

УДК 582.271/275:502.7(262.5)

DOI 10.5281/ZENODO.19654613

ФИТОМАССА МАКРОФИТОБЕНТОСА И ЕЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ В СУБЛИТОРАЛИ НА ЮГО-ЗАПАДЕ И ЮГЕ КРЫМА (ЧЕРНОЕ МОРЕ)

Евстигнеева И. К., Танковская И. Н.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН»,
Севастополь, Россия
E-mail: ikevstigneeva@gmail.com

Проведена оценка уровня фитомассы и ее распределения в бентосе на разных участках юго-запада и юга Крыма. Ключевым продуцентом среди отделов является видовой комплекс Heterokontophyta, среди видов – *Vertebrata subulifera*, *Ericaria crinita*, *Gongolaria barbata*, *Phyllophora crispa*. Показано, что по силе вертикальных и горизонтальных изменений фитомассы видовые комплексы располагаются в последовательности: Chlorophyta>Rhodophyta>Heterokontophyta. В диапазон глубин, оптимальных для функционирования Chlorophyta, входят 0,5 и 1 м, Heterokontophyta – 1–5 м, Rhodophyta – 5 м. Значения индекса Шеннона достигают 1,5–3,5. С учетом индекса Пielу выделены районы и горизонты, где сообщества отличаются «структурным перекосом» видового состава или обладают однородным сложением. Статистически достоверное различие фитомассы между районами отсутствует, а значимая зависимость от глубины чаще характерна Heterokontophyta и фитоценозу, у Rhodophyta она подтверждается реже.

Ключевые слова: Черное море, макроводоросли, фитомасса, пространственное распределение, изменчивость.

ВВЕДЕНИЕ

Фитомасса является опосредованной характеристикой продукционного потенциала как отдельных видов макроводорослей, так и их группировок [1, 2]. Полное представление о морских фитоценозах невозможно без данных о фитомассе и дифференциации видовых комплексов разных отделов по их роли в продукционном процессе. Высказывается мнение, что без таких сведений трудно создать систему критериев выделения морских участков, нуждающихся в защите или разрешенных для хозяйственной эксплуатации без ущерба ресурсному потенциалу [3–5]. Изучение биологической продуктивности фитоценозов, продукции и удельной скорости роста напрямую связаны с определением фитомассы [1, 2, 6]. Следует отметить, что пул литературных источников содержит достаточное количество статей, посвященных результатам изучения состава и структуры черноморского макрофитобентоса (МФБ) и попутно включающих сведения о фитомассе и запасах макрофитов [7–10]. Однако работ, целью которых была бы всесторонняя оценка фитомассы сообщества, отдельных видов и их групп (отделов) в пространственно-временном аспекте, немного. Первые результаты таких исследований на отдельных участках черноморского побережья нами изложены

ранее [11, 12] или находятся в печати. Целью настоящей работы является оценка уровня фитомассы донных сообществ и входящих в них видов и их групп, а также характер и направленность ее изменений в фитальной зоне юго-западного и южного побережья Крыма. Поскольку сформулированная цель не предполагает оценку β -разнообразия МФБ, в дальнейшем используем понятие «фитоценоз» как «...обобщенный фитоценоз, который применяют на первом синтетическом этапе классификации растительности» [13].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Работа основана на анализе проб МФБ, собранных летом 2021 и 2022 годов по геоботанической методике, модифицированной для подводных исследований [14]. Отбор проб проводили методом вертикальных разрезов с применением легководолазного снаряжения и с использованием маломерного судна. Макроводоросли собирали на юго-западе и юге Крыма в акватории мысов Лукулл, Фиолент, Сарыч, у Херсонеса Таврического и в районе скалы Дива и горы Кошка на глубинах 0,5, 1, 3, 5, 10 и 15 м (до нижней границы обитания водорослей). При отборе проб на каждой глубине применяли учетные площадки размером 25 × 25 см в четырехкратной повторности. На рисунке представлены схема расположения, название и нумерация районов исследования (рис. 1).



Рис. 1. Районы исследования: I – мыс Лукулл, II – у Херсонеса Таврического, III – мыс Фиолент, IV – мыс Сарыч, V – у скалы Дива и горы Кошка.

Район I «Мыс Лукулл» расположен в северо-восточной части г. Севастополя. Побережье данной территории представляет зону перехода морфоструктур горной области к морфоструктурам шельфа равнинно-платформенных областей. Здесь сосредоточено нагромождение плит и глыб конгломерата, образующих выступы дна и отдельные банки [15]. Гидролого-гидрохимические исследования прибрежной акватории выявили высокую обеспеченность среды кислородом, низкие значения БПК₅, окисляемости, концентрации минеральных форм азота и фосфора. Содержание биогенов типично для незагрязненных прибрежных вод [16]. Вместе с тем известно, что на побережье от мыса Лукулл до мыса Сарыч функционируют 35 выпусков сточных вод, а расположенные здесь русла рек принимают стоки организованных и неорганизованных источников и даже периодически отличаются высоким уровнем загрязнения металлами и нефтепродуктами [17].

Район II «У Херсонеса Таврического» находится на юго-западе Крыма, между бухтами Песочной и Карантинной. Его береговой зоне характерны известняковые обрывистые склоны с волноприбойными нишами и висячими карнизами, единичными гротами и пещерами. В кутовой части бухты Карантинной находятся аварийные выпуски неочищенных бытовых стоков и вод ливневой канализации. Здесь расположена база военных и гражданских транспортных средств. Величина индекса эвтрофикации E-TRIX (3.66) позволяет отнести качество вод бухты Карантинной к среднему трофическому уровню [18]. В бухте Песочной нет прямых источников загрязнения, здесь функционируют небольшие городские пляжи и курортно-оздоровительный комплекс.

Район III «Мыс 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 [19]. Акватория считается относительно чистой, что обеспечивается сезонными и суточными перемещениями водных масс и сгонно-нагонными явлениями [20]. Однако, на западе акватории располагаются КОС «Южные», на востоке – КОС «Балаклавские». В неблагоприятных условиях (слабые течения и отсутствие стратификации) плюм сточных вод может быть большим и способным к поднятию на поверхность. Периодически у мыса Фиолент значения БПК₅ превышают ПДК [17].

Район IV «Мыс Сарыч» является частью бухты Ласпи. С юга и юго-запада его акватория оконтурена обрывистыми и крутыми клифовыми склонами, которые в крайней восточной части представлены глыбовым навалом известняка [21]. Частые и сильные ветра обеспечивают круглогодичное воздействие волн на берег. Летом температура воды периодически понижается за счет подъема глубинных вод [22]. Бухта длительное время считалась одной из чистых акваторий Севастопольского региона. В настоящее время на ее склонах и у мыса Сарыч развернуто строительство многоэтажных объектов, активизирующее обвально-оползневые процессы, а развитие рекреационной инфраструктуры вызывает увеличение объемов береговых стоков. Сейчас повышение величины БПК₅ можно обнаружить даже на расстоянии от берега [23].

Район У «У скалы Дива и горы Кошка» территориально принадлежит Большой Ялте и располагается вдоль береговой линии Голубого залива и Симеизской бухты, гранича с памятником регионального значения «Гора Кошка», санаториями, пляжной зоной. В западной и центральной части данного района на глубине 0,5–1 м располагается валунно-глыбовый бенч из грубообломочных отложений. Здесь же на глубине 1–5 м, а в восточной части на глубине 0,5–5 м отмечен подводный склон, сложенный глыбовыми навалами. Вдоль прибрежной зоны на глубине 0,5–15 м находится слабонаклонная равнина, образованная гравийно-песчаными с битой ракушей отложениями. Свыше 15 м зарегистрирована такая же равнина, но из песчаных отложений, где бентосные водоросли не произрастают [24]. В прибрежной зоне Голубого залива отсутствуют крупные предприятия. На гидрохимический состав вод залива могут оказывать влияние бытовые стоки очистных сооружений пгт Кацевели, развлекательного комплекса «Аквапарк», а также пгт Симеиз и Алушка. Сток морских вод из «Аквапарка» воздействует на придонное распределение нитратов, а пресные воды реки Лименки – на поверхностное распространение кремнекислоты.

В ходе работ всего было собрано 120 количественных и качественных проб. Камеральная обработка полученного материала проходила в лаборатории, где определяли видовой состав водорослей с применением микроскопа «Армед XS-90» и сырую фитомассу на электронных весах «ВК-600». Идентификацию видового состава водорослей осуществляли по базовому определителю с учетом современных номенклатурных изменений [25, 26]. Для описания структуры МФБ применяли индекс видового разнообразия Шеннона (H), вычисленный по биомассе популяций, составляющих сообщество и индекс Пиелу (E) [27]. По шкале Е. Л. Любарского и с учетом индивидуальной фитомассы видов выделяли группы «абсолютных доминантов», «доминантов», «содоминантов», «второстепенных» и «малозначимых» элементов продукционного процесса [28].

Для оценки пространственной вариабельности фитомассы (по глубинам в каждом районе и между районами, но на каждой глубине в отдельности) вычисляли ее среднее значение с доверительным интервалом и коэффициент вариации (C_v , %) [29]. На основе величины C_v определяли степень изменчивости признака по шкале Г. Н. Зайцева для биологических объектов: «верхне- и нижненормальная», «значительная», «большая», «очень большая», «аномально высокая» [30]. С помощью t-критерия Стьюдента оценивали значимость различий фитомассы на разных глубинах в акваториях обследованных районов [31].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В состав летней макрофлоры бентоса районов исследования входят 114 видов водорослей 71 рода, 40 семейств, 26 порядков, 6 классов отделов Chlorophyta, Heterokontophyta и Rhodophyta [32]. Наибольшим видовым разнообразием среди отделов отличается Rhodophyta, среди порядков, семейств и родов – Ceramiales, Rhodomelaceae, *Ulva* и *Cladophora*. В константное ядро флоры входят такие ключевые ценозообразующие черноморские виды, как *Gongolaria barbata* (Stackh.)

Kuntze, *Ericaria crinita* (Duby) Molinari et Guiry и *Phyllophora crispa* (Huds.) P. S. Dixon.

Установлено, что абсолютная суммарная фитомасса макроводорослей в районах исследований изменяется широко, о чем свидетельствуют размах ее величин (почти $7,5 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2}$) и высокое различие крайних значений. Изменчивость фитомассы, средней для горизонтов фитали в каждом из районов, не столь существенная и, исходя из шкалы Г. Н. Зайцева, находится в пределах «нормальной» и только в районах III и IV приобретает характер «значительных» колебаний. Этот же показатель, но средний для районов, в зоне фитали от 0,5 до 5 м возрастает с увеличением глубины, после 5 м он снижается (рис. 2).

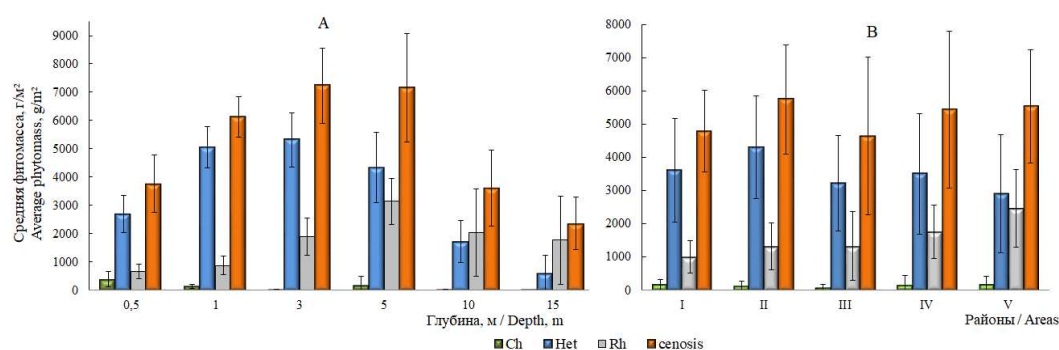


Рис. 2. Изменение средней общей фитомассы водорослей по глубинам (А) в разных районах (В).

О том, насколько фитомасса – вариативный признак, можно судить и по параметрам ее изменчивости у таких групп видов, как отделы. В них входят виды, объединенные общим строением, составом и своими особенностями развития, что не может не сказаться на разнице в объемах продуцируемой фитомассы и на характере ее изменчивости у разных отделов. Так, общая фитомасса видов Chlorophyta (Ch) в районах и на разных горизонтах фитали изменяется от 0,001 до $851,0 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$. Весомое различие крайних значений показателя, доверительный интервал, нередко превышающий среднее значение фитомассы, аномально высокий уровень коэффициента вариации как в разных районах, так и на разной глубине свидетельствуют о повышенной изменчивости признака. Абсолютная фитомасса видов зеленых водорослей примерно одинаковая ($163\text{--}169 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$) и только в акватории районов II и III она ниже в 1,4–2 раза. Исходя из уровня фитомассы, наиболее благоприятными для функционирования видов данного отдела являются условия на горизонтах 0,5 и 1 м и более критичными – на 10 и особенно на 15 м. Этому есть объяснение, базирующееся на классическом представлении о зависимости фотопигментного аппарата, в частности, зеленых водорослей, от длины световых волн. При прохождении через воду свет красной и синей областей спектра поглощается и на глубину проникает зеленый свет, слабо воспринимаемый хлорофиллом [33]. Поэтому в приповерхностных слоях, как правило, преобладают

зеленые водоросли, а глубже – бурые и красные, содержащие фотопигменты, способствующие использованию энергии зеленого света. На долю фитомассы зеленых водорослей приходится всего 2–3 % от фитомассы фитоценона в каждом районе и на разной глубине в отдельности. Высокие объемы фитомассы Ch, зафиксированные на 0,5 м в районе IY и на 5 м в районе Y, обеспечены прежде всего за счет *Ulva rigida* C. Agardh и *Bryopsis hypnoides* J. V. Lamour., выполняющих в этих условиях роль «содоминантов».

Общая фитомасса видового комплекса Heterokontophyta (Het) варьирует так же значительно, как у Ch и даже при больших крайних значениях и их размахе. По объему своей фитомассы бурые водоросли доминируют на каждой глубине, кроме 10 и 15 м. В зоне фитали, ограниченной глубинными горизонтами 0,5 и 5 м, вклад фитомассы Het составляет 50–82 % от фитомассы всех видов. В этой части фитальной зоны в каждом районе *Ericaria crinita* (Duby) Molinari et Guiry и *Gongolaria barbata* (Stackh.) Kuntze выступают в роли «доминанта» и «абсолютного доминанта» по классификации Е. Л. Любарского. На остальных участках эти виды функционируют в качестве «содоминантов». На больших глубинах, где господствуют красные водоросли, на долю Het приходится от четверти до трети фитомассы всего фитоценона. Средняя для районов фитомасса бурых водорослей с изменением глубины от 0,5 до 3 м постепенно увеличивается, а после 3 м – уменьшается. До 10–15 м вариации фитомассы имеют характер «нормальных», глубже они становятся «значительными» или «очень большими». Известно, что рост и продуктивность макрофитов, как фотосинтезирующих организмов, на больших глубинах особенно зависят от проникающего сюда света. Его доступность определяется особенностями сезона, прозрачностью воды, ухудшающейся в связи с дноуглубительными работами, речными шлейфами, а также вследствие «цветения» быстрорастущих автотрофов [34–37].

Фитомасса Het, средняя для всей фитали каждого из районов в отдельности, изменяется с размахом, в 3,4 раза меньшим, чем размах фитомассы, средней для всех районов в пределах одной и той же глубины. Большей частью такие изменения превышают «нормальные», установленные в соответствии со шкалой Г. Н. Зайцева. Отмечено снижение вклада бурых водорослей в общую среднюю фитомассу с 75 до 52 % по направлению от юго-западных районов к южному. Наиболее оптимальным для произрастания бурых водорослей является диапазон глубин от 1 до 5 м и среди обследованных участков – район II.

Фитомасса Rhodophyta (Rh), подобно таковой у Ch и Het, относится к не менее вариативным признакам, крайние параметры которого различаются во много раз (267–4711 г·м⁻²). Вторая позиция видового комплекса красных водорослей в структуре донных сообществ и переход его представителей в разряд ключевых продуцентов, опережая Het на самых нижних горизонтах, иллюстрирует важность их функциональной роли. На долю Rh приходится от 14 до 74 % от биомассы фитоценона, средней для районов и глубин. Средняя для районов и глубин абсолютная фитомасса красных водорослей возрастает в направлении от юго-западных участков (I – IY) к южному (Y).

Вертикальное распределение фитомассы красных водорослей (по горизонтам в каждом районе) сопровождается многократным увеличением ее с возрастанием глубины от 0,5 до 5 м и последующим понижением показателя на 10 и 15 м. Среди красных водорослей по участию в процессе формирования фитомассы особенно выделяется ценозообразующая *Phyllophora crispa* (Huds.) P. S. Dixon. Наиболее приемлемыми для успешного функционирования красных водорослей являются условия на глубине 5 м, а среди районов – района Y.

Одной из оценок степени изменчивости по отношению к среднему показателю выборки является коэффициент вариации C_v . Установлено, что в нашем случае самым высоким уровнем C_v обладает фитомасса зеленых водорослей. На всех глубинных горизонтах, но в разных районах, выборка данных по абсолютной фитомассе видového комплекса Ch является самой неоднородной вообще и особенно на глубине от 3 до 15 м. Это является подтверждением классических представлений о распределении МФБ по глубине [38], в соответствии с которыми условия, складывающиеся на глубине 3 м и более, для развития зеленых водорослей не могут считаться благоприятными. Второе место по величине C_v чаще всего занимают виды Rh, третье – Het. Получается, что изменчивость фитомассы особенно велика у отдела с невысоким продукционным потенциалом или его реализация ограничена узким диапазоном глубин. И, наоборот, видовой комплекс Het как ключевой продуцент характеризуется однородностью пространственного распределения своей фитомассы, при этом ее изменения у видového комплекса отдела и фитоценона в большей части фитали вполне логично носят идентичный характер и только после глубины 10 м они становятся разнонаправленными (рис. 2). Не вдаваясь в подробности идентификации фитоценозов, можно предположить, что исследователь сталкивается с разными сообществами: в первом случае (глубины до 10 м) с гонголаријево-эрикариевым, а во втором (ниже 10 м) – с филлофоровым. Для Het, Rh и в меньшей степени для сообществ в целом характерны высокие значения C_v на больших глубинах, у Ch они превышают 100 % в фитоценоне, начиная с 3 м. Таким образом, по силе батиметрических (по глубинам) изменений фитомассы видовые комплексы разных отделов и фитоценон располагаются в следующей последовательности: Ch>Rh>Het>фитоценон.

Анализ матрицы значений C_v фитомассы отделов показывает превосходство Ch по силе ее вертикальных вариаций в каждом районе и частое расположение Rh и Het на втором и третьем местах, соответственно (рис. 3).

Максимум C_v фитомассы разных комплексов видов разнесен в пространстве следующим образом: у Ch он приурочен к району IV, у Het – к району Y, у Rh и ценона – к району III.

Применение шкалы Г. Н. Зайцева позволяет дать качественную оценку изменчивости абсолютной фитомассы ценона с его комплексами видов зеленых, бурых и красных водорослей. Полученные данные свидетельствуют о повсеместно повышенной изменчивости суммарной фитомассы представителей Ch, у Het и Rh это тоже проявляется, но лишь на нижней границе распространения бентосных водорослей (10 и 15 м) в районах исследований. Для общей фитомассы видов Ch характерны типы батиметрической изменчивости, значительно выходящие за

пределы «нормы» («большой» и «аномально высокий» типы), у остальных видов изменения в пространстве, за исключением глубины 10 и 15 м, осуществляются по «нижне- и «верхненормальному» подтипам.

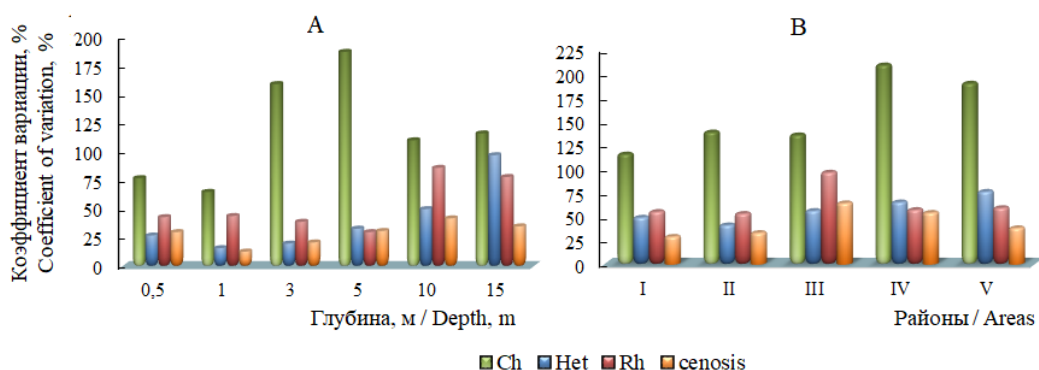


Рис. 3. Коэффициент вариации фитомассы водорослей на разных глубинах (А) и в районах (В).

К важным и наиболее применяемым инструментам оценки биоразнообразия сообщества относится индекс Шеннона [39]. Он отражает сложность структуры, основываясь на количественной представленности видов, например, биомассы их популяций [40]. Типичные значения индекса в большинстве исследований находятся в диапазоне от 1,5 до 3,5, редко превышая 4,0. Наши расчеты показывают, что основная часть полученных данных укладывается в указанный диапазон (рис. 4).

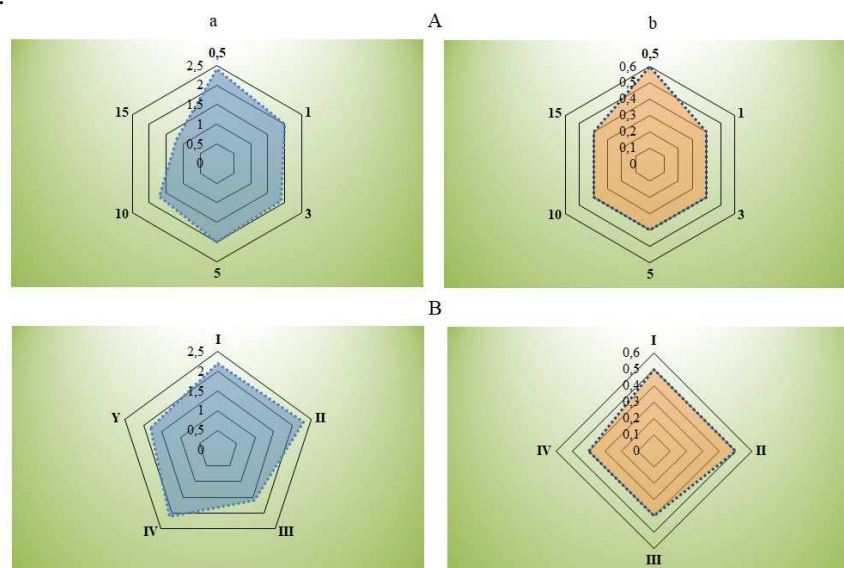


Рис. 4. Изменение значений индексов Шеннона (а) и Пиелу (б) на разных глубинах (А) и в районах (В).

При этом отмечено некоторое превышение значения 4,0 в сообществе на глубине 0,5 м в районе IV и отклонение от величины 1,5 в сторону уменьшения на глубине 10 и 15 м, где в одних районах (I и II) водоросли отсутствовали, по крайней мере, в измеряемых количествах, а в других (III и V) – сообщества отличались не только небольшим количеством видов, но и преимущественным развитием одного из них. Следовательно, индекс служит не только оценке видового разнообразия, но и характеризует особенности распределения фитомассы между участниками продукционного процесса и тем самым позволяет описать разнообразие содоминантов. Средние для районов на каждом из горизонтов значения индекса Шеннона в большей части фитали примерно одинаковые и лишь на больших глубинах зафиксировано их понижение. Очевидно, в формирующихся на больших глубинах сообществах, а в Черном море они большей частью принадлежат филлофоровой ассоциации, большинство и так немногочисленных видов не способно проявлять устойчивость к воздействию разных, в том числе негативных, факторов. Сильно выраженное доминирование по фитомассе одного – двух видов характеризует высокий уровень их адаптации к режиму освещенности, прозрачности, характеру грунтов и гидродинамическим характеристикам на II этаже горизонта фотофильной растительности. Такие сообщества мы причисляем к монодоминантным. Наши наблюдения показывают, что на глубину 10–15 м из Ch способны проникать лишь немногие виды, но зато более часты находки бурых и красных водорослей, что вновь хорошо иллюстрирует выводы А. А. Калугиной-Гутник [38] об особенностях вертикального распределения видов из разных отделов в Черном море. Среднее для глубин в каждом районе значение индекса H также примерно одинаковое, за исключением небольшого понижения в районе III. Колебания значений индекса между районами и по глубине являются «нормальными» по шкале Г. Н. Зайцева.

На основе индекса Шеннона рассчитан индекс Пиелу, по которому можно судить о степени выравненности видовой структуры донных сообществ по уровню фитомассы. На юго-западе и юге Крымского побережья его значения варьируют в широких пределах (0,1–1,0) (рис. 4). Самый низкий индекс Пиелу присущ фитоценону на глубине 3 м района IV. Он характеризует низкую выравненность видов в сообществе, то есть отображает существенное преобладание некоторых видов, очевидно, с высокими адаптационными способностями. В состав сообщества на глубине 3 м района IV входит «абсолютный» доминант *E. crinita* с большой долей участия в продукционном процессе (68 %) В этом же районе, но на глубине 0,5 м, подобный «структурный перекос» отсутствует. Здесь нет «абсолютных» доминантов, доля «доминанта» (45 %) не столь значительная, а оставшаяся часть фитомассы равномерно распределена между «содоминантами» и «второстепенными» видами (27 и 25 %), выделенными на основе шкалы Е. Л. Любарского. Наиболее высокий индекс Пиелу, средний для всех районов на каждой из глубин, отмечен у фитоценона на 0,5 м, в остальных случаях он примерно одинаково ниже. Совсем незначительно отличается величина индекса, средняя для всей фитали в каждом районе и, за исключением района IV, свидетельствует об

однородном сложении сообщества, при котором обилие всех видов примерно равное (0,6–0,7).

С помощью t-критерия Стьюдента оценили значимость различий фитомассы отделов и всего сообщества на разных глубинах в акватории каждого из пяти районов (уровень значимости $L=0,05$). Установлено, что область достоверности различий суммарной фитомассы видов Ch приходится на глубины 0,5 м и 1 м при сравнении ее с фитомассой на 3, 10 и 15 м, а также на глубинах 3 и 5 м (табл. 1). Статистически значимая зависимость анализируемой характеристики от глубины в большинстве случаев характерна Het и ценозу, у Rh она подтверждается реже.

Таблица 1

Статистическая оценка различий в выборке данных по фитомассе на разных глубинах

Глубина, м	Chlorophyta				Heterokontophyta				Rhodophyta				Ценоз			
	$t_{\text{эксп}}$	p	Гипотеза	$t_{\text{кр.}}$	$t_{\text{эксп}}$	p	Гипотеза	$t_{\text{кр.}}$	$t_{\text{эксп}}$	p	Гипотеза	$t_{\text{кр.}}$	$t_{\text{эксп}}$	p	Гипотеза	$t_{\text{кр.}}$
0,5–1	1,76	0,12	H_0	2,31	4,47	0,003	H_1	2,31	0,83	0,43	H_0	2,31	3,72	0,01	H_1	2,31
0,5–3	2,65	0,03	H_1	2,31	4,01	0,005	H_1	2,31	3,02	0,02	H_1	2,31	2,15	0,07	H_0	2,31
0,5–5	1,45	0,19	H_0	2,31	2,04	0,08	H_0	2,31	5,05	0,00	H_1	2,31	3,06	0,02	H_1	2,31
0,5–10	2,71	0,30	H_1	2,36	1,71	0,13	H_0	2,31	1,52	0,17	H_0	2,31	0,18	0,86	H_0	2,31
0,5–15	2,81	0,05	H_1	2,57	4,79	0,005	H_1	2,45	4,43	0,01	H_1	2,45	2,58	0,05	H_1	2,45
1–3	3,01	0,02	H_1	2,31	0,39	0,71	H_0	2,31	2,4	0,05	H_1	2,31	1,42	0,20	H_0	2,31
1–5	1,18	0,28	H_0	2,31	0,89	0,40	H_0	2,31	4,48	0,003	H_1	2,31	0,98	0,36	H_0	2,31
1–10	3,32	0,02	H_1	2,36	5,81	7×10^{-4}	H_1	2,31	1,28	0,24	H_0	2,31	3,23	0,01	H_1	2,31
1–15	3,75	0,02	H_1	2,57	9,98	2×10^{-4}	H_1	2,45	3,21	0,02	H_1	2,45	9,20	2×10^{-4}	H_1	2,45
3–5	6,92	2×10^{-4}	H_1	2,31	1,1	0,31	H_0	2,31	2,1	0,07	H_0	2,31	0,07	0,95	H_0	2,31
3–10	0,39	0,71	H_0	2,36	5,2	0,001	H_1	2,31	0,15	0,89	H_0	2,31	3,74	0,01	H_1	2,31
3–15	1,4	0,23	H_0	2,57	8,01	5×10^{-4}	H_1	2,45	0,29	0,79	H_0	2,45	6,90	0,001	H_1	2,45
5–10	8,22	2×10^{-4}	H_1	2,36	3,13	0,02	H_1	2,31	1,12	0,30	H_0	2,31	2,96	0,02	H_1	2,31
5–15	9,40	0,002	H_1	2,57	4,97	0,04	H_1	2,45	2,71	0,04	H_0	2,45	4,82	0,01	H_1	2,45
10–15	1,86	0,16	H_0	2,78	2,31	0,07	H_0	2,45	0,29	0,78	H_0	2,45	1,77	0,14	H_0	2,45

Статистически достоверное различие фитомассы видовых комплексов зеленых, бурых и красных водорослей и сообщества в целом между районами отсутствует (табл. 2).

Полученные данные подкрепляют вывод о том, что вертикальная (по глубинам в каждом отдельно взятом районе) изменчивость анализируемого показателя, по сравнению с горизонтальной (между районами в пределах одного и того же горизонта), осуществляется интенсивнее.

Таблица 2

Статистическая оценка различий в выборке данных по фитомассе в разных районах

Районы	Chlorophyta				Heterokontophyta				Rhodophyta				Ценоз			
	t _{эксп}	p	гипотеза	t _{кр.}	t _{эксп}	p	гипотеза	t _{кр.}	t _{эксп}	p	гипотеза	t _{кр.}	t _{эксп}	p	гипотеза	t _{кр.}
I-II	0,41	0,70	H ₀	2,31	0,61	0,56	H ₀	2,31	0,68	0,52	H ₀	2,31	0,90	0,40	H ₀	2,31
I-III	0,84	0,43	H ₀	2,37	0,36	0,73	H ₀	2,26	0,64	0,54	H ₀	2,31	0,11	0,92	H ₀	2,26
I-IV	0,02	0,99	H ₀	2,26	0,10	0,93	H ₀	2,26	1,55	0,16	H ₀	2,26	0,48	0,65	H ₀	2,26
I-V	0,02	0,98	H ₀	2,26	0,57	0,58	H ₀	2,26	2,24	0,06	H ₀	2,26	0,70	0,50	H ₀	2,26
II-III	0,43	0,68	H ₀	2,37	0,90	0,39	H ₀	2,26	0,22	0,83	H ₀	2,26	0,74	0,48	H ₀	2,26
II-IV	0,28	0,79	H ₀	2,26	0,66	0,53	H ₀	2,26	0,48	0,64	H ₀	2,26	0,21	0,84	H ₀	2,26
II-V	0,33	0,75	H ₀	2,26	1,14	0,29	H ₀	2,26	1,35	0,22	H ₀	2,26	0,16	0,87	H ₀	2,26
III-IV	0,56	0,60	H ₀	2,31	0,25	0,81	H ₀	2,23	0,65	0,53	H ₀	2,23	0,46	0,65	H ₀	2,23
III-V	0,63	0,55	H ₀	2,31	0,26	0,80	H ₀	2,23	1,43	0,19	H ₀	2,23	0,60	0,56	H ₀	2,23
IV-V	0,03	0,97	H ₀	2,23	0,46	0,66	H ₀	2,23	0,97	0,36	H ₀	2,23	0,07	0,94	H ₀	2,23

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основе результатов гидробиотических исследований дана количественная оценка фитомассы макрофитобентоса и определена роль отделов в ее формировании на разных участках Крымского побережья.
2. В исследованной акватории ключевым компонентом процесса образования фитомассы является видовой комплекс Heterokontophyta, вторая и третья позиция у Rhodophyta и Chlorophyta. К видам высоких категорий доминирования, выделенных на основе шкалы Е. Л. Любарского, относятся *Vertebrata subulifera*, *Ericaria crinita*, *Gongolaria barbata*, *Phyllophora crispa*.
3. Фитомасса водорослей в каждом районе колеблется широко с минимумом на больших глубинах и максимумом, проявляющимся в остальной части фитали.
4. Изменчивость фитомассы наиболее велика у видовых комплексов тех отделов, у которых она низкая (Chlorophyta). Для Heterokontophyta как ключевого участника процесса формирования фитомассы характерна однородность пространственного распределения.
5. По силе вертикальных (по глубине в каждом районе) и горизонтальных (между районами на каждом горизонте в отдельности) изменений фитомассы видовые комплексы отделов располагаются в последовательности: Ch>Rh>Het.
6. Для фитомассы Chlorophyta характерны «большой» и «аномально высокий» типы батиметрической изменчивости, у других отделов изменения в пространстве, исключая глубины 10 и 15 м, осуществляются по «нижне»- и «верхненормальному» подтипам.
7. В диапазон глубин, оптимальных для функционирования видов Chlorophyta входят 0,5 и 1 м, Heterokontophyta – 1–5 м, Rhodophyta – 5 м, что, в целом,

свидетельствует о сохранении и в настоящее время классической закономерности распределении макрофитобентоса по глубине.

8. К участкам побережья с высоким количественным развитием Chlorophyta относится подавляющее большинство районов, тогда как ареал доминирования Heterokontophyta ограничивается границами района II (Херсонес Таврический), а Rhodophyta – района У (у скалы Дива и горы Кошка).
9. Основная часть значений индекса Шеннона укладывается в диапазон (от 1,5 до 3,5), типичный для большинства экосистем. С учетом индекса Пиелу выделены районы и горизонты, где сообщества отличаются структурным «перекосом» видового состава или их сложение близко к однородному.
10. Статистически достоверное различие фитомассы между районами отсутствует, а ее значимая зависимость от глубины в большинстве случаев характерна Нет и ценону, у Rh – она подтверждается реже.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН (проект № 124022400152-1).

Список литературы

1. Работнов Т. А. Фитоценология / Т. А. Работнов – Москва: МГУ, 1983. – 384 с.
2. Папченков В. Г. Продукция макрофитов вод и методы ее изучения / В. Г. Папченков // Материалы школы по гидробиологии «Гидробиология: методология, методы». – 2003. – Борок, Россия – С. 137–145.
3. Darbyshire I. Important Plant Areas: revised selection criteria for a global approach to plant conservation / I. Darbyshire, S. Anderson, A. Asatryan, A. Byfield et al. // Biodiversity and Conservation. – 2017. – Vol. 26(8). – P. 1767–1800. <https://doi.org/10.1007/s10531-017-1336-6>
4. Edgar G. J. Key biodiversity areas as globally significant target sites for the conservation of marine biological diversity / G. J. Edgar, P. F. Langhammer et al. // Aquatic conservation. – 2008. – Vol. 18(6). – P. 969–983.
5. Heino J. Are indicator groups and cross-taxon congruence useful for predicting biodiversity in aquatic ecosystems? / J. Heino // Ecological Indicators. – 2010. – Vol. 10(2). – P. 112–117. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2009.04.013>
6. Силкин В. А. Продуктивность двух морфологических форм Laurencia papillosa (Forsk.) Grev. в условиях культуры / В. А. Силкин, И. К. Евстигнеева // Альгология. – 2005. – 15 (2) – С. 245–253.
7. Мильчакова Н. А. Состояние ключевых фитоценозов морских охраняемых акваторий и проблемы их сохранения (юго-западный Крым, Черное море) / Н. А. Мильчакова, В. В. Александров, В. Г. Рябогина // Сборник научных трудов Государственного Никитского ботанического сада. – 2019. – 149. – С. 113–123. <https://doi.org/10.36305/0201-7997-2019-149-113-123>
8. Садогурский С. Е. К изучению фитобентоса заповедной акватории у мыса Мартыан (Южный берег Крыма, Чёрное море) / С. Е. Садогурский, Т. В. Белич, С. А. Садогурская // Экосистемы. – 2019. – 19(49). – С. 27–37.
9. Миронова Н. В. Запасы макрофитобентоса охраняемых акваторий города Севастополя / Н. В. Миронова, Т. В. Панкеева // Трансформация экосистем. – 2024. – 7(2). – С. 160–175. <https://doi.org/10.23859/estr-221122>
10. Евстигнеева И. К. Фитомасса и доминантный комплекс бентосных продуцентов гидрологического памятника природы «Прибрежный аквальный комплекс у мыса Сарыч» (Черное море) / И. К. Евстигнеева, И. Н. Танковская // Трансформация экосистем. – 2025а. – 8(1). – С. 185–200. <https://doi.org/10.23859/estr-230620>

11. Евстигнеева И. К. Состав и биомасса макрофитобентоса памятника природы «Прибрежный аквальный комплекс у мыса Фиолент» (Черное море) / И. К. Евстигнеева, И. Н. Танковская // Экосистемы. – 2023а. – 36. – С. 75–86. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10374113>
12. Евстигнеева И. К. Биомасса макрофитобентоса и ее распределение вдоль западного берега Крымского полуострова (Черное море) / И. К. Евстигнеева, И. Н. Танковская // Российский журнал прикладной экологии. – 2023б. – 1. – С. 28–37. <https://doi.org/10.24852/2411-7374.2023.1.28.37>
13. Миркин Б. М. Словарь понятий и терминов современной фитоценологии / Б. М. Миркин, Г. С. Розенберг, Л. Г. Наумова – М.: Наука, 1989. – 223 с.
14. Калугина А. А. Исследование донной растительности Черного моря с применением легководолазной техники / А. А. Калугина // Морские подводные исследования. – М., 1969. – С. 105–113.
15. Панкеева Т. В. Ландшафтные исследования памятника природы «Прибрежный аквальный комплекс у мыса Лукулл» / Т. В. Панкеева, Н. В. Миронова, А. В. Пархоменко // Труды Карадагской научной станции им. Т. И. Вяземского – природного заповедника РАН. – 2021. – № 2(18). – С. 36–48.
16. Рябушко В. И. Комплексные исследования экологического состояния прибрежной акватории Севастополя (Западный Крым, Черное море) / В. И. Рябушко, С. В. Щуров, Н. П. Ковригина, Е. В. Лисицкая, Н. В. Поспелова // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. – 2020. – № 1. – С. 103–118. DOI: 10.22449/2413-5577-2020-1-103-118
17. Грузинов В. М. Источники загрязнения прибрежных вод Севастопольского района / В. М. Грузинов, Н. Н. Дьяков, И. В. Мезенцева, Ю. А. Мальченко, Н. В. Жохова, А. Н. Корщенко // Океанология. – 2019. – 59(4). – С. 579–590. <https://doi.org/10.31857/S0030-1574594579-590>
18. Андреева Н. А. Сукцессия таксоценов морских микроводорослей при длительном лабораторном культивировании / Н. А. Андреева, Н. И. Копытина // Системы контроля окружающей среды. – 2018. – Вып. 11, № 31. – С. 95–100.
19. Игнатов Е. И. Береговые морфосистемы Крыма / Е. И. Игнатов, М. С. Орлова, А. Ю. Санин. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2014. – 267 с.
20. Дьяков Н. Н. Гидролого-гидрохимические характеристики прибрежных вод Крыма и необходимые мероприятия по снижению уровня загрязнения рекреационных зон / Н. Н. Дьяков, Ю. А. Мальченко, А. Е. Липченко, С. А. Боброва, Т. Ю. Тимошенко // Тр. ГОИН. – 2020. – № 221. – С. 163–194.
21. Особо охраняемые природные территории Севастополя / Под редакцией д.б.н. проф. Голубевой Е. И., д.г.н. проф. Позаченюк Е. А. – Симферополь, ИТ АРИАЛ, 2020. – С. 102–107.
22. Агаркова-Лях И. В. Условия развития и активность экзогенных геологических процессов на берегах Юго-Западного Крыма от мыса Айя до мыса Сарыч / И. В. Агаркова-Лях., А. М. Лях // Изв. Саратов. ун-та. Новая серия. Серия Науки о Земле. – 2020. – Т. 20, вып. 2. – С. 76–85.
23. Заскоков Г. Ласпи, Коктебель и Большая Ялта лидируют по сливу неочищенных канализационных стоков в море / Г. Заскоков // Новый день. – 2017. URL: <https://newdaynews.ru/crimea/615881.html>
24. Панкеева Т. В. Ландшафтная структура памятника природы «Прибрежный аквальный комплекс у скалы Дива и горы Кошка» (Черное море) / Т. В. Панкеева, Н. В. Миронова // Геополитика и экогеодинамика регионов. – 2024. – Т. 20, Вып. 1. – С. 190–201.
25. Зинова А. Д. Определитель зеленых, бурых и красных водорослей южных морей СССР / Зинова А. Д. – М. – Л.: Наука, 1967. – 397 с.
26. Guiry M. D. AlgaeBase. Worldwide electronic publication / M. D. Guiry, G. M. Guiry. – Galway: Nat. Univ. Ireland. 2022. URL: <http://www.algaebase.org> (accessed 22.08.2025).
27. Розенберг Г. С. Информационный индекс и разнообразие: Больцман, Котельников, Шеннон, Уивер... / Г. С. Розенберг // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. – 2010. – 19(2). – С. 4–25.
28. Баканов А. И. Количественная оценка доминирования в экологических сообществах / А. И. Баканов / В: Розенберг, Г. С. (ред.). Количественные методы экологии и гидробиологии. – СамНЦ РАН, Тольятти, 2005. – С. 37–48.
29. Жукова А. А. Биометрия. Описательная статистика: учебное пособие / А. А. Жукова, М. Л. Минец – Ч. 1. БГУ, Минск, Беларусь, 2019. – 100 с.
30. Зайцев Г. Н. Математика в экспериментальной ботанике / Г. Н. Зайцев – М.: Наука, 1990. – 96 с.

31. Боровиков В. П. Популярное введение в современный анализ данных в системе STATISTICA. Методология и технология современного анализа данных / В. П. Боровиков – Учебное пособие., Горячая линия-Телеком, М., 2018. – 288 с.
32. Евстигнеева И. К. Состав и структура бентосной макрофлоры охраняемых акваторий (Крым, Чёрное море) / И. К. Евстигнеева, И. Н. Танковская // Фиторазнообразие Восточной Европы. – 2025б. – Т. 19, № 3. – С. 76–93. <https://doi.org/10.24412/2072-8816-2025-19-3-76-93>
33. Камнев А. Н. Экологическая физиология водных фототрофных организмов. Часть 1. Водные окислительные фототрофы / А. Н. Камнев // Вопросы современной альгологии. – 2013. – № 1 (3). URL: <http://algology.ru/93>
34. Brun I. Assessing the toxicity of ammonium pulses to the survival and growth of *Zostera noltii* / I. Brun, I. Hernández, J. J. Vergara, J. Peralta, J. L. Pérez-Lloréns // Marine Ecology Progress. – 2002. – Ser. 225. – P. 177–187.
35. Erftemeijer P. L. Environmental impacts of dredging on seagrasses: a review / P. L. Erftemeijer, R. R. Lewis // Marine Pollution Bulletin. – 2006. – 52(12). – P. 1553–72. doi: 10.1016/j.marpolbul.2006.09.006.
36. Egea L. G. Coupling carbon metabolism and dissolved organic carbon fluxes in benthic and pelagic coastal communities / L. G. Egea, C. Barrón, R. I. Jiménez-Ramos, I. Hernández., J. J. Vergara, J. L. Pérez-Lloréns, F. G. Brun. // Estuarine, Coastal and Shelf Science. – 2019. – 227. – 106336 p. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.106336>
37. Jiménez-Ramos R. I. Resistance and recovery of benthic marine macrophyte communities to light reduction: Insights from carbon metabolism and dissolved organic carbon (DOC) fluxes, and implications for resilience / R. I. Jiménez-Ramos, F. G. Brun, J. L. Pérez-Lloréns, J. J. Vergara, F. Delgado-Cabezas, N. Sena-Soria, L. Egea // Marine Pollution Bulletin. – 2023. – 188. – 114630 p. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.114630>
38. Калугина-Гутник А. А. Фитобентос Черного моря / А. А. Калугина-Гутник. – Киев: Наукова думка, 1975. – 248 с.
39. Денисенко С. Г. Информационная мера Шеннона и ее применение в оценках биоразнообразия (на примере морского зообентоса) / С. Г. Денисенко // Морские беспозвоночные Арктики, Антарктики и Субантарктики. Сер. Исследования фауны морей. – 2006. – СПб. – 56(64). – С. 35–46.
40. Wilhm I. Use of biomass units in Shannon's formula / I. Wilhm // Ecology. – 1968. – 49(1). – P. 153–156.

MACROPHYTOBENTHOS PHYTOMASS AND ITS DISTRIBUTION IN THE SUBLITTORAL IN THE SOUTHWEST AND SOUTH CRIMEA (BLACK SEA)

Evstigneeva I. K., Tankovskaya I. N.

*Institute of biology of the southern seas of RAS, Sevastopol, Russia
E-mail: ikevstigneeva@gmail.com*

Phytomass is an important characteristic of the productive potential of both individual macroalgae species and their groupings. A complete picture of marine phytocenoses is impossible without data on phytomass and differentiation of species complexes of different divisions according to their role in the production process. Hence, the purpose of this work was to assess the level of phytomass of benthic communities and their species and their groups, as well as the nature and direction of its changes in phytal five areas in the south-west and south of the Crimean coast. Based on the results of hydrobotanical studies, the level of phytomass of benthic phytocenoses and their constituent species was estimated, and the nature and direction of its changes in the summer period of 2021–2022

was determined. In the studied water area there are 114 species of algae of 71 genera, 40 families, 26 orders, 6 classes of 3 divisions, among which the key participant of the phytomass formation process is the species complex Heterokontophyta, the second and third positions are occupied by Rhodophyta and Chlorophyta. Species of high dominance categories (absolute dominants and dominants), identified on the basis of the E. L. Lubarsky scale, include *Vertebrata subulifera*, *Ericaria crinita*, *Gongolaria barbata*, *Phyllophora crispa*. The phytomass of algae in the study areas fluctuates widely with a minimum at greater depths and a maximum confined to different horizons in the rest of the phytale. Heterokontophyta phytomass is characterized by homogeneous distribution in space. High values of phytomass variation coefficient are characteristic of Heterokontophyta, Rhodophyta at greater depths, in Chlorophyta they exceed 100 % in the community starting from 3 m horizon. According to the strength of vertical (by depth in each area) and horizontal (between areas at each horizon) changes in phytomass, the species complexes of departments are arranged in the sequence: Ch>Rh>Het. The phytomass of Chlorophyta is characterized by “large” and “abnormally high” types of variability, while in other divisions changes in space, excluding depths of 10 and 15 m, are carried out according to ‘lower’ and “upper-normal” subtypes. The range of depths optimal for the functioning of Chlorophyta species includes 0,5 and 1 m, Heterokontophyta – 1–5 m, Rhodophyta – 5 m, which indicates that the classical pattern of macrophytobenthos distribution by depth is currently preserved due to the absence of negative changes in the phytale of the studied areas. The coastal areas with high quantitative development of Chlorophyta include the overwhelming majority of areas, while the area of dominance of Heterokontophyta is limited by the boundaries of the area near Chersonesos Tavrichesky, and Rhodophyta – by the area near Diva Rock and Mount Koshka. Most of the Shannon index values are in the range (1,5–3,5) typical for most ecosystems. Based on the Pielu index values (0,1–1,0), areas and horizons where communities are characterized by structural “skewness” or their composition by phytomass level is homogeneous were identified. There is no statistically reliable difference in phytomass between the areas, and its significant dependence on depth is characteristic of Het and phytocenon in most cases, while in Rh it is confirmed less frequently.

Keywords: Black Sea, macroalgae, phytomass, spatial distribution, variability.

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. 124022400152-1).

References

1. Rabotnov T. A. *Phytocenology*, (Moscow: Moscow State University, 1983), 384 p.
2. Papchenkov V. G. Macrophyte production of waters and methods of its study. *Proceedings of the school on hydrobotany "Hydrobotany: Methodology, methods"*, Borok, 137 (2003).
3. Darbyshire I., Anderson S., Asatryan A., Byfield A., Cheek M., Clubbe C., Ghrabi Z., Harris T., Heatubun C. D., Kalema J., Magassouba S., McCarthy B., Milliken W., de Montmollin B., Lughadha E. N., Onana J-M., Saïdou D., Sârbu A., Shrestha K., Radford E.A. Important Plant Areas: revised selection

- criteria for a global approach to plant conservation, *Biodiversity and Conservation*, **26**(8), 1767 (2017). <https://doi.org/10.1007/s10531-017-1336-6>
4. Edgar G. J., Langhammer P. F., Allen G., Brooks T. M., Brodie J., Crosse W., Da Silva N., Fishpool L. D. C., Foster M. N., Knox D. H., McCosker J. E., McManus R., Miller A. J. K., Mugo R. Key biodiversity areas as globally significant target sites for the conservation of marine biological diversity, *Aquatic conservation*, **18**(6), 969 (2008).
5. Heino J. Are indicator groups and cross-taxon congruence useful for predicting biodiversity in aquatic ecosystems? *Ecological Indicators*, **10**(2), 112 (2010). <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2009.04.013>
6. Silkin V. A., Evstigneeva I. K. Productivity of two morphological forms of *Laurencia papillosa* (Forsk.) Grev. under culture conditions, *Algologia*, **15**(2), 245 (2005).
7. Mil'chakova N. A., Aleksandrov V. V., Ryabogina V. G. The state of key phytocenoses of marine protected waters and problems of their conservation (southwestern Crimea, Black Sea), *Collection of scientific papers of the State Nikitsky Botanical Garden*, **149**, 113 (2019). <https://doi.org/10.36305/0201-7997-2019-149-113-123>
8. Sadogurskij S. E., Belich T. V., Sadogurskaya S. A., 2019. To study the phytobenthos of the protected water area near Cape Martyan (South Coast of Crimea, Black Sea), *Ecosystems*, **19**(49), 27 (2019).
9. Mironova N. V., Pankeeva T. V. Macrophytobenthos reserves of protected water areas of the city of Sevastopol, *Transformation of ecosystems*, **7**(2), 160 (2024). <https://doi.org/10.23859/estr-221122>
10. Evstigneeva I. K., Tankovskaya I. N. Phytomass and dominant complex of benthic producers of the hydrological natural monument "Coastal aquatic complex near Cape Sarych" (Black Sea), *Transformation of ecosystems*, **8**(1), 185 (2025). <https://doi.org/10.23859/estr-230620>
11. Evstigneeva, I. K., Tankovskaya, I. N. Composition and biomass of macrophytobenthos of the natural monument "Coastal aquatic complex near Cape Fiolent" (Black Sea), *Ecosystems*, **36**, 75 (2023 a). <https://doi.org/10.5281/zenodo.10374113>
12. Evstigneeva, I. K., Tankovskaya, I. N. Biomass of macrophytobenthos and its distribution along the western coast of the Crimean Peninsula (Black Sea, *Russian Journal of Applied Ecology*, **1**, 28 (2023 b). <https://doi.org/10.24852/2411-7374.2023.1.28.37>
13. Mirkin B. M., Rosenberg G. S., Naumova L. G. *Dictionary of concepts and terms of modern phytocenology*, (M.: Nauka, 1989), 223 p.
14. Kalugina A. A. Study of bottom vegetation of the Black Sea with the use of light-diving equipment, *Marine Underwater Research*. 105 (M., 1969).
15. Pankeeva T. V., Mironova N. V., Parkhomenko A. V. Landscape studies of the natural monument "Coastal aquatic complex at Cape Lukull", *Proceedings of the Karadagsky scientific station named after T. I. Vyazemsky – Natural Reserve RAS*, **2**(18), 36 (2021).
16. Ryabushko V. I., Shchurov S. V., Kovrigina N. P., Lisitskaya E. V., Pospelova N. V. Integrated studies of the ecological state of the coastal water area of Sevastopol (Western Crimea, Black Sea), *Ecological safety of coastal and shelf sea zones*, **1**, 103 (2020). DOI: 10.22449/2413-5577-2020-1-103-118
17. Gruzinov V. M., Dyakov N. N., Mezentsева I. V., Malchenko Y. A., Zhokhova N. V., Korshenko A. N. Sources of pollution of coastal waters of the Sevastopol region, *Oceanology*, **59**(4), 579 (2019). <https://doi.org/10.31857/S0030-1574594579-590>
18. Andreeva N. A., Kopytina N. I. Succession of taxocenes of marine microalgae under long-term laboratory cultivation, *Environmental Control Systems*, **11**(3)1, 95(2018).
19. Ignatov E. I., Orlova M. S., Sanin A. Y. *Coastal morphosystems of the Crimea*, (Sevastopol: ECOSI-Hydrophysics, 2014), 267 p.
20. Dyakov N. N., Malchenko Y. A., Lipchenko A. E., Bobrova S. A., Timoshenko T. Y. Hydrological and hydrochemical characteristics of coastal waters of the Crimea and necessary measures to reduce the level of pollution of recreational areas, *Proceedings of the GOIN*, **221**, 163 (2020).
21. *Specially Protected Natural Areas of Sevastopol*. Pod. red. Ph.D. Golubeva E. I, Ph.D Pozacheniuk E. A. (Simferopol, IT ARIAL, 2020), 140 p.
22. Agarkova-Lyakh I. V., Lyakh A. M. Conditions of development and activity of exogenous geological processes on the shores of South-West Crimea from Cape Aya to Cape Sarych, *Izvestiya Saratovskogo universitet. New series. Earth Sciences Series*, **20**(2), 76 (2020).
23. Zaskokov G. Laspi, Koktebel and Bolshaya Yalta are leaders in discharge of untreated sewage into the sea Novyi Den. (2017). URL: <https://newdaynews.ru/crimea/615881.html>

24. Pankeeva T. V., Mironova N. V. Landscape structure of the natural monument "Coastal aquatic complex near Diva Rock and Koshka Mountain» (Black Sea)", *Geopolitics and ecogeodynamics of the regions*, **20(1)**, 190 (2024).
25. Zinova A. D. *Identifier of green, brown and red algae of the southern seas of the USSR*, (M. - L.: Nauka, 1967). 397 p.
26. Guiry M. D., Guiry G. M. *AlgaeBase. Worldwide electronic publication Galway: Nat. Univ. Ireland*. URL: <http://www.algaebase.org> (accessed 22.08.2025).
27. Rosenberg G. S. Information index and diversity: Boltzmann, Kotelnikov, Shannon, Weaver ..., *Samarskaya Luka: problemy regional'noj i global'noj ekologii*, **19(2)**, 4 (2010).
28. Bakanov A. I. Quantitative assessment of dominance in ecological communities. In: Rosenberg G. S., *Kolichestvennye metody ekologii i gidrobiologii*, (Togliatti, Scientific Center RAS, Samara), **37** (2005).
29. Zhukova A. A., Minec M. L. *Biometrics. Descriptive statistics: a training manual*, (Minsk, BGU, part 1, 2019) 100 p.
30. Zaitsev G. N. *Mathematics in experimental botany*, (M.: Nauka, 1990), 96 p.
31. Borovikov V. P. *Popular introduction to a modern data analysis in the Statistica system. Methodology and technology of modern data analysis. Study guide*, (Hotline-Telecom, M., 2018), 288 p.
32. Evstigneeva I. K., Tankovskaya I. N. Composition and structure of benthic macroflora of protected water areas (Crimea, Black Sea), *Phytodiversity of Eastern Europe*, **19(3)**, 76 (2025 b). <https://doi.org/10.24412/2072-8816-2025-19-3-76-93>
33. Kamnev A. N. Ecological physiology of aquatic phototrophic organisms. Part 1. Aquatic oxygenic phototrophs, *Voprosy sovremennoi algologii*, **1(3)**, (2013).
34. Brun I., Hernández I., Vergara J. J., Peralta J., Pérez-Lloréns J. L. Assessing the toxicity of ammonium pulses to the survival and growth of *Zostera noltii*, *Marine Ecology Progress*, **225**, 177 (2002).
35. Erftemeijer P. L., Lewis R. R. Environmental impacts of dredging on seagrasses: a review, *Marine Pollution Bulletin*, **52(12)**, 1553 (2006). doi: 10.1016/j.marpolbul.2006.09.006.
36. Egea L. G., Barrón C., Jiménez-Ramos R. I., Hernández I., Vergara J. J., Pérez-Lloréns J. L., Brun F. G. Coupling carbon metabolism and dissolved organic carbon fluxes in benthic and pelagic coastal communities, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **227**, 106336 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.106336>
37. Jiménez-Ramos R. I., Brun F. G., Pérez-Lloréns J. L., Vergara J. J., Delgado-Cabezas F., Sena-Soria N., Egea L. Resistance and recovery of benthic marine macrophyte communities to light reduction: Insights from carbon metabolism and dissolved organic carbon (DOC) fluxes, and implications for resilience, *Marine Pollution Bulletin*, **188**, 114630 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.114630>
38. Kalugina-Gutnik A. A. *Phytobenthos of the Black Sea*, (Kyiv: Naukova dumka, 1975) 248 p.
39. Denisenko S. G. Shannon information measure and its application in biodiversity assessments (on the example of marine zoobenthos), *Marine invertebrates of the Arctic, Antarctic and Subantarctic. Series Studies of Fauna of the Seas. SPb*, **56(64)**, 35 (2006).
40. Wilhm I. 1968. Use of biomass units in Shannon's formula, *Ecology*, **49(1)**, 153 (1968).