на разных участках прибрежной зоны Черного моря от мыса Тюбек до Языковой балки.

Материалы и методы

В основу работы положены результаты летней гидробиотической съемки (июль–август) 2020 г. на шести участках Западного берега Крыма, среди которых мысы Тюбек, Лукулл, Вай-Вай, Маргопуло, Немецкая и Языковая балки (Рис. 1).

Протяженность береговой линии изучаемого участка составляет 17.1 км. По имеющимся данным, берег абразионного и обвально-оползневой типа, сложен известняками, перекрытыми аллювиальными пролювиально-глинисто-галечниковыми отложениями и красно-бурыми глинами (Панкеева и др., 2021). Для побережья характерна высокая динамичность абразионных, абразионно-гравитационных, абразионно-оползневых процессов. Береговая линия изрезана слабо и ее выравненность нарушается вследствие формирования мысов. В прибрежной акватории от уреза до глубины 10 м образуются выступы дна и отдельные банки за счет нагромождения плит и глыб конгломерата. Динамика береговой линии и рельефа детерминирована вдольбереговым перемещением прибрежно-морских наносов, которое определяется ветро-волновым режимом на прилегающей акватории.

Отбор проб проводили при помощи водолаза на глубинах 0.5, 1, 3, 5 и 10 м (до границы фитаги) в четырехкратной повторности с применением учетных площадок размером 25×25 см (Калугина, 1969). Всего было собрано 120 количественных проб. Их первичная обработка проходила в лабораторных условиях, где определяли видовой состав водорослей с применением микроскопа «Армед XS-90». Идентификацию видов осуществляли с учетом последних номенклатурных изменений (Зинова, 1967; Guiry and Guiry, 2022). Полученные сведения о видовом составе, таксономической структуре макрофитобентоса Западного берега Крыма и параметрах его пространственной измен-

чивости освещены в ранее опубликованной статье (Евстигнеева и Танковская, 2021). Установлено, что макрофитобентос у Западного берега Крыма включает 74 вида макроводорослей, относящихся к 4 классам, 19 порядкам, 28 семействам, 50 родам. Виды принадлежат к трем отделам: 17 видов относятся к Chlorophyta, 16 – Ochrophyta, 41 – Rhodophyta. Идентифицированные виды распределяли по экологическим группам в соответствии со шкалой А.А. Калугиной-Гутник (1975). Для описания макрофитобентоса привлечены данные о встречаемости экогрупп и входящих в их состав видов (Даждо, 1975). В целях фитоиндикации среды и оценки степени эвтрофирования районов применяли сапробиологические индексы Д. Ченея (Cheney, 1977), а также Т. Дрессшера и Х. Марка (Калугина-Гутник, 1989). Для описания пространственной изменчивости характеристик ценоза определяли лимиты, размах их вариации и среднее значение с доверительным интервалом (Жукова и Минец, 2019). На основе величины коэффициента вариации ($C_v, \%$) оценивали тип изменчивости признаков по семибалльной шкале (небольшое варьирование, верхне- и нижненормальный, значительный, большой, очень большой, аномально высокий типы) (Зайцев, 1990).

Результаты и обсуждение

Общая характеристика экологического состава макрофитобентоса на западе Крымского полуострова

Макроводоросли, обитающие вдоль западного берега Крымского полуострова, в соответствии с существующей классификацией черноморских видов относятся к 12 из 13 известных для них экологических групп (Рис. 2).

В районе исследований отсутствовали представители пресноводно-солонатоводного комплекса, которые в Черном море встречаются редко и более характерны для эстуариев рек с соленостью 5–8‰. Зону с подобным солевым диапазоном относят к зоне «минимума видов» (Хлебович, 1974). Солонатоводная группа представлена единственным видом (*Cladophora liniformis* Kützing) из группы редких для Черного моря таксонов (Калугина-Гутник, 1975). Солонатоводно-морской комплекс включает 17 видов, входящих в состав Chlorophyta (Ch) и Rhodophyta (Rh). Виды этой группы широко распространены в прибрежной зоне моря, но предпочитают опресненные участки, где соленость составляет 8–16‰. Отсутствие таких видов среди Ochrophyta (Och) в районе исследований можно объяснить не только небольшой представленностью их в Черном море, но и тем, что они в основном являются сезонно-зимними формами, тогда как наши работы



Рис. 1. **A** – карта района альгологических работ у Западного берега Крымского полуострова (Севастопольский регион). **B** – районы исследования: I – мыс Тюбек (N 44°50.483' E 33°33.642'); II – мыс Лукулл (N 44°50.411' E 33°33.274'); III – мыс Вай-Вай (N 44°50.061' E 33°32.996'); IV – мыс Маргопуло (N 44°42.878' E 33°32.665'); V – Немецкая балка (N 44°45.225' E 33°32.758'); VI – Языковая балка (N 44°47.383' E 33°32.115').

проведены летом, в период массовой вегетации одно- и многолетних видов. Как и во всем Черном море, в районе исследований преобладает группа типично морских водорослей. Она состоит из 55 видов, что составляет 75 % общего видового богатства фитоценоза. Господство морских видов согласуется с выводом о том, что альгофлора Черного моря является преимущественно морской и широкогалинной (Калугина-Гутник, 1975). Доминирование красных водорослей по уровню видового разнообразия, а также их высокая встречаемость как в границах всего моря, так и на локальных прибрежных участках свидетельствуют о том, что в морской среде с некоторой долей распреснения могут обитать и достигать высокого развития виды с широким спектром солевыносливости.

В зависимости от встречаемости в Черном море макроводоросли делят на ведущие, сопутствующие и редкие виды. На шести участках западного побережья преобладают ведущие виды, за ними следуют сопутствующие и редкие. Видовое соотношение этих групп в отделах свидетельствует о высокой роли ведущей и редкой групп среди бурых водорослей (1 сп : 11 в : 4 р); у зеленых и красных эти же группы соотносятся как 2 в : 2 р и 1 в : 2 р, а в границах всего фитоценоза как 3 в : 1.5 р. На долю сопутствующих видов, занимающих в отделах последнюю позицию, приходится

от 6% (у зеленых) до 24% (у красных водорослей) (Табл. 1).

Макроводоросли отличаются друг от друга сроками вегетации, и среди них выделяют многолетние, доминирующие однолетние и сезонные виды. Половина видов, обитающих на западе Крыма, относятся к однолетним, треть – к многолетним, и остальные – к сезонным (Рис. 2). Их соотношение отражено в Табл. 1. Среди однолетних больше всего зеленых водорослей, среди многолетников – красных.

В исследованной акватории наиболее характерные сезонные виды относятся к отделу бурых водорослей, причем их вклад в общую структуру сопоставим с таковым у многолетников. Участие сезонных форм из других отделов ограничивается 10 и 13%. В 70-х годах прошлого столетия роль зеленых и красных водорослей в сложении данной группы в Черном море была одинаково выше, чем бурых (Калугина-Гутник, 1975). В период наших работ вклад зеленых водорослей в состав сезонной группы был заметно ниже, чем красных (Табл. 1). Доля сезонных бурых водорослей остается неизменной. Распределение отделов в многолетней группе отличается от такового в однолетней. В многолетней группе Och по своему вкладу занимает второе место, а в однолетней – третье. Позиции отделов по вкладу в многолетнюю группу

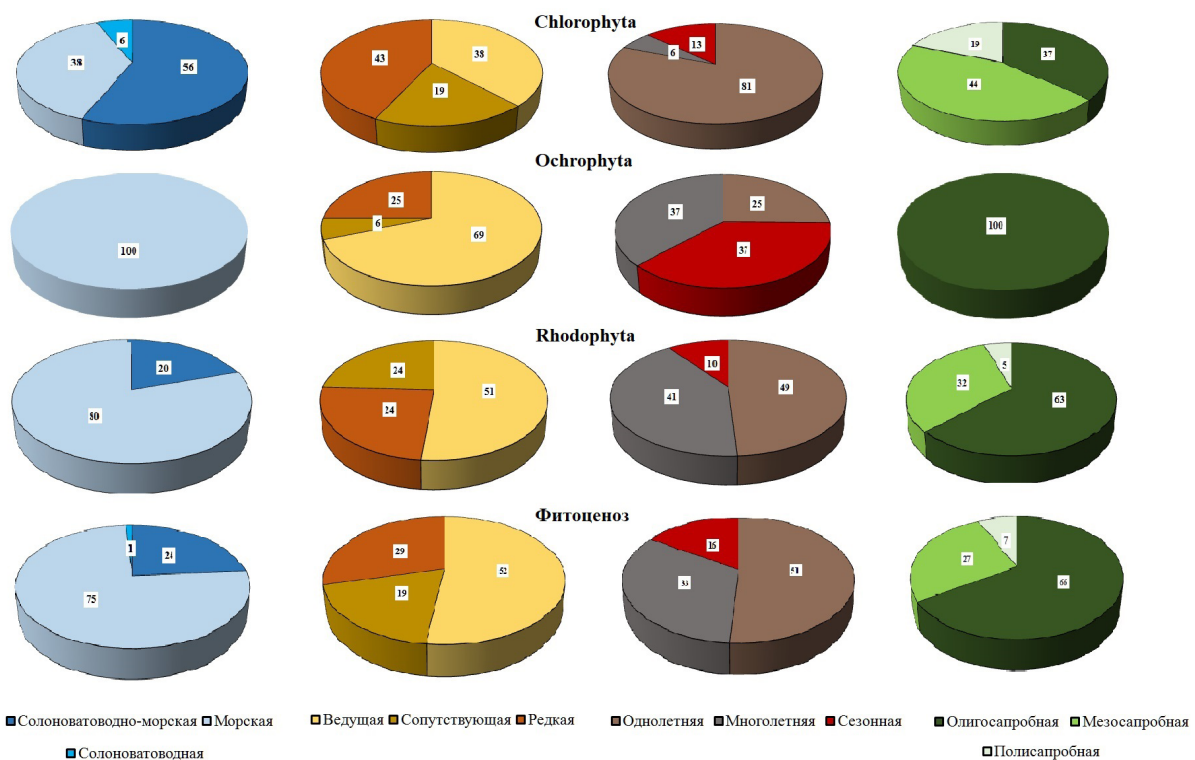


Рис. 2. Экологический состав отделов (А) и фитоценоза (В) макроводорослей вдоль западного берега Крыма. А – цифрами обозначен процент от числа видов в отделе в исследованном районе; В – цифрами обозначен процент от общего числа идентифицированных видов.

Табл. 1. Видовое соотношение экогрупп и отделов в каждой из них. Перед чертой указано соотношение отделов, после нее – абсолютное число видов в группе. Обозначения: св, см, м – солоноватоводная, солоноватоводно-морская, морская группы; сп, в, р – сопутствующая, ведущая, редкая группы; с, мн, од – сезонная, многолетняя, однолетняя группы; пс, мс, ос – поли-, мезо-, олигосапробные группы.

Экогруппа	Видовое соотношение отделов (Ch : Och : Rh)		Видовое соотношение экогрупп	
	Черное море (по Калугиной-Гутник, 1975)	Западный берег	Черное море (по Калугиной-Гутник, 1975)	Западный берег
солоноватоводная	7 : 0 : 1	1 : 0 : 0 / 1		
солоноватоводно-морская	3 : 1 : 1.5	1 : 0 : 1 / 17	1 св : 10 см : 25 м	1 св : 17 см : 55 м
морская	1 : 2 : 3	1 : 3 : 5.5 / 55		
сопутствующая	1 : 1 : 2	3 : 1 : 10 / 14		
ведущая	1 : 2 : 4	1 : 2 : 4 / 38	1 сп : 4 в : 4 р	1 сп : 3 в : 2 р
редкая	1 : 1 : 2	2 : 1 : 2.5 / 21		
однолетняя	5 : 1 : 5	3 : 1 : 5 / 37		
сезонная	1 : 4 : 2	1 : 3 : 2 / 12	2 од : 1 мн : 1 с	3 од : 2 мн : 1 с
многолетняя	1 : 8 : 28	1 : 6 : 17 / 24		
полисапробная	2 : 0 : 1	2 : 0 : 1 / 5		
мезосапробная	4 : 1 : 3	1 : 0 : 2 / 20	1 пс : 4 мс : 8 ос	1 пс : 4 мс : 10 ос
олигосапробная	1 : 3 : 4	1 : 3 : 4 / 48		

в Черном море ранее и в районе исследований в текущем моменте совпадают.

В санитарной гидробиологии под сапробностью понимают способность гидробионтов жить при большом содержании в среде органических веществ. В последнее время этот термин применяют при характеристике степени общего загрязнения вод, в том числе и органического (Герасимов, 2014). Установлено, что в ряду олигосапробионты – мезосапробионты – полисапробионты возрастает не только стойкость гидробионтов к влиянию избыточного содержания органических загрязнителей, но и к отдаленным последствиям их воздействия, что позволяет оценить степень эврибионтности того или иного вида. Известно, что чувствительность вида к загрязнению среды в разных местообитаниях может отличаться (Wells et al., 2007). Сапробиологический анализ показал, что на западе Крыма и на всей акватории Черного моря (Калугина-Гутник, 1975) преобладают олигосапробные виды. Относительно многочисленны мезосапробионты – индикаторы средней степени органического загрязнения морской среды. В составе этой группы α -мезосапробные и β -мезосапробные виды представлены поровну. Доля полисапробных видов в районе исследования равна

5%, что характерно для чистых участков Черного моря. Для оценки качества среды в исследуемом районе применили коэффициент сапробности Т. Дрессшера и Х. Марка (Калугина-Гутник, 1989). Полученная величина коэффициента (1.8) позволяет заключить, что прибрежные воды в районе исследований по своему качеству приближаются к мезотрофным, что было подтверждено рассчитанным значением флористического коэффициента Д. Ченя (3.6) соответствующим таковому для флоры районов со средней степенью эвтрофирования. О наметившейся тенденции изменений качества среды в определенной степени могут свидетельствовать и результаты сравнения величин коэффициента Д. Ченя для одного из обследованных западных участков у мыса Лукулл. Полученное нами значение коэффициента более чем вдвое превышает подобное (1.92), рассчитанное на основе списка видов, обобщенного для периода с 1964 по 1998 г. (Мильчакова, 2003). Видовое соотношение сапробных групп макрофитобентоса Черного моря и участков западного побережья в целом совпадает (см. Табл. 1). Примерно такая же пропорция сапробных групп характерна для макроводорослей в районе р. Сотеры в Юго-восточном районе Крыма (Белич и др.,

2019). Ранговые позиции сапробных групп (первая у олиго-, вторая у мезо-, третья у полисапробной) ранее были установлены для макрофитобентоса в бухте, расположенной в устье балки Канака, а также у мыса Святой Троицы на Южном берегу Крыма (Садогурский 2009, 2014). Как и в случае с группами видов с разной продолжительностью жизни, соотношение сапробных групп и их ранговые позиции не изменились со временем. Очевидно, пространственно-временная сохранность этих соотношений обеспечивает возможность экосистемы поддерживать относительно неизменное состояние и противостоять изменениям внешних условий и биотических связей в сообществе. Подобные факты наглядно демонстрируют проявление таких свойств водных экосистем, как стабильность и устойчивость (Алимов, 2017). Пропорция отделов в группах поли- и олигосапробионтов в Черном море и в районе исследований оказалась сходной, тогда как для мезосапробной группы отмечено различие. Это связано с тем, что, если в пределах всего морского водоема фиксировалось, пусть и незначительно, участие бурых водорослей в этой группе, то на его западном берегу в период исследований оно сводилось к нулю. Отмечено возрастание во времени структурообразующей роли Rh мезосапробной принадлежности.

Экологический состав трех отделов проявляет сходство и различие на уровне таких характеристик, как его полночленность и комплекс базовых групп. В состав Ch входят виды всех идентифицированных групп, среди Rh отсутствуют солоноватоводные элементы, а среди Och – солоноватоводно-морские, поли- и мезосапробные. Эти факты свидетельствуют о невысоком экологическом разнообразии бурых водорослей и значительном – зеленых. Rh по степени полночленности экоспектра близок к Ch. Возможно, это связано с экологическими предпочтениями и экологической валентностью представителей разных отделов. Известно, что бурые водоросли проявляют повышенную требовательность к качеству морской среды (Евстигнеева и Танковская, 2020; Калугина-Гутник, 1975), поэтому среди них нет видов-индикаторов высокой степени распреснения (солоноватоводная группа) и органического загрязнения (полисапробная группа) водных масс; невелика также доля участия индикаторов средней степени ее нарушенности (солоноватоводно-морская и мезосапробная группы). Зеленые и большей частью красные водоросли экологически толерантнее, что расширяет возможности их расселения в прибрежной зоне моря (Березина, 2011; Евстигнеева и Танковская, 2010; Калугина-Гутник, 1975; Максимова, 2013; Празукин и др., 2019).

Для каждого отдела характерен свой комплекс экогрупп, доминирующих по числу видов. Наибольшей специфичностью отличается такой

комплекс у Ch, поскольку здесь преимущественное развитие получают солоноватоводно-морская (9 видов), редкая и мезосапробная (по 7 видов) группы. Вторую позицию занимают морские, ведущие и олигосапробные виды. Для Och и Rh одинаково характерно высокое видовое разнообразие прежде всего тех групп, которые в составе Ch находятся в соподчиненном положении. Второе место многолетников среди Rh еще больше сближает состав базовых групп у бурых и красных водорослей.

Несмотря на отсутствие абсолютного совпадения экоспектров отделов, комплекс доминирующих групп в каждом из них является типичным для макрофитобентоса Черного моря в целом. Экологические различия отделов можно рассматривать как взаимодополняющее явление, обеспечивающее нормальное функционирование морской прибрежной экосистемы.

Особый интерес, на наш взгляд, представляет сравнительный анализ организации фитоценозов на уровне количественного соотношения отделов в каждой экогруппе в исследуемом районе и в масштабе Черного моря. Результаты такого сравнения, проведенного с некоторой долей временных допущений, представлены в Табл. 1. Данные, полученные нами для Западного берега Крыма, демонстрируют превосходство красных водорослей в сложении более чем половины идентифицированных экогрупп. Бурые водоросли в тех группах, где они присутствуют, занимают вторую позицию. Вклад зеленых водорослей, как правило, невелик, и только в полисапробной, солоноватоводно-морской и редкой группах он сравним и даже выше такового у красных. Сопоставление пропорций отделов в экогруппах фитобентоса Черного моря и вдоль западного берега Крыма в отдельных случаях показывает их абсолютное или близкое к нему сходство. Полностью одинаковая флористическая пропорция в локальной и региональной флоре характерна лишь для двух групп: олигосапробной и ведущей. Отмечено гораздо больше групп, где соотношение долей участия отделов близко к совпадению (полисапробная и все группы с разными сроками вегетации). У половины экогрупп в локальной и региональной флоре проявляется различие позиций отделов и доли их участия в формировании тех или иных групп. Так, в составе черноморского макрофитобентоса мезосапробная группа в основном сложена зелеными водорослями, а в фитоценозах на западе полуострова в период исследований – красными. Солоноватоводная группа в локальной флоре малочисленнее и состоит исключительно из видов Ch. В морской группе позиции отделов одинаковы, но в локальной флоре структурная роль Rh выше.

Видовое соотношение сапробных и галобных групп в фитобентосе Черного моря и в исследо-

ванном районе западного побережья Крыма примерно одинаковое. В данном случае сохраняется первенство у олигосапробионтов и морских видов, вторая позиция у солоноватоводно-морской и мезосапробной групп, третья – у солоноватоводных и полисапробных водорослей. Порядок количественного соподчинения групп, виды которых имеют разную продолжительность вегетации и степень встречаемости, в Черном море и на западном берегу Крыма не совпадает: в районе исследований роль многолетников несколько выше, а ведущих и редких видов – ниже.

В итоге полученные данные свидетельствуют о том, что пропорции отделов в составе экогрупп локальной и региональной флоры нередко совпадают или близки к этому состоянию. Отличия проявляются на уровне величины доли участия каждого отдела в формировании той или иной части экоспектра сообщества. Наличие сходства и различия пропорций отделов в экогруппах иллюстрирует принцип «конгенерического гомотаксиса». В соответствии с его механизмом отдельные элементы системы могут варьировать в изменчивых условиях окружающей среды, сохраняя при этом свои соотношения. (Евстигнеева и Танковская, 2020; Уитеккер, 1980).

Пространственная изменчивость экологического состава трех отделов макроводорослей

Организация фитоценозов с их характерным составом и структурой представляет собой динамическое явление, поскольку она подвержена изменениям в различных пределах и во взаимосвязи с факторами среды. Полученный в ходе исследований массив данных позволяет оценить некоторые параметры пространственной изменчивости экологического состава фитобентоса вдоль западного берега Крыма (Рис. 3).

Установлено, что экоспектр Ch на всех исследованных участках, кроме Языковой балки, является полночленным, а большая часть его групп проявляет 100%-ную встречаемость. Среди зеленых водорослей в Языковой балке отсутствуют многолетние виды. На каждом из обследованных участков среди Ch наибольшим числом видов отличаются солоноватоводно-морская, ведущая, однолетняя, олиго- и мезосапробная группы; вторую позицию занимают редкие виды. Максимум абсолютного числа видов в экогруппах зеленых водорослей чаще проявляется в районе мысов Лукулл и Маргопуло, минимум показателя у большинства групп приходится на Немецкую и Языковую балку, территории которых подвергаются активному рекреационно-хозяйственному освоению. В настоящее время в Немецкой балке участились обвалы грунта. Для предотвращения здесь опасных ситуаций специалистами прово-

дится искусственное обрушение береговых склонов. Разброс крайних значений числа видов Ch в группах невелик, изменения этого показателя от участка к участку носят сглаженный характер или происходят в очень незначительной степени. По шкале изменчивости признаков биологических объектов пространственные вариации числа видов зеленых водорослей в экогруппах соответствуют норме ($C_v = 10\text{--}39\%$).

По-иному выглядит распределение видов по группам у Och на исследованных участках берега. Ранее было отмечено, что экоспектр отдела редуцирован за счет отсутствия солоноватоводной, солоноватоводно-морской, мезо- и полисапробной групп. К этому следует добавить наличие сопутствующей группы только в районе мысов Тюбек и Вай-Вай ($R = 33\%$) и отсутствие сезонников в акватории первого из названных участков ($R = 83\%$). Пространственная однородность экологического состава видового комплекса бурых водорослей обеспечена высокой видовой насыщенностью базовых групп (60–100% от общего числа видов в отделе). Максимум абсолютного числа видов Och зарегистрирован на участке берега между мысом Тюбек и Языковой балкой. На участках акватории с выраженной активностью оползневых и абразионных процессов и находящихся в условиях стихийной рекреации число видов остается на минимальном уровне. В отличие от Ch, для пространственных трансформаций видового состава в экогруппах Och характерен не только «нормальный», но и «значительный» тип изменчивости. Последний тип отмечен у редкой и однолетней групп (C_v составляет 45 и 61% соответственно).

Подобно Ch и Och, у Rh качественный состав групп-лидеров на участках одинаковый (морские, ведущие, однолетние и олигосапробные виды). Однако почти на всех станциях многолетники и мезосапробионты устойчиво занимают вторую позицию. Самое высокое число видов в составе большинства групп, входящих в Rh, зафиксировано у мыса Вай-Вай, наименьшее – в акваториях Языковой балки и мыса Тюбек, близких к экологически кризисным местообитаниям вследствие естественных процессов и антропогенного вмешательства. Различие крайних значений анализируемого параметра невелико, его пространственная изменчивость у большинства групп по силе проявления не превышает «нижнюю» норму (C_v в диапазоне от 14 до 22%). Только у таких малочисленных групп, как редкая и сезонная, вариабельность числа видов в пространстве соответствует «значительному» типу (C_v составляет 61 и 45% соответственно).

В целом полученные для трех отделов данные свидетельствуют о небольшой по интенсивности пространственной трансформации абсолютного числа видов в группах. «Значительный» по шкале Г.Н. Зайцева тип изменений характерен ограничен-

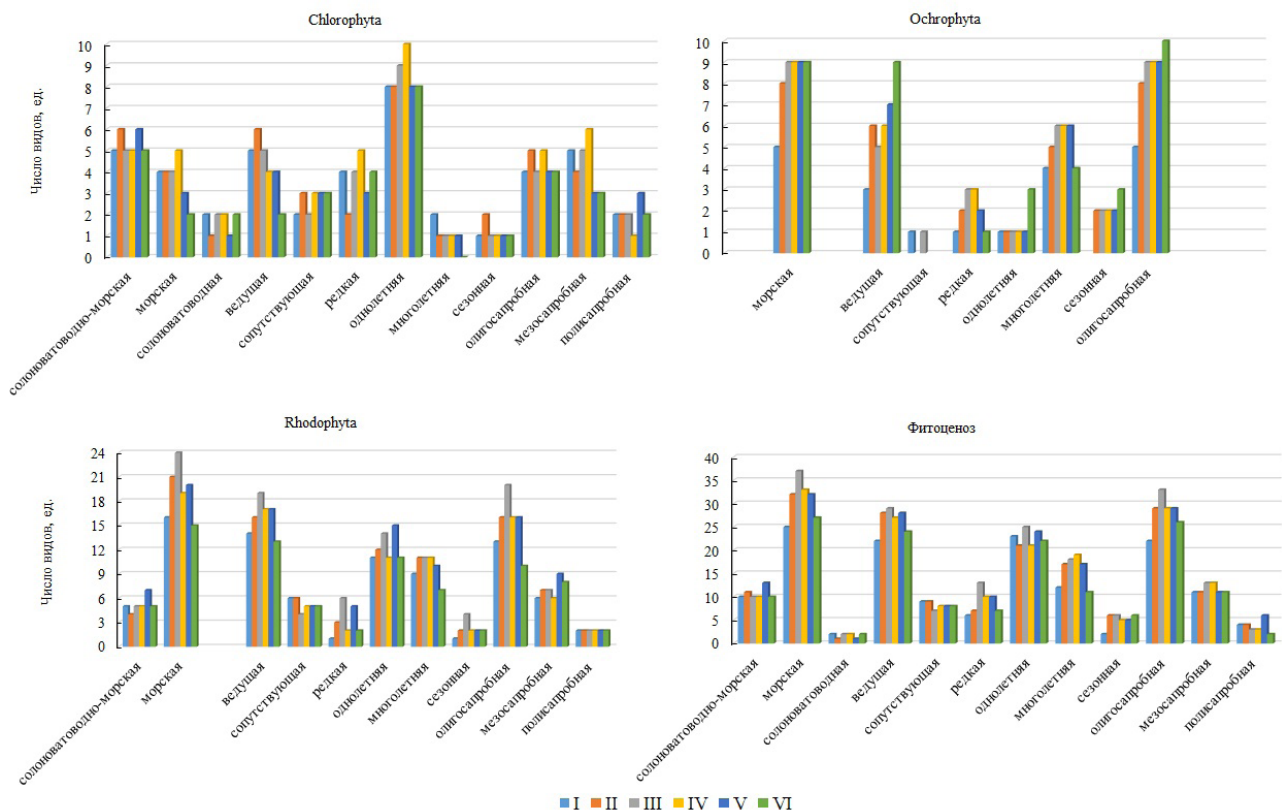


Рис. 3. Пространственное распределение экологического состава фитобентоса вдоль западного берега Крыма. Римскими цифрами обозначены районы исследования (см. Рис. 1).

ному числу групп: редкой и однолетней у Och, редкой и сезонной – у Rh. Крайние значения анализируемого параметра, как правило, приходятся на участки берега с контрастными условиями среды обитания. Типы пространственной изменчивости относительного числа видов в группах дополнены за счет так называемого «небольшого» варьирования. Оно наблюдается у ведущей группы в составе Rh, морской и ведущей – у фитоценоза в целом. Относительное число видов солончатоводно-морской, морской и олигосапробной принадлежности, входящих в состав экоспектра Och, на исследованных участках берега не меняется.

Выводы

1. Макрофитобентос у западного берега Крымского полуострова состоит из 74 видов из 12 экологических групп. В его составе отсутствуют представители пресноводно-солончатоводно-морского комплекса, а наибольшее развитие получают морская, ведущая, однолетняя и олигосапробная группы, объединяющие 51–75% общего числа идентифицированных видов.

2. Для каждого отдела характерен свой комплекс ключевых экогрупп и определенная степень

полноценности экоспектра. Наибольшим своеобразием отличается Chlorophyta, в котором доминируют солончатоводно-морские, редкие и мезосапробные виды, занимающие в других отделах вторую позицию. Количественное распределение экогрупп по отделам является типичным для черноморского фитобентоса.

3. Крайние значения числа видов в экогруппах приходятся на участки прибрежной зоны с различной активностью абразионно-оползневых процессов и антропогенного вмешательства: для большинства экогрупп максимум видов зарегистрирован в акватории мыса Вай-Вай, минимум – Языковой балки и мыса Тюбек.

4. Видовое разнообразие и флористический состав экогрупп подвержены пространственной трансформации, но их соотношение остается стабильным.

5. Результаты фитоиндикации показывают повсеместное доминирование олигосапробных видов, многочисленность мезосапробных и малую долю участия полисапробных, что соответствует соотношению сапробиологических группировок на чистых участках моря. Тем не менее, величины флористического и сапробиологического коэффи-

циентов свидетельствуют о том, что прибрежные воды в районе исследований по своему качеству приближаются к мезотрофным.

Финансирование

Работа выполнена в рамках государственного задания Института биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН (проект № 121030300149-0).

ORCID

И.К. Евстигнеева [ID 0000-0001-7473-251X](https://orcid.org/0000-0001-7473-251X)

И.Н. Танковская [ID 0000-0002-4907-0179](https://orcid.org/0000-0002-4907-0179)

Список литературы

- Алимов, А.Ф., 2017. Стабильность и устойчивость водных экосистем. *Гидробиологический журнал* 53 (1), 3–15.
- Белич, Т.В., Садогурская, С.А., Садогурский, С.Е., 2019. К изучению водорослей-макрофитов и цианобактерий прибрежно-аквальных комплексов юго-восточного района Крыма. *Бюллетень ГНБС* 131, 61–69.
- Березина, М.О., 2011. Эколого-таксономический состав морских фитоценозов зеленых макроводорослей естественных и загрязненных местообитаний о-ва Большой Соловецкий. *Arctic Environmental Research* 3, 12–19.
- Герасимов, Ю.Л., 2014. Санитарная и техническая гидробиология: учебное пособие. Самарский университет, Самара, Россия, 23–28.
- Дажо, Р. 1975. Основы экологии. Прогресс, Москва, СССР, 245 с.
- Евстигнеева, И.К., Танковская, И.Н., 2010. Макрофитобентос прибрежного экотона юго-запада Крыма (Черное море). *Морской экологический журнал* 9 (4), 48–61.
- Евстигнеева, И.К., Танковская, И.Н., 2020. Макрофлора прибрежной акватории западной части Гераклеийского полуострова и ее внутригодовая динамика (мыс Херсонес, Черное море). *Вопросы современной альгологии* 1 (22), 39–55. [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2020-1\(22\)-39-55](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2020-1(22)-39-55)
- Евстигнеева, И.К., Танковская, И.Н., 2021. Гидрботанические исследования охраняемой акватории Западного Крыма (Черное море). *Фиторазнообразие Восточной Европы* 15 (4), 16–33. <https://doi.org/10.24412/2072-8816-2021-15-4-16-33>
- Жукова, А.А., Минец, М.Л., 2019. Биометрия. Описательная статистика: учебное пособие. Ч. 1. БГУ, Минск, Беларусь, 100 с.
- Зайцев, Г.Н., 1990. Математика в экспериментальной ботанике. Наука, Москва, СССР, 296 с.
- Зинова, А.Д., 1967. Определитель зеленых, бурых и красных водорослей южных морей СССР. Наука, Москва – Ленинград, СССР, 397 с.
- Калугина, А.А., 1969. Исследование донной растительности Черного моря с применением легководолазной техники. В: Мантейфель, Б.П. (ред.), *Морские подводные исследования*. Наука, Москва, СССР. 105–113.
- Калугина-Гутник, А.А., 1975. Фитобентос Черного моря. Наукова думка, Киев, СССР, 248 с.
- Калугина-Гутник, А.А., 1989. Изменение видового состава фитобентоса в бухте Ласпи за период 1964–1983 г. *Экология моря* 31, 7–12.
- Капков, В.И., Шошина, Е.В., Камнев, А.Н., 2021. Сообщество макроводорослей открытой губы восточного побережья Баренцева моря. *Проблемы региональной экологии* 1, 10–20. <https://doi.org/10.24412/1728-323X-2021-1-10-20>
- Максимова, О.В., 2013. Соленость среды и морские макроводоросли: проявление эколого-морфологической пластичности in vitro и in situ. *Труды Зоологического института РАН. Приложение* 3, 168–174.
- Маслов, И.И., 2004. Мониторинг макрофитобентоса в природном заповеднике «Мыс Мартьян». *Сборник научных трудов ГНБС* 123, 85–92.
- Мильчакова, Н.А., 2003. Макрофитобентос. В: Еремеева, В.Н., Гаевской, А.В. (ред.), *Современное состояние биоразнообразия прибрежных вод Крыма (Черноморский сектор)*. ЭКОСИ-Гидрофизика, Севастополь, 152–208.
- Панкеева, Т.В., Миронова, Н.В., 2021. Ландшафтная структура западного побережья города Севастополя. *Геополитика и экогеодинамика регионов* 7 (17) (2), 276–291.
- Панкеева, Т.В., Миронова, Н.В., Пархоменко, А.В., 2021. Ландшафтные исследования памятника природы «Прибрежный аквальный комплекс

у мыса Лукулл». *Труды Карадагской научной станции им. Т.И. Вяземского – природного заповедника РАН* 2 (18), 36–48.

Празукин, А.В., Ануфриева, Е.В., Шадрин, Н.В., 2019. Фотосинтетическая активность матов нитчатых водорослей гиперсоленого озера Херсонесское (Крым). *Вестник Тверского государственного университета. Серия: Биология и экология* 2 (54), 87–102. <https://doi.org/10.26456/vtbio74>

Работнов, Т.А., 1983. Фитоценология. МГУ, Москва, СССР, 384 с.

Садогурский, С.Е., 2009. Макрофитобентос у побережья ботанического заказника «Канак» (Черное море): современное состояние и пути сохранения. *Заповідна справа в Україні* 15 (1), 31–38.

Садогурский, С.Е., 2014. Состав и распределение макрофитобентоса у мыса Святой Троицы (Черное море, Крым, Украина). *Морской экологический журнал* 13 (1), 53–62.

Уиттекер, Р. 1980. Сообщества и экосистемы. Прогресс, Москва, СССР, 227 с.

Хлебович, В.В., 1974. Критическая соленость биологических процессов. Наука. Ленинград, СССР, 235 с.

Archinoa, R.D, Piazzzi, L., 2021. Macroalgal assemblages as indicators of the ecological status of marine coastal systems. *Ecological Indicators* 129, 107835. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107835>

Borja, A., Basset, A., Bricker, S., Dauvin, J-C., Elliott, M. et al., 2011. Classifying ecological quality and integrity of estuaries. In: Wolanski, E. & McLusky, D. (eds.), *Treatise on Estuarine and Coastal Science*. Academic Press, Waltham, USA, 125–162.

Cheney, D.T., 1977. R + C/P a new and improved ratio for comparing seaweed floros. *Journal Phycology* 13 (2), 12 p.

García, M.R., 2021. Final Remarks of Special Issue «Biodiversity of Macroalgae». *Diversity* 13, 143 p. <https://doi.org/10.3390/d13040143>

Guiry, M.D., Guiry, G.M., 2022. AlgaeBase. Электронный ресурс. URL: <http://www.algaebase.org> (дата обращения: 20.05.2022).

Kang, J.Ch., Choi, H.G., Kim, M.S., 2011. Macroalgal species composition and seasonal variation in biomass on Udo, Jeju Island, Korea. *Algae* 26 (4), 333–342. <https://doi.org/10.4490/algae.2011.26.4.333>

Wells, E., Wilkinson, M., Woodb, P., Scanlan, C., 2007. The use of macroalgal species richness and composition on intertidal rocky seashores in the assessment of ecological quality under the European Water Framework Directive. *Marine Pollution Bulletin* 55, 151–161.

Funding

The work was carried out within the framework of the state task of the Institute of Biology of the Southern Seas named after A.O. Kovalevsky RAS (project no. 121030300149-0).

References

Alimov, A.F., 2017. Stabil'nost' i ustoichivost' vodnykh ekosistem [Stability and resilience of aquatic ecosystems]. *Gidrobiologicheskii zhurnal [Hydrobiological Journal]* 53 (1), 3–15. (In Russian).

Archinoa, R.D, Piazzzi, L., 2021. Macroalgal assemblages as indicators of the ecological status of marine coastal systems. *Ecological Indicators* 129, 107835. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107835>

Belich, T.V., Sadogurskaia, S.A., Sadogurskii, S.E., 2019. K izucheniiu vodoroslei-makrofitov i tsianobakterii pribrezhno-akval'nykh kompleksov iugo-vostochnogo raiona Kryma [Towards the study of macrophyte algae and cyanobacteria of coastal- aquatic complexes of the south-eastern region of Crimea]. *Biulleten' GNBS [GNBS Bulletin]* 131, 61–69. (In Russian).

Berezina, M.O., 2011. Ekologo-taksonomicheskii sostav morskikh fitotsenozov zelenykh makrovodoroslei estestvennykh i zagriaznennykh mestoobitaniy o-va Bol'shoi Solovetskii [Ecological and taxonomic composition of marine phytocenoses of green macroalgae of natural and polluted habitats on Bolshoi Solovetsky Island]. *Arctic Environmental Research* 3, 12–19. (In Russian).

Borja, A., Basset, A., Bricker, S., Dauvin, J-C., Elliott, M. et al., 2011. Classifying ecological quality and integrity of estuaries. In: Wolanski, E. & McLusky, D. (eds.), *Treatise on Estuarine and Coastal Science*. Academic Press, Waltham, USA, 125–162.

- Cheney, D.T., 1977. R + C/P a new and improved ratio for comparing seaweed floros. *Journal Phycology* **13** (2), 12 p.
- García, M.R., 2021. Final Remarks of Special Issue «Biodiversity of Macroalgae». *Diversity* **13**, 143 p. <https://doi.org/10.3390/d13040143>
- Gerasimov, Yu.L., 2014. Sanitarnaia i tekhnicheskaia gidrobiologiya: uchebnoe posobie [Sanitary and technical hydrobiology: textbook]. Samara university, Samara, Russia, 23–28. (In Russian).
- Guiry, M.D., Guiry, G.M., 2022. AlgaeBase. Электронный ресурс. URL: <http://www.algaebase.org> (дата обращения: 20.05.2022).
- Dazho, R., 1975. Osnovy ekologii [Basics of ecology]. Progress, Moscow, USSR, 245 p. (In Russian).
- Evstigneeva, I.K., Tankovskaia, I.N., 2010. Makrofitobentos pribrezhnogo ekotona iugo-zapada Kryma (Chernoe more) [Macrophytobenthos of the coastal ecotone of southwest Crimea (Black Sea)]. *Morskoi ekologicheskii zhurnal [Marine Ecological Journal]* **9** (4), 48–61. (In Russian).
- Evstigneeva, I.K., Tankovskaya, I.N., 2020. Makroflora pribrezhnoi akvatorii zapadnoi chasti Gerakleiskogo poluostrova i ee vnutrigodovaia dinamika (mys Khersones, Chernoe more) [Macroflora of the coastal waters of the western part of the Heracles peninsula and its intra-annual dynamics (Khersonese cape, the Black Sea)]. *Voprosy sovremennoi algologii [Issues of Modern Algology]* **1** (22), 39–55. (In Russian). [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2020-1\(22\)-39-55](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2020-1(22)-39-55)
- Evstigneeva, I.K., Tankovskaya, I.N., 2021. Hydrobotanical studies of the protected water area of the Western Crimea (Black Sea). *Fitoraznoobrazie Vostochnoy Evropy [Phytodiversity of Eastern Europe]* **15** (4), 16–33. (In Russian). <https://doi.org/10.24412/2072-8816-2021-15-4-16-33>
- Kalugina, A.A., 1969. Issledovanie donnoi rastitel'nosti Chernogo moria s primeneniem legkovodolaznoi tekhniki [Black Sea bottom vegetation survey using light diving equipment]. In: Manteifel, B.P., *Morskie podvodnye issledovaniia [Marine underwater research]*. Nauka, Moscow, 105–113. (In Russian).
- Kalugina-Gutnik, A.A., 1975. Fitobentos Chernogo moria [Phytobenthos of the Black Sea]. Naukova dumka, Kiev, Ukraine, 248 p. (In Russian).
- Kalugina-Gutnik, A.A., 1989. Izmenenie vidovogo sostava fitobentosa v bukhte Laspi za period 1964–1983 gg [Changes in the species composition of phytobenthos in Laspi Bay during the period 1964–1983]. *Ekologiya moria [Marine Ecology]* **31**, 7–12. (In Russian).
- Kang, J.Ch., Choi, H.G., Kim, M.S., 2011. Macroalgal species composition and seasonal variation in biomass on Udo, Jeju Island, Korea. *Algae* **26** (4), 333–342. <https://doi.org/10.4490/algae.2011.26.4.333>
- Kapkov, V.I., Shoshina, E.V., Kamnev, A.N., 2021. Soobshchestvo makrovodoroslei otkrytoi guby vostochnogo poberezh'ia Barentseva moria [Macroalgae community of the open bay of the eastern coast of the Barents Sea]. *Problemy regional'noi ekologii [Problems of Regional Ecology]* **1**, 10–20. (In Russian). <https://doi.org/10.24412/1728-323X-2021-1-10-20>
- Khlebovich, V.V., 1974. Kriticheskaia solenost' biologicheskikh protsessov [Critical salinity of biological processes]. Nauka, Leningrad, USSR, 235 p. (In Russian).
- Maksimova, O.V., 2013. Solenost' sredy i morskoe makrovodorosli: proiavlenie ekologo-morfologicheskoi plastichnosti in vitro i in situ [Environmental salinity and marine macroalgae: manifestation of ecological and morphological plasticity in vitro and in situ]. *Trudy Zoologicheskogo instituta RAN. Prilozhenie [Proceedings of the Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences. Supplement]* **3**, 168–174. (In Russian).
- Maslov, I.I., 2004. Monitoring makrofitobentosa v prirodnom zapovednike "Mys Mart'ian" [Monitoring of macrophytobenthos in the natural reserve "Cape Martyan"]. *Sbornik nauchnykh trudov GNBS [Collection of scientific works of State Nikita Botanical Garden]* **123**, 85–92. (In Russian).
- Mil'chakova, N.A., 2003. Makrofitobentos. In: Ereemeeva, V.N. and Gaevskoi, A.V. (eds.), *Sovremennoe sostoianie bioraznoobrazii pribrezhnykh vod Kryma (Chernomorskii sektor) [Macrophytobenthos. The current state of biodiversity of coastal waters of Crimea (Black Sea sector)]*. EKOSI-Gidrofizika, Sevastopol, 152–208. (In Russian).
- Pankeeva, T.V., Mironova, N.V., 2021. Landshaftnaia struktura zapadnogo pribrezh'ia goroda Sevastopolia [Landscape structure of the

- western coast of Sevastopol city]. *Geopolitika i ekogeodinamika regionov [Geopolitics and Ecogeodynamics of Regions]* 7 (17) (2), 276–291. (In Russian).
- Pankeeva, T.V., Mironova, N.V., Parkhomenko, A.V., 2021. Landshaftnye issledovaniia pamiatnika prirody “Pribrezhnyi akval’nyi kompleks u mysa Lukull” [Landscape studies of the natural monument “Coastal aquatic complex at Cape Lukull”]. *Trudy Karadagskoi nauchnoi stantsii im. T.I. Vyazemskogo – prirodnogo zapovednika RAN [Proceedings of the Karadag Scientific Station named after T.I. Vyazemsky – Nature Reserve of RAS]* 2 (18), 36–48. (In Russian).
- Prazukin, A.V., Anufrieva, E.V., Shadrin, N.V., 2019. Fotosinteticheskaia aktivnost’ matov nitchatykh vodoroslei gipersolenogo ozera Khersonesskoe (Krym) [Photosynthetic activity of mats of filamentous algae of the hypersaline Lake Chersonese (Crimea)]. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Biologiya i ekologiya [Vestnik of Tver State University. Series: Biology and ecology]* 2 (54), 87–102. (In Russian). <https://doi.org/10.26456/vtbio74>
- Rabotnov, T.A., 1983. *Fitotsenologiya [Phytocenology]*. MGU, Moscow, USSR, 384 p. (In Russian).
- Sadogurskii, S.E., 2009. Makrofitobentos u poberezh’ia botanicheskogo zakaznika “Kanaka” (Chernoe more): sovremennoe sostoianie i puti sokhraneniia [Macrophytobenthos near the coast of the botanical preserve “Kanaka” (Black Sea): current state and ways of conservation]. *Zapovidna sprava v Ukraini [Nature reserves in Ukraine]* 15 (1), 31–38. (In Russian).
- Sadogurskii, S.E., 2014. Sostav i raspredelenie makrofitobentosa u mysa Sviatoi Troitsy (Chernoe more, Krym, Ukraina) [Composition and distribution of macrophytobenthos near the Cape of Saint Trinity (Black Sea, Crimea, Ukraine)]. *Morskoi ekologicheskii zhurnal [Marine Ecological Journal]* 13 (1), 53–62. (In Russian).
- Wells, E., Wilkinson, M., Woodb, P., Scanlan, C., 2007. The use of macroalgal species richness and composition on intertidal rocky seashores in the assessment of ecological quality under the European Water Framework Directive. *Marine Pollution Bulletin* 55, 151–161.
- Witteker, R., 1980. *Soobshchestva i ekosistemy [Communities and ecosystems]*. Progress, Moscow, USSR, 227 p. (In Russian).
- Zhukova, A.A., Minec, M.L., 2019. *Biometriya. Opisatel’naya statistika: uchebnoe posobie. Chast’ 1. [Biometrics. Descriptive statistics: a training manual. Part 1]*. Belarus’ State University, Minsk, Belarus, 100 s. (In Russian).
- Zaitsev, G.N., 1990. *Matematika v eksperimental’noi botanike [Mathematics in experimental botany]*. Nauka, Moscow, USSR, 296 p. (In Russian).
- Zinova, A.D., 1967. *Opredelitel’ zelenykh, burykh i krasnykh vodoroslei iuzhnykh morei SSSR [Identifier of green, brown and red algae of the southern seas of the USSR]*. Nauka. Moscow – Leningrad, 397 p. (In Russian).