

УДК 551.463.2:581.526.323(262.5)

**ГИДРОАКУСТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
МАКРОСКОПИЧЕСКОЙ ДОННОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ
В ЗАПОВЕДНОЙ МОРСКОЙ АКВАТОРИИ У МЫСА МАРТЬЯН
(КРЫМ, ЧЁРНОЕ МОРЕ)**

© 2019 г. Ю. Г. Артёмов^{1,2}, С. Е. Садогурский², Ю. В. Плугатарь², Т. В. Белич²,
С. А. Садогурская², Д. Б. Евтушенко¹

¹ Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей имени
А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

² Никитский ботанический сад — Национальный научный центр РАН, Ялта, Россия
E-mail: yu.g.artemov@gmail.com

Поступила в редакцию 24.06.2019; после доработки 07.08.2019;
принята к публикации 25.09.2019; опубликована онлайн 30.09.2019.

В заповедной акватории у мыса Мартьян (Южный берег Крыма) выполнено обследование макроскопической донной растительности (МДР) с применением гидробиотических (контактных) и гидроакустических (дистанционных) методов. Показана принципиальная возможность и эффективность использования мобильного акустического комплекса на базе эхолота SeaChirter 480 DF и специализированного программного обеспечения WaveLens для детектирования и установления общей характеристики МДР, а также для выявления границ её обитания, проективного покрытия, высоты растительного покрова и пр. Модифицирована и апробирована методика, включая программное обеспечение, для автоматического определения высоты зарослей МДР по профилю обратного рассеяния звука. С помощью дистанционных методов показано, что распределение сублиторальной МДР вдоль берега характеризуется поясностью, причём нижняя граница распространения ограничена изобатами 10–12 м, что соответствует результатам, полученным контактными методами. Общая площадь зарослей МДР — около 0,39 км²; максимальные значения проективного покрытия, достигающие 95–97 % на глубинах 2–3 м, к нижней границе снижаются до 50–70 %. Установлено, что общие запасы сублиторальной МДР составляют до 1431,3 т, из которых 99,6 % приходится на сообщества *Cystoseira*. Отмечено, что цистозиды (*Cystoseira barbata* (Stackhouse) C. Agardh, 1820 и *Cystoseira crinita* Duby, 1830) и взморники (*Zostera marina* Linnaeus, 1753 и *Zostera noltei* Hornemann, 1832), доминирующие в растительных сообществах исследованного участка, являются сильными звукорассеивателями вследствие значительной разности акустического сопротивления (импеданса) воздуха, содержащегося в органах и тканях, и воды, что существенно повышает результативность детектирования и описания МДР. За нижней границей МДР, на глубинах до 32 м, зафиксированы неопознанные придонные акустические объекты в виде одиночных или групповых целей высотой до 2–4 м. Вероятно, их природа различна и обусловлена наличием в исследованном районе метановых сипов либо плотных скоплений рыбы. Отмечено, что проведение количественного исследования МДР с использованием гидроакустических методов снижает негативное трансформирующее воздействие на объект изучения: данная методика не предполагает значительного изъятия МДР, что особенно важно для соблюдения условий заповедного режима в границах особо охраняемых природных территорий (ООПТ). Полученные результаты наглядно показали эффективность совместного применения контактных и дистанционных методов. Предложено в дальнейшем использовать гидроакустические методы для мониторинга МДР, картирования растительного покрова и определения запасов макрофитов заповедной прибрежно-морской акватории у м. Мартьян и других аквальных ООПТ.

Ключевые слова: мыс Мартьян, ООПТ, макроскопическая донная растительность, *Cystoseira* C. Agardh, *Zostera* L., акустический метод, звукорассеяние

Макроскопическая донная растительность (далее — МДР) формирует структурный и трофический фундамент подавляющего большинства морских прибрежных биотопов, поэтому её комплексное изучение чрезвычайно актуально. Оценка количественных параметров и особенностей пространственного распределения, а также картирование МДР могут быть выполнены с применением методов, которые условно делятся на контактные (непосредственное наблюдение и отбор гидробиотических проб в водной среде с их последующей камеральной обработкой), дистанционные в воздушной среде (расшифровка аэро- или космоснимков) и дистанционные в водной среде. Использование первых, при всех их несомненных достоинствах, весьма продолжительно и трудоёмко, вторых — лимитировано прозрачностью и состоянием поверхности вод, облачностью и пр. В то же время гидроакустический метод, который основан на измерении количества акустической энергии, рассеянной донной растительностью, в сочетании с применением высокоточных систем GPS и современных технологий обработки сигналов обеспечивает быстрый и эффективный сбор данных со значительным пространственным разрешением. Он позволяет выделять участки с различной МДР и оценивать особенности её пространственного распределения и скорость роста макрофитов. Данный метод успешно используется для определения объёма и динамики фиторесурсов, в том числе промысловых, с первой половины 2000-х гг. [2, 6, 11]. Другой подход предполагает количественную оценку МДР по индексу биомассы, которая пропорциональна высоте и процентному покрытию дна зарослями макрофитов [17]. Эти параметры могут быть определены эхолотом автоматически на основе анализа формы профиля обратного рассеяния, без измерения абсолютных значений коэффициента обратного объёмного рассеяния зарослей, что удобно при изучении сложных акустических объектов, к которым относятся, например, сообщества черноморских цистозир (из-за специфики строения талломов). Очевидно, что метод следует внедрить в инструментарий решения вопросов, связанных с сохранением и восстановлением морских прибрежных биотопов в системе особо охраняемых природных территорий (далее — ООПТ), поскольку одно из его преимуществ — отсутствие или крайне незначительное (происходящее лишь на предварительном этапе) изъятие МДР.

ООПТ у мыса Мартьян (природный заповедник с 1973 г.; природный парк с 2015 г. по настоящее время) — единственный природный средиземноморский территориально-аквальный комплекс Южного берега Крыма (далее — ЮБК), обеспеченный реальной охраной [9]. Его акватория является неотъемлемой частью территориально-аквального комплекса, который входит в состав структурного элемента (Area of Special Conservation Interest, ASCI) экологической сети Emerald [16]. Вместе с тем единственная попытка картирования МДР контактным методом была предпринята около 40 лет назад [8], причём все первичные материалы к настоящему времени утеряны.

В связи с этим цель данной работы — провести гидроакустическое обследование дна у м. Мартьян; установить особенности звукорассеивающих свойств макрофитов, доминирующих в заповедной акватории; определить высоту зарослей, площадь распространения и запасы МДР.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Охраняемый территориально-аквальный комплекс м. Мартьян расположен на восточном замыкании Ялтинского горно-лесного амфитеатра (Крым, Чёрное море). В районе исследований берег приглубый, особенно в центральной и восточной частях заповедной акватории, где дно изрезано чередой небольших каньонов, перпендикулярных береговой линии. У берега доминируют твёрдые скальные грунты, представляющие собой глыбовый и валунно-глыбовый навал мраморовидных известняков, которые с глубины 8–10 м (местами с 14 м) сменяются рыхлыми отложениями — песками с незначительной примесью ракуши. На твёрдых грунтах в псевдолиторали, характеризующейся наиболее нестабильным режимом увлажнения из-за сгонно-нагонных (либо в большей мере прибойных) колебаний уровня воды, развиваются полидоминантные мозаичные сообщества с сезонными вариациями биомассы и сменой доминантов, а в результате — всего облика МДР. Псевдолиторальная

МДР образует полосу, ширина которой достигает 0,3–0,4 (до 0,6) м ($\pm(0,15–0,20)$ (до $\pm 0,30$) м над и под урезом воды) [1]. Высота растительного покрова не превышает 0,10–0,15 м; ярусность не выражена; проективное покрытие (далее — ПП) достигает 60–90 %, а биомасса колеблется в зависимости от морфологии берега и сезона года (при выраженной сезонной смене доминантов). В сублиторали до глубины примерно 0,5 м характер МДР в определённой мере сходен с таковым в псевдолиторали, но сезонные изменения количественных показателей и состава сообществ менее выражены. Глубже, в интервале 0,5–10 (12) м, доминируют высокопродуктивные многоярусные сообщества цистоziры (*Cystoseira barbata* (Stackhouse) C. Agardh, 1820 и *Cystoseira crinita* Duby, 1830) (рис. 1А). При этом занимаемая ими полоса существенно расширяется — от 25–50 м в западной части акватории до 200–300 м в её центральной и восточной частях. Рыхлые грунты в интервале глубин 6–8 м занимают сообщества взморника (*Zostera marina* Linnaeus, 1753 и *Zostera noltei* Hornemann, 1832) (рис. 1В). Ярусность в них не выражена; ПП в зарослях колеблется в пределах 25–30 % [12, 13]. Сезонность в сообществах цистоziры и взморника проявляется относительно слабо. Она выражается в изменении состава ряда сопутствующих видов эпифитона и соотношения некоторых компонентов (например, вегетативных и генеративных побегов взморника и т. п.), что не сопровождается трансформацией доминирующего комплекса и всего облика МДР.

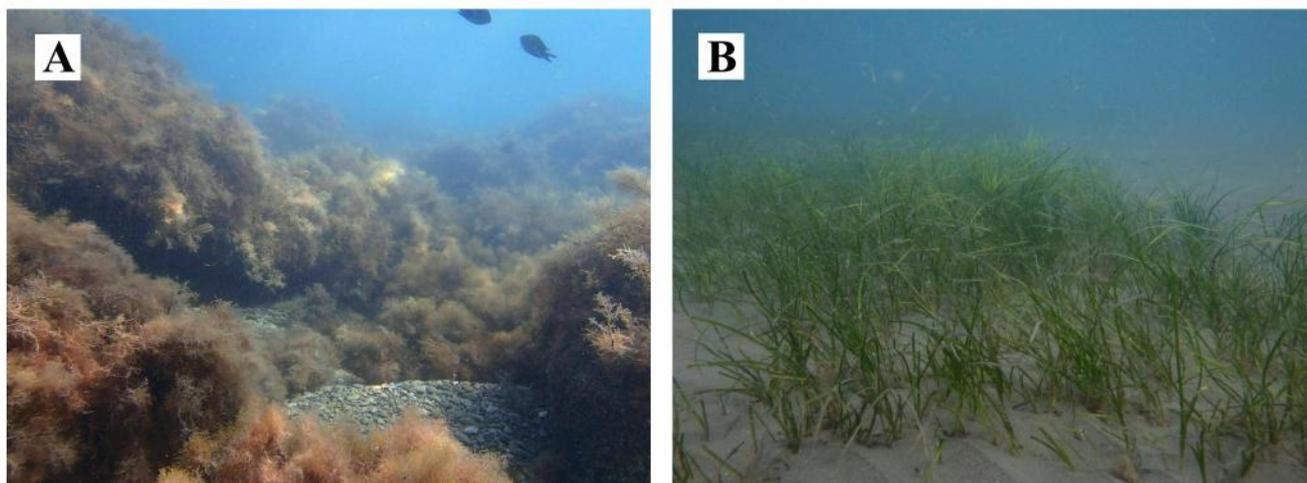


Рис. 1. Сообщества макроскопической донной растительности (МДР), доминирующие в акватории у м. Мартьян (фото авторов): А — сообщество *Cystoseira crinita* + *Vertebrata subulifera* – *Cladostephus spongiosum*, глубина 3 м (виден участок галечника, лишённый растительного покрова); В — сообщество *Zostera marina* + *Zostera noltei*, глубина 8 м

Fig. 1. Benthic macro-vegetation (BMV) communities dominating in the offshore area of the Cape Martyan (photos by authors): А – *Cystoseira crinita* + *Vertebrata subulifera* – *Cladostephus spongiosum*, water depth of 3 m (visible gravel area is devoid of vegetation); В – *Zostera marina* + *Zostera noltei*, water depth of 8 m

Обследование МДР традиционным контактным способом проведено в летний сезон 2018 г. по общепринятой гидробиотической методике [4]. Отбор проб для определения количественных показателей макрофитов и выявления структурных особенностей МДР выполнен на стационарном мониторинговом профиле ($44^{\circ}50'71.83''N$, $34^{\circ}25'12.94''E$ в точке пересечения уреза воды) в интервале глубин 0–8 м на расстоянии до 250 м от берега (глубже, до изобаты 12 м, выполнены визуальные исследования). Номенклатура и систематическое положение макрофитов даны по AlgaeBase [15].

Гидроакустическое исследование МДР выполнено в июле 2018 г. на борту пластиковой лодки Terhi 440 с навесным мотором. Маршрут гидроакустического исследования МДР представляет сеть галсов на площади 2 км² (рис. 2), что перекрывает всю заповедную акваторию от минимальной глубины 1,5–2 м, которая на мелководье лимитирована «мёртвой зоной» антенны эхолота, до глубины 35–36 м. Продвижение моторного судна сопровождалось одновременными визуальными наблюдениями МДР.



Рис. 2. Маршрут исследования (сплошная чёрная линия) и батиметрическая карта-схема (градации серого цвета) морской акватории у мыса Мартьян

Fig. 2. Boat's path during survey (solid black line) and bathymetric map chart (in gray gradient) of the offshore area of the Cape Martyan

Использован мобильный акустический комплекс на базе портативного эхолота SeaCharter 480 DF с приёмником GPS и гидроакустической антенной Skimmer[®], которая работает на частоте 200 кГц при номинальной ширине диаграммы направленности 12°, закреплённой на привальном бруске в средней части судна для снижения шумового эффекта от работы гребного винта. Частоту повторения и длительность импульса эхолот устанавливал автоматически. Эхолот оборудован устройством записи профилей обратного рассеяния звука и навигационных данных на флеш-карту в формате SLG, разработанном фирмой Lowrance (США). Записи формата SLG являются двоичными блоками постоянной длины (1970 байт), состоящими из заголовков и массивов отсчётов уровня эхосигнала. Длина заголовков может меняться в зависимости от количества и состава содержащихся в нём параметров, что определяется, в свою очередь, значением специального 16-битового маркера заголовка. По результатам изучения формата записей эхолота SeaCharter 480 DF был разработан алгоритм чтения записей, который включён в программу WaveLens [14], содержащую набор аналитических функций и ранее применявшуюся для обработки и визуального отображения данных с различных типов эхолотов, в том числе SIMRAD EK500, SIMRAD EK60, ATLAS PARASOUND (DS, DS-3).

Как известно [17], донная растительность отображается на акустических профилях обратного рассеяния как непрерывный вертикальный эхосигнал, примыкающий непосредственно ко дну. Он характеризуется более слабой интенсивностью обратного рассеяния, чем сигнал от дна, но более сильной, чем фоновый сигнал (то есть МДР «растягивает» вверх передний фронт сигнала от дна). Для настоящего исследования выполнена модификация программы WaveLens, позволяющая оперировать двумя значениями расстояния от антенны, которые определяются эхолотом по профилю обратного рассеяния автоматически: H_1 указывает на переднюю (верхнюю) границу фронта эхосигнала от морского дна, а H_2 — на его пик. Значения H_1 мы интерпретировали как расстояние от антенны эхолота до вершины зарослей макрофитов, а H_2 — до их основания, то есть до морского дна. Соответственно, высоту зарослей (длину макрофитов) H_B определяли по формуле:

$$H_B = H_2 - H_1 . \quad (1)$$

В зависимости от результата сравнения этой величины с пороговым значением $N_{\text{КР}}$ поверхность дна классифицировали как «голую» или «заросшую»; для неё запоминали, соответственно, высоту зарослей. Эмпирически была установлена оптимальная величина порогового значения $N_{\text{КР}} = 0,2$ м, обеспечивающая в обследованном районе приемлемые уровни распознавания зарослей с одной стороны и отсекающая случаи их ложного распознавания при затяжке фронта эхосигнала от дна с другой. При прохождении судном фрагмента пути (1, 10 или 100 м) для конкретного участка дна, характеризующегося географическими координатами, по накопленным данным определяли величины проективного покрытия дна растительностью и среднее значение высоты зарослей.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты гидробиотанических исследований, выполненных в заповедной акватории у м. Мартьян традиционными, контактными методами, дают следующую картину. МДР в обследованном районе (как и в целом вдоль ЮБК) имеет поясное распределение, которое нарушается и усложняется особенностями подводного рельефа отдельных участков дна. В период проведения исследований, по нашим наблюдениям, биомасса МДР в цистозировых сообществах колебалась от $1,4 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2}$ вдоль верхней границы зарослей до $6,7 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2}$ вдоль трёхметровой изобаты (со снижением до $4,7 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2}$ вдоль нижней границы зарослей). В то же время литературные данные свидетельствуют о том, что ранее были зарегистрированы значения до $11 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2}$ [10]. При этом, по нашим наблюдениям, в период максимального развития макрофитов около 30 % (иногда и более) общей биомассы образуют водоросли нижних ярусов и обильный эпифитон (в первую очередь *Cladostephus spongiosum* f. *verticillatum* (Lightfoot) Prud'homme van Reine, 1972, *Phyllophora crispa* (Hudson) P. S. Dixon, 1964 и эпифитная *Vertebrata subulifera* (C. Agardh) Kuntze, 1891).

Установлено, что в цистозировых сообществах ПП в период проведения исследований достигало 100 % в границах участков сплошных зарослей (на глыбах и валунах), хотя значения с учётом площади галечников, лишённых постоянного растительного покрова (см. рис. 1А), колебались в пределах 65–85 %. Высота МДР (длина талломов) составляла 0,3–0,4 м. На рыхлых грунтах в западной части обследованной акватории до 20 % площади дна занимали сообщества взморника (см. рис. 1В), ПП которых достигало 30 %, надземная биомасса — $0,3\text{--}0,4 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2}$ (вклад эпифитов, среди которых преобладают *Chondria capillaris* (Hudson) M. J. Wynne, 1991 и *Vertebrata subulifera*, незначителен), а средняя длина побегов — 0,3–0,35 м.

Гидроакустическая съёмка акватории на всём протяжении маршрута была выполнена плотной сетью галсов в условиях штилевой погоды, благодаря чему объём промерных данных оказался достаточным для построения батиметрической карты (см. рис. 2). В обследованной части сублиторали на полученных нами эхограммах отчётливо различаются два типа звукорассеивающих объектов — непрерывный, плотно примыкающий ко дну слой высокой интенсивности, идентифицированный нами как заросли МДР, и одиночные либо групповые вертикально ориентированные неидентифицируемые акустические цели существенно меньшей интенсивности (рис. 3).

Результаты гидроакустической съёмки наглядно подтвердили, что сублиторальная МДР вдоль берега (в направлении с запада на восток) распределена поясно, но неравномерно. Нижняя граница распространения сообществ макрофитов определена вдоль изобаты 10–12 м, что соответствует результатам, полученным контактными методами. Также предварительно установлено, что общая площадь зарослей МДР в обследованной акватории составляет около $0,39 \text{ км}^2$; максимальные значения проективного покрытия МДР уменьшаются от 95–97 % на глубине 2–3 м до 50–70 % на глубине 11–12 м, локальных максимумов два — на глубине 3 и 8 м (рис. 4).

Получен статистический ряд из примерно 600 значений высоты зарослей (длины талломов/побегов) МДР в диапазоне глубин 2–12 м (рис. 5). Результаты статистического анализа показали, что закон распределения этого показателя близок к нормальному со средним 0,48 м при стандартном отклонении 0,25 (рис. 5В).

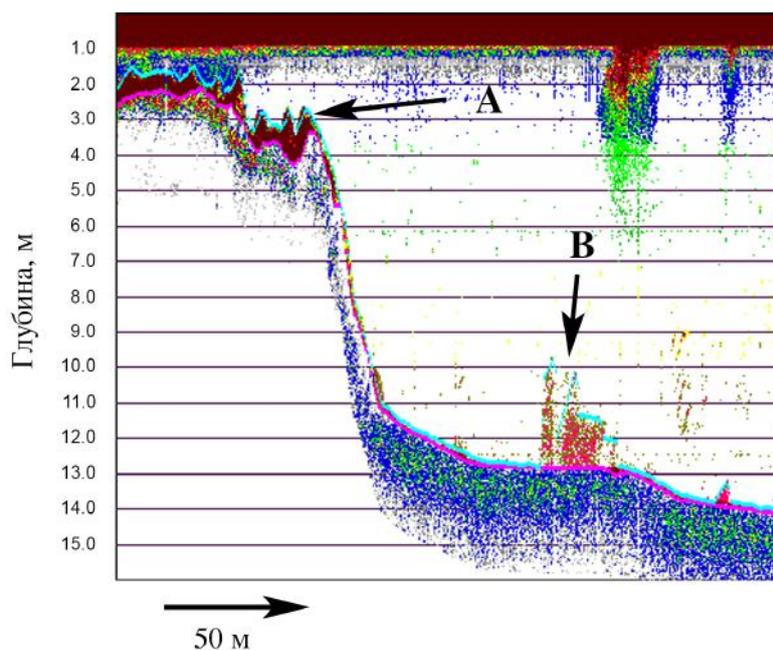


Рис. 3. Фрагмент эхограммы с различными видами звукорассеивателей в акватории у мыса Мартьян: А — заросли МДР; В — неидентифицируемые объекты. По вертикали — глубина; по горизонтали — дистанция

Fig. 3. Fragment of echogram with different types of sound scatterers in the offshore area of the Cape Martyan: A – BMV; B – unidentified objects. Vertical axe – depth; horizontal axe – distance

Сопоставление данных гидроакустической съёмки (см. рис. 3, 4, 5), сопровождавшейся визуальными наблюдениями МДР, с результатами собственных гидробиотических исследований и ранее опубликованными сведениями [8] позволяет утверждать, что выявленные акустическим методом заросли МДР на большей части обследованной акватории представляют собой сообщества цистозиры (*Cystoseira barbata*, *C. crinita*), площадь которых достигает 309 000 м². Хорошо прослеживаются поясной характер распределения зарослей, их границы, ПП и, в общих чертах, высота. Вместе с тем гидробиотические наблюдения в заповедной акватории (собственно, как и вдоль всего ЮБК) свидетельствуют о том, что средняя длина талломов цистозиры 0,3–0,4 м стабильна на протяжении почти полувека исследований [10]. Талломы длиной 0,6–0,7 м и более встречаются весьма редко, а талломы 1–1,2 м и более нами не зарегистрированы вообще, поэтому детектирование таких крупных талломов (высоты зарослей, см. рис. 5В) мы объясняем тем, что рельеф и микрорельеф дна крайне неравномерны. Боковые поверхности глыб, имеющих до нескольких метров в поперечнике, также обрастают цистозирой; при этом такие участки зарослей часто нависают над галечным или валунным дном на высоте 1–2 м, что эхолот, вероятно, воспринимает как высоту самих зарослей [см. (1)]. Полагаем, что данное явление в итоге обусловило и заметное превышение моды гистограммы (см. рис. 5В) по сравнению с реальной картиной. Это следует учитывать при анализе данных, полученных в условиях сложного рельефа дна. Один из возможных способов решения описанной проблемы заключается в отдельной обработке данных, полученных на ровных и на скалистых участках исследуемой акватории. Кроме того, на этом этапе мы не можем только по акустическим сигналам уверенно дифференцировать заросли взморника (*Zostera marina* и *Z. noltei*), локализованные на рыхлых грунтах в западной части обследованной акватории. Между тем, принимая в расчёт результаты собственных гидробиотических наблюдений, мы полагаем, что именно взморники в левой части карты-схемы дают жёлто-зеленый треугольный сегмент, сужающийся к западу ($S = 81\,300\text{ м}^2$), который соответствует ПП до 20 (30) % (см. рис. 4А) и высоте зарослей до 0,2 м (см. рис. 5А). Средняя длина побегов взморников несколько выше, но их дистальные концы склонны к пониканию, особенно при обрастании эпифитами (см. рис. 1В), поэтому высота зарослей в целом соответствует

значениям на эхограммах. Важно отметить, что талломы макроводорослей рода *Cystoseira* C. Agardh, как и всех представителей сем. Sargassaceae Kütz., имеют воздушные пузыри [5]. Вследствие значительной разности акустического сопротивления (импеданса) воды и воздушных пузырьков в талломах, они являются очень сильными звукорассеивателями, и даже одиночные экземпляры цистозир могут быть с уверенностью детектированы на записях эхолотов в широком диапазоне частот. Основу побегов у представителей рода *Zostera* L., как и у большинства типичных гидатофитов, формирует аэренхима, в которой обширные межклетники тоже заполнены воздухом [7], из-за чего звукорассеивающая способность цистозир и взморников на порядки выше, чем у прочих макрофитов. Данный факт необходимо учитывать при организации и проведении гидроакустических наблюдений, а также при анализе и интерпретации их результатов.

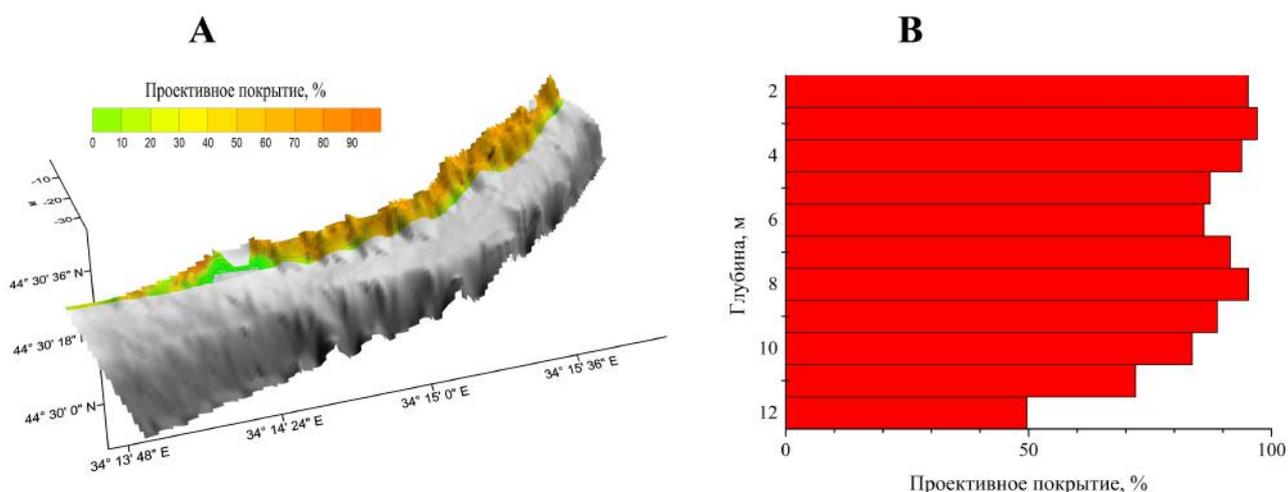


Рис. 4. Проективное покрытие дна зарослями МДР в акватории у м. Мартьян: А — карта-схема пространственного распределения, В — изменение проективного покрытия с глубиной

Fig. 4. Projective cover of BMV in the offshore area of the Cape Mart्यान: А – the map chart of the spatial distribution, В – variation of projective cover with depth

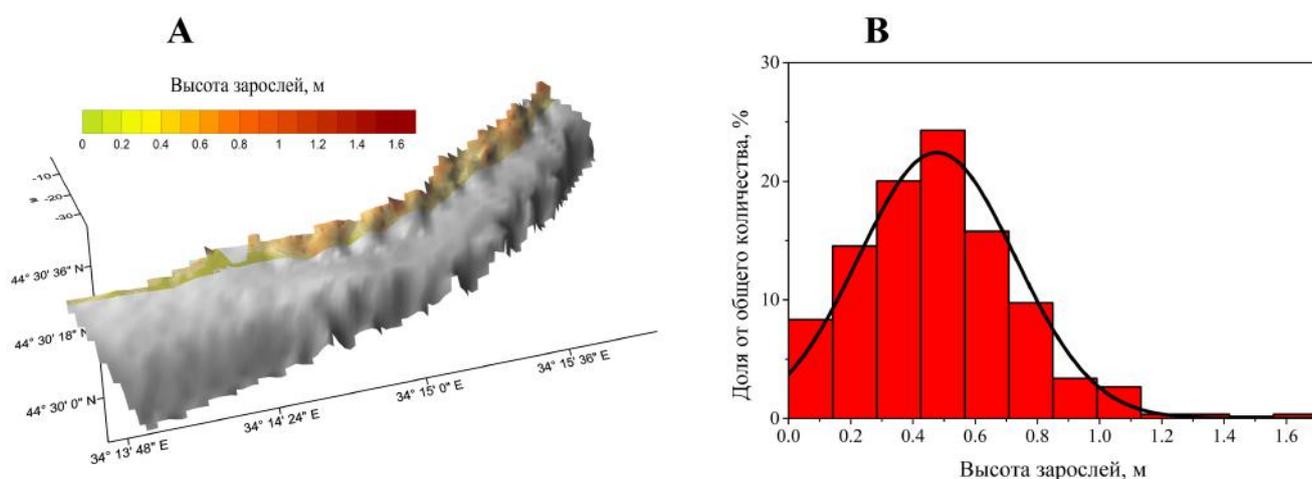


Рис. 5. Высота зарослей МДР (м) в акватории у м. Мартьян: А — карта-схема пространственного распределения высоты зарослей; В — плотность распределения этого показателя (сплошной линией показано теоретическое нормальное распределение)

Fig. 5. BMV height (m) in the offshore area of the Cape Mart्यान: А – the map chart of the spatial distribution of vegetation height, В – frequency distribution of this parameter (the solid line shows the theoretical normal distribution)

Согласно итогам проведённого исследования и с учётом определённых нами площадей МДР и показателей биомассы (см. выше), в акватории у м. Мартьян запасы цистозеры достигают, по предварительным расчётам, 1425,6 т, а запасы взморника — 5,7 т.

Что касается другого типа звукорассеивателей (см. рис. 3В), то его природа пока не выяснена. Эти одиночные или групповые объекты высотой до 4 м (и более) весьма многочисленны в придонных слоях обследованной акватории. Тяготея к значительным глубинам (вплоть до 32 м), они расположены мористее нижней границы поясных зарослей МДР (рис. 6). Учитывая размеры объектов и глубину локализации, мы предполагаем, что часть их может быть образована шлейфами газонаполненных пузырьков. Данное явление подтверждается недавним обнаружением в районе м. Мартьян многочисленных площадок газовой разгрузки дна [3]. Не исключено также, что некоторые объекты представляют собой скопления рыбы. Этот тип звукорассеивателей в данном районе будет исследован дополнительно.

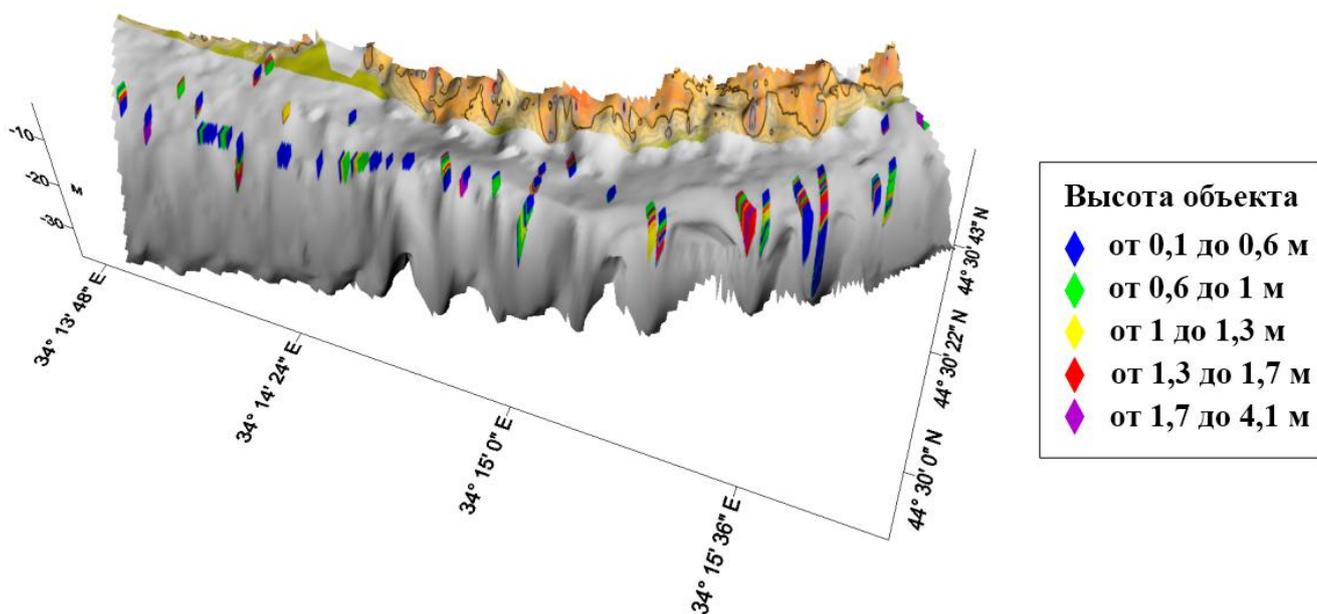


Рис. 6. Пространственное распределение и высота (м) неопознанных акустических объектов (обозначены цветными маркерами), расположенных за пределами зарослей МДР в акватории у м. Мартьян

Fig. 6. Spatial distribution and height (m) of unidentified acoustic objects (indicated by color markers) located outside the BMV in the offshore area of the Cape Martyan

Заключение. В заповедной акватории у м. Мартьян выполнено гидроакустическое обследование МДР с использованием мобильного акустического комплекса на базе эхолота SeaCharter 480 DF и специализированного программного обеспечения WaveLens. Сравнение данных, полученных гидроботаническими и гидроакустическими методами, показало эффективность использования последних для определения границ, высоты зарослей и проективного покрытия МДР. Установлено, что общая площадь МДР в заповедной акватории «Мыс Мартьян» составляет 0,39 км². Выявленная акустическим методом МДР на большей части обследованной акватории представлена сообществами цистозеры (*Cystoseira barbata* (Stackhouse) C. Agardh, 1820 и *Cystoseira crinita* Duby, 1830), а на рыхлых грунтах в западной части акватории — зарослями взморника (*Zostera marina* Linnaeus, 1753 и *Zostera noltei* Hornemann, 1832). Показано, что распределение сублиторальной МДР вдоль берега характеризуется поясностью, а нижняя граница распространения ограничена изобатами 10–12 м. Максимальные значения проективного покрытия, достигающие 95–97 % на глубинах 2–3 м, к нижней границе снижаются до 50–70 %. Определено, что общие запасы сублиторальной МДР достигают 1431,3 т, из которых 99,6 % приходится на сообщества цистозеры. Применение гидроакустических

методов оптимизирует длительный и трудоёмкий процесс гидробиологических исследований и снижает негативное трансформирующее воздействие на МДР, что особенно важно в условиях заповедного режима в границах ООПТ. На глубине до 32 м замечены неопознанные придонные акустические объекты в виде одиночных или групповых целей высотой до 2–4 м. Вероятно, их природа различна и обусловлена наличием в исследованном районе метановых сипов либо плотных скоплений рыбы. Результаты проведённых исследований послужили началом гидроакустического мониторинга МДР, который ранее не проводили в границах аквальных ООПТ. Предложено в дальнейшем использовать гидроакустические методы для картирования растительного покрова и определения запасов макрофитов заповедной прибрежно-морской акватории у м. Мартьян.

Работа выполнена в рамках государственного задания НБС — ННЦ «Проведение мониторинговых исследований и определение современного состояния биоты Государственного природного заповедника «Мыс Мартьян» в 2016–2020 гг.» (№ гос. регистрации АААА-А18-118013190157-1) и ФИЦ ИнБЮМ «Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем» (№ гос. регистрации АААА-А18-118020890090-2), а также при финансовой поддержке гранта РФФИ р_а 18-45-920057 «Изучение локализации холодных сипов, их потоков, химического состава и генезиса струйных газовыделений в прибрежной зоне Крыма: в бухте Ласпи и в заповедной акватории мыса Мартьян».

Благодарность. Авторы выражают искреннюю признательность академику РАН В. Н. Егорову (ФИЦ ИнБЮМ) за ценные советы и поддержку при выполнении настоящей работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Белич Т. В., Садогурский С. Е., Садогурская С. А. Ревизия флоры макрофитов заповедника «Мыс Мартьян» // *Труды Карадагской научной станции им. Т. И. Вяземского – природного заповедника РАН*. 2018. Вып. 3 (7). С. 3–21. [Belich T. V., Sadogurskiy S. Ye., Sadogurskaya S. A. Revision flora of makrofytes of the Mys Martyan Nature Reserve. *Trudy Karadagskoi nauchnoi stantsii im. T. I. Vyazemskogo – prirodnogo zapovednika RAN*, 2018, iss. 3 (7), pp. 3–21. (in Russ.)]. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.17236.45440>
2. Гаврилов Е. Н. Методические особенности мониторинга запаса ламинариевых водорослей техническими средствами // *Известия Южного федерального университета. Технические науки*. 2009. № 6 (95). С. 51–56. [Gavrilov E. N. Methods of monitoring of laminaria algae with the use of some technical facilities. *Izvestiya Federal'nogo yuzhnogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*, 2009, no. 6 (95), pp. 51–56. (in Russ.)]
3. Егоров В. Н., Плугатарь Ю. В., Малахова Т. В., Садогурский С. Е., Мосейченко И. Н. Обнаружение струйных газовыделений в акватории у Мыса Мартьян // *Бюллетень Никитского ботанического сада*. 2018. № 126. С. 9–13. [Egorov V. N., Plugar Yu. V., Malakhova T. V., Sadogurskiy S. Ye., Moseichenko I. N. Gas seeps detection offshore the Martian Cape. *Vyulleten' Nikitskogo botanicheskogo sada*, 2018, no. 126, pp. 9–13. (in Russ.)]
4. Калугина А. А. Исследование донной растительности Чёрного моря с применением легководолазной техники // *Морские подводные исследования*. Москва : Наука, 1969. С. 105–113. [Kalugina A. A. Investigation of the bottom vegetation of the Black Sea with the use of diver technique. In: *Morskie podvodnye issledovaniya*. Moscow: Nauka, 1969, pp. 105–113. (in Russ.)]
5. Калугина-Гутник А. А. *Фитобентос Чёрного моря*. Киев : Наукова думка, 1975. 248 с. [Kalugina-Gutnik A. A. *Fitobentos Chernogo morya*. Kyiv: Naukova dumka, 1975, 248 p. (in Russ.)]
6. Кузнецов М. Ю., Жильцова Л. В., Убарчук И. А., Сыроваткин Е. В. Гидроакустические исследования запасов и распределения морской водоросли анфельции тобучинской *Ahnfeltia tobuchiensis* в заливе Петра Великого // *Вопросы рыболовства*. 2014. Т. 15, № 1. С. 140–150. [Kuznetsov M. Yu., Giltsova L. V., Ubarchuk I. A., Syrovatkin E. V. Hydroacoustic researches of distribution and stocks of seaweed *Ahnfeltia tobuchiensis* in the Great Peter Bay. *Voprosy rybolovstva*, 2014, vol. 15, no. 1, pp. 140–150. (in Russ.)]
7. Куликова Н. М., Иванова И. К. Анатомо-морфологическая характеристика *Zostera marina* L. из Севастопольской бухты // *Биология моря*. 1972. Вып. 26. С. 133–145. [Kulikova N. M., Ivanova I. K. Anatomical and morphological

- characteristics of *Zostera marina* from Sevastopol Bay. *Biologiya morya*, 1972, iss. 26, pp. 133–145. (in Russ.)
8. Маслов И. И., Куропатов Л. А. К детальному описанию биоценоза цистозеры заповедника «Мыс Мартьян» // *Бюллетень Никитского ботанического сада*. 1987. Вып. 63. С. 13–17. [Maslov I. I., Kuropatov L. A. To the detailed description of the biocenosis of cystoseires of the Cape Martyan Nature Reserve. *Byulleten' Nikitskogo botanicheskogo sada*, 1987, no. 63, pp. 13–17. (in Russ.)]
 9. Плуатарь Ю. В., Багрикова Н. А., Белич Т. В., Костин С. Ю., Крайнюк Е. С., Маслов И. И., Садогурский С. Е., Садогурская С. А., Саркина И. С. *Природный заповедник «Мыс Мартьян»* / [изд. 2-е, испр. и доп.]. Симферополь: ИТ «Ариал», 2018. 104 с. [Plugatar Yu. V., Bagrikova N. A., Belich T. V., Kostin S. Yu., Krainyuk E. S., Maslov I. I., Sadogurskiy S. E., Sadogurskaya S. A., Sarkina I. S. *Cape Martian Nature Reserve* / [2nd ed., rev. and add.]. Simferopol: PP “ARIAL”, 2018, 104 p. (in Russ.)]
 10. Погребняк И. И., Маслов И. И. К изучению донной растительности района мыса Мартьян // *Труды Никитского ботанического сада*. 1976. Вып. 70. С. 105–113. [Pogrebnyak I. I., Maslov I. I. To the study of the bottom vegetation of the Cape Martyan area. *Trudy Nikitskogo botanicheskogo sada*, 1976, vol. 70, pp. 105–113. (in Russ.)]
 11. Пронина О. А., Дегтев А. И., Кудрявцев В. И., Воробьев А. В. Опыт количественной оценки запасов макрофитов Белого моря гидроакустическим методом // *Рыбное хозяйство*. 2004. № 3. С. 36–39. [Pronina O. A., Degtev A. I., Kudryavtsev V. I., Vorob'ev A. V. Opyt kolichestvennoi otsenki zapasov makrofitov Belogo morya gidroakusticheskim metodom. *Rybnoe khozyaistvo*, 2004, no. 3, pp. 36–39. (in Russ.)]
 12. Садогурский С. Е. Эколого-биологические особенности видов рода *Zostera* L. у Южного берега Крыма // *Бюллетень Никитского ботанического сада*. 1998. Вып. 80. С. 27–36. [Sadogurskiy S. Ye. Ecological-biological characteristic of species of genus *Zostera* L. near the Southern Coast of Crimea. *Byulleten' Nikitskogo botanicheskogo sada*, 1998, iss. 80, pp. 27–36. (in Russ.)]
 13. Садогурский С. Е. Альгофлора фитоценозов *Zostera* L. у Южного берега Крыма // *Бюллетень Никитского ботанического сада*. 1998. Вып. 80. С. 36–48. [Sadogurskiy S. Ye. Seaweed of phytocenoses of *Zostera* L. near the Southern Coast of Crimea. *Byulleten' Nikitskogo botanicheskogo sada*, 1998, iss. 80, pp. 36–48. (in Russ.)]
 14. Artemov Yu. G. Software support for investigation of natural methane seeps by hydroacoustic method. *Morskoj ekologicheskij zhurnal*, 2006, vol. 5, iss. 1, pp. 57–71. <https://repository.marine-research.org/handle/299011/850>
 15. Guiry M. D., Guiry G. M. *AlgaeBase*. Galway: National University of Ireland, 2018. URL: <http://www.algaebase.org> [accessed 2019.01.12].
 16. *Mys Martian Nature Reserve*. Natura 2000 Network Viewer. URL: <http://natura2000.eea.europa.eu/Emerald/SDF.aspx?site=UA0000007&release=2> [accessed 2019.01.12].
 17. Sabol B. M., Melton R. E., Chamberlain R., Doring P., Haunter K. Evaluation of a digital echo sounder system for detection of submersed aquatic vegetation. *Estuaries and Coasts*, 2002, vol. 25, no. 1, pp. 133–141. <https://doi.org/10.1007/BF02696057>

HYDROACOUSTIC SURVEY OF BENTHIC MACRO-VEGETATION IN THE PROTECTED OFFSHORE AREA OF CAPE MARTYAN (CRIMEA, BLACK SEA)

**Yu. G. Artemov^{1,2}, S. Ye. Sadogurskiy², Yu. V. Plugatar²,
T. V. Belich², S. A. Sadogurskaya², and D. B. Evtushenko¹**

¹A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russian Federation

²Nikitsky Botanical Gardens – National Scientific Center of RAS, Yalta, Russian Federation

E-mail: yu.g.artemov@gmail.com

Survey of benthic macro-vegetation (BMV) was conducted within the marine part of the nature reserve “Cape Martyan” (the South Coast of Crimea) using hydrobotanical (contact) and hydroacoustic (remote sensing) methods. It clearly showed a fundamental possibility and efficiency of using mobile acoustic equipment based on the SeaCharter 480 DF echo sounder and specialized software WaveLens for detecting and studying general nature of BMV, as well as for identifying BMV boundaries, projective

cover, height, etc. The method, including software, was adapted and tested to automatically determine the height of BMV from the sound backscatter profile. In good conformity with data of contact methods, the zonality of BMV distribution along the coastline with a propagation boundary limited by 10–12 m isobaths was shown using acoustic method. The total area of BMV is of about 0.39 km²; the maximum values of the projective cover reach 95–97 % at a depth of 2–3 m, but decrease to 50–70 % at greater depth boundary. It is established that the total stocks of sublittoral BMV reach 1431.3 tones, of which 99.6 % are in the community of *Cystoseira*. It is noted that cystoseires (*Cystoseira barbata* (Stackhouse) C. Agardh, 1820 and *Cystoseira crinita* Duby, 1830) and seagrasses (*Zostera marina* Linnaeus, 1753 and *Zostera noltei* Hornemann, 1832), whose communities dominate the vegetation cover of the area, are strong sound scatterers due to high acoustic impedance between air containing in organs and tissues and seawater, which significantly increases the efficiency of detection and description of BMV. At depths of up to 32 m, unidentified bottom acoustic objects in the form of single or group targets up to 2–4 m were recorded at the lower boundary of the BMV; their nature is probably different and is due to the presence of methane seeps or dense accumulations of fish in the studied area. The attention is drawn that conducting a quantitative study of BMV using hydroacoustic methods reduces the negative transforming effect on the object of study, since it does not imply a significant removal of BMV, for example, during mapping. This is especially important in the conditions of nature reserve regime within the specially protected natural areas (SPNA). The study clearly showed the effectiveness of the joint use of contact and distance methods. The results of this study form the basis of the BMV hydroacoustic monitoring; they will be used to map vegetation cover and to determine algae abundance in the protected coastal-marine area near Cape Martyan and other aquatic SPNA.

Keywords: Cape Martyan, SPNA, benthic macro-vegetation, *Cystoseira* C. Agardh, *Zostera* L., acoustic method, sound scattering