

Т.В.Панкеева¹, Н.В.Миронова¹, Б.А.Новиков²

¹Институт биологии южных морей им.А.О.Ковалевского РАН, г.Севастополь

²Филиал Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова
в г.Севастополе

КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ДОННОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ БУХТЫ КРУГЛАЯ (Г. СЕВАСТОПОЛЬ, ЧЕРНОЕ МОРЕ)

Показана возможность применения современных технологий для картографирования донной растительности в прибрежной зоне моря. В качестве модельного полигона для картографирования макрофитобентоса выбрана бухта Круглая, которая отличается биологическим разнообразием, обилием уникальных местообитаний донной растительности, где представлены сообщества морских трав и водорослей. В бухте в летний период 2018 г. были проведены аэрофотосъемка, выполненная при помощи беспилотного летательного аппарата, и гидробиотанические исследования. На основе аэрофотосъемки выделены границы распространения макрофитобентоса, тогда как его состав и структура определены по результатам гидробиотанического изучения. В бухте было заложено пять трансект, составлены гидробиотанические профили. На основе полученных профилей проведена классификация ареалов массовых видов макрофитов. Выделены шесть донных растительных сообществ, которые стали объектами картирования. Их границы оцифрованы с помощью программного пакета ArcGIS 10. Составлена карта распределения макрофитобентоса в бухте Круглая. Показаны пространственные закономерности распределения доминирующих видов макрофитов (виды цистозиры, филлофора, взморник Нольта и рдест гребенчатый) и даны их количественные характеристики. Виды цистозиры приурочены к глыбово-валунным отложениям и характерны для западного и восточного побережья бухты. Филлофора курчавая господствует в глубоководной зоне на выходе из бухты вдоль обоих побережий на гравийно-песчаных отложениях с битой ракушкой. Для южной части бухты на илисто-песчаных отложениях зарегистрированы заросли морских трав. В кутовой части бухты отмечены зеленые виды водорослей. Бухта Круглая характеризуется значительными площадями, где донная растительность отсутствует.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *донная растительность, ГИС, беспилотный летательный аппарат, ортофотоплан, бухта Круглая, Черное море*

doi: 10.22449/2413-5577-2019-3-61-71

Введение. Макрофитобентос является функционально важным звеном прибрежных экосистем, который выполняет средообразующую роль, участвует в самоочищении и аэрации водных масс, имеет высокий продукционный потенциал. Активизация хозяйственной деятельности, интенсивное освоение ресурсов шельфа, увеличение транспортных потоков и рекреационной нагрузки на черноморское побережье привело к ухудшению экологического состояния акватории, что вызвало негативные изменения количественных и качественных характеристик макрофитов, резкое сокращение их запасов [1, 2]. В связи с этим, приобретают актуальность разработки и при-

© Т.В.Панкеева, Н.В.Миронова, Б.А.Новиков, 2019

Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2019. вып.3. С.61-71.

менение современных технологий к изучению донной растительности, где одним из подходов является картографический метод. Этот метод позволяет определять пространственно-временные изменения состава и структуры макрофитобентоса, что будет способствовать сохранению и восстановлению растительных ресурсов Черного моря.

В настоящее время накоплен теоретический и практический опыт картографического изучения наземной растительности, составлены универсальные и специальные геоботанические карты, которые позволяют решать различные научные и прикладные задачи [3, 4]. В современных условиях в картографирование наземной растительности активно внедряются ГИС-технологии, данные аэрофотосъемок и спутниковых снимков [5 - 8]. Однако работ, посвященных картографированию донной растительности с использованием дистанционных методов, в том числе для прибрежной зоны Черного моря, мало. К.М.Петровым в 1989 г. разработана методика применения аэрофото-методов к картографированию прибрежных ландшафтов и донных сообществ [9]. Аэрофотоснимки используют для оценки запасов промысловых водорослей и морских трав [10]. В последние годы предприняты попытки применения космических методов в изучении донной растительности. Например, на основе спутниковых фотоснимков успешно проведено исследование и картографирование макрофитобентоса коралловых рифов Австралии [11, 12].

С появлением различных моделей радиоуправляемых беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и по мере совершенствования программного обеспечения возрастает интерес к использованию качественных детальных аэрофотоснимков высокого разрешения в морских исследованиях, в том числе и для изучения макрофитов.

Бухта Круглая отличается биологическим разнообразием, обилием уникальных местообитаний донной растительности, где представлены сообщества как морских трав, так и водорослей. Для бухты характерно наличие краснокнижных видов макрофитобентоса. Известно, что для Черного моря цистозира (*Cystoseira barbata* C. Ag. и *C. crinita* (Desf.) Bory), филлофора (*Phyllophora crispa* (Huds.) P.S. Dixon = *Ph. nervosa* (DC) Grev.) считаются ключевыми видами водорослей, входят в состав списков Красной книги (КК) Республики Крым (РК) (2016 г.) и КК Черного моря (1999 г.). Кроме этого, филлофора внесена в КК РФ (2008 г.) и КК Севастополя (2018 г.). Взморник Нольта (*Zostera noltei* Hornem) и виды руппии (*Ruppia* spp.) входят в состав КК РК, при этом сообщества морских трав отнесены ЮНЕП к критическим местообитаниям Мирового океана. Сохранение морских биотопов задекларировано многими природоохранными программами, соглашениями и Конвенциями (Natura 2000, EUNIS, Habitats Directive 92/43/ЕЕС, Annex 1).

Ввиду того, что бухта Круглая имеет высокую эволюционную и природоохранную ценность, ее изучению всегда уделялось особое внимание. Впервые бухта описана более 100 лет назад С.А.Зерновым (1913 г.) [13], при этом картографические сведения об особенностях распределения основных видов макрофитов приведены в «Карте распределения биоценозов в Черном море у Севастополя» в 1910 – 1911 гг.

Состав и структура макрофитобентоса в бухте достаточно детально исследованы и представлены в работах А.А.Калугиной-Гутник с коллегами

(1993 г.), И.К.Евстигнеевой и Н.В.Николенко (2003 г.), С.А.Ковардакова и А.В.Празукина (2012 г.) и других [14 - 16]. Своеобразие донной растительности и ее изученность обусловили выбор бухты Круглая в качестве модельного полигона для картографирования макрофитобентоса с применением БПЛА и использованием ГИС-технологий в сочетании с классическими гидробиотическими исследованиями.

Цель статьи: показать возможность применения современных технологий для изучения донной растительности в прибрежной зоне моря.

Методы и материалы. Для картирования макрофитобентоса бухты Круглая использованы материалы, полученные в ходе аэрофотосъемки и гидробиотических исследований, выполненных в летний период 2018 г.

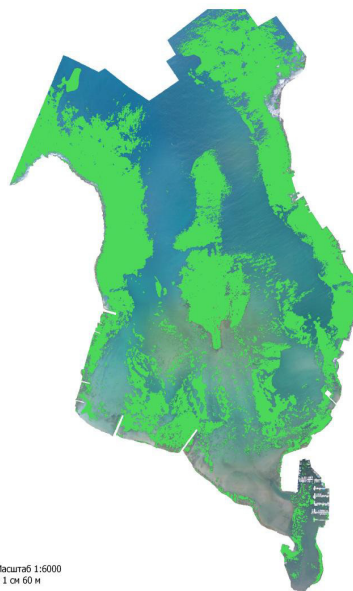
Аэрофотосъемка акватории проведена при помощи БПЛА *DJI Phantom 4 Advanced*. Квадрокоптер оснащен видеокамерой высокого разрешения (20 Мпикс) на гиросtabilизированном подвесе, обеспечивающем стабильную ориентацию камеры, независимо от наклонов аппарата при маневрах или под воздействием ветра, и навигационным оборудованием (приемником *GPS*).

Для формата фотографий выбран максимальный размер (соотношение сторон 16 : 9 с разрешением 5472 × 3078 пикс). Съемку бухты выполняли с высоты 150 м при скорости полета квадрокоптера 8 м·с⁻¹. Полет дрона проходил в ручном режиме, контроль перекрытия осуществлялся с помощью выставления фиксированного интервала снимков в 3 с. Съемку проводили при нулевой облачности с 11.00 до 12.00. В результате проведенной съемки получено 126 снимков с разрешением в 2 см-пикс⁻¹. При склеивании снимков продольное перекрытие составляло 60 %, поперечное – 25 – 45 %. Для фототопографической обработки снимков на основе данных величин рассчитано поперечное перекрытие в метрах на местности, которое составляет 70 – 126 м и продольное перекрытие – 300 м. Данные значения получены с учетом того, что один снимок в надир с высоты 150 м покрывает в плане условно прямоугольную зону размером 500 × 280 м. Полученные размеры вычислены методом подсчета пикселей и их соотношением к расстоянию в реальности. Дальность полета квадрокоптера составляла 750 - 850 м, что обусловлено отсутствием доступа (ограничение со стороны производителя) к радиоканалу на частоте 5 ГГц и помехами, вызванными сторонней аппаратурой.

Обработку снимков производили в программе *Agisoft Metashape* (PhotoScan). После склейки снимков ортофотоплан экспортирован в программу *QGIS*, в которой он был привязан по опорным точкам с известными координатами в системе СК-63 зоне Х4, полученных с помощью GNSS приемника *Geotax 25* с точностью до 0,2 см·м². Таким образом, получен геопривязанный ортофотоплан в системе координат «СК-63 зона Х4» (рис.1). Экспортированный файл в формате *TIFF* имел разрешение 25000 × 12000 пикс и занимал более 1,5 Гб, что в случае дешифрирования могло привести к большим временным затратам. Разрешение ортофотоплана уменьшено вручную до значения 7680 × 4320 пикс. Для полуавтоматического дешифрирования использовали уменьшенный в размере файл, а исходный служил для последующего уточнения и корректировки результатов дешифрирования. На этом этапе использовался плагин для *QGIS* версии 2.18.12 “*Semi-automatic classification plugin*”, изначально предназначенный для дешифрирования кос-



Р и с . 1 . Ортофотоплан бухты Круглая, выполненный по аэрофотоснимкам, полученным с помощью БПЛА.



Р и с . 2 . Границы контуров донной растительности, полученные в процессе дешифрирования аэрофотоснимков (ортоплана) с БПЛА.

моснимков, полученных со спутников *Landsat-3* и *Sentinel*. В дальнейшем плагин позволил разделить снимок на три активных цветовых диапазона (красный, зеленый и синий). Для минимизации погрешностей, создаваемой толщиной воды, произведена замена синего диапазона зеленым и получена цвето-пара, состоящая из изображения в красном, зеленом и еще раз в зеленом цветовом диапазоне. Создан виртуальный растр, на котором выделены «примеры» блоков пикселей, что позволило плагину в автоматическом режиме выделить похожие блоки. Векторизация и последующая классификация полученных данных позволила выделить в отдельный векторный слой контуры границ распространения донной растительности в бухте Круглая (рис.2).

Для определения состава и структуры фитобентоса в выделенных границах его распространения (получено с помощью БПЛА) проведены гидробиологические исследования с борта маломерного судна с применением легководолазной техники. В бухте было заложено пять трансект: трансекты I, II, IV расположены перпендикулярно к берегу, III, V пересекают в широтном и меридиональном направлении бухты, охватывая всю акваторию (табл.1, рис.3).

Дайвер-исследователь, снабженный дайв-компьютером (*AERIS F10*), проходил вдоль мерной линии (трансекты), отмечая глубину смены растительности, нижнюю границу обитания (фиталь) макрофитобентоса, визуально описывал донные отложения, при этом выполняя фото- и видеосъемку. Привязку трансект осуществляли с помощью *GPS*-навигатора (*Oregon 650*).

Для изучения состава и структуры донных сообществ на ключевых стандартных глубинах (0,5; 1; 3; 5 и 10 м) закладывали по четыре учетные пло-

Таблица 1. Координаты трансект и диапазон глубин в бухте Круглая.

№ трансекты	координаты		диапазон глубин, м
	с.ш.	в.д.	
I	44°36'22"	33°26'51"	0,5 – 10
II	44°36'16"	33°26'26"	0,5 – 10
III	44°36'06"	33°26'27"	0,5 – 5,5 - 0,5
IV	44°36'54"	33°26'31"	0,5 – 3,5 – 0,5
V	44°36'41"	33°26'52"	0,5 – 15

щадки размером 25 × 25 см [17]. Всего было заложено 23 станции, собрано и обработано 92 количественные пробы.

Информацию о донных компонентах, полученную в ходе водолазного описания, оформляли графически в виде гидрботанических профилей. На батиметрической кривой различными условными обозначениями отражали литофациальные разности донных осадков и массовые виды макрофитов. Пример гидрботанического профиля бухты Круглая для трансекты III представлен на рис.4.

На основе составленных профилей проведена классификация ареалов массовых видов макрофитов и разработана легенда к карте донной растительности в бухте Круглая. Определенные легендой единицы классификации ареалов макрофитобентоса стали объектами картографирования.

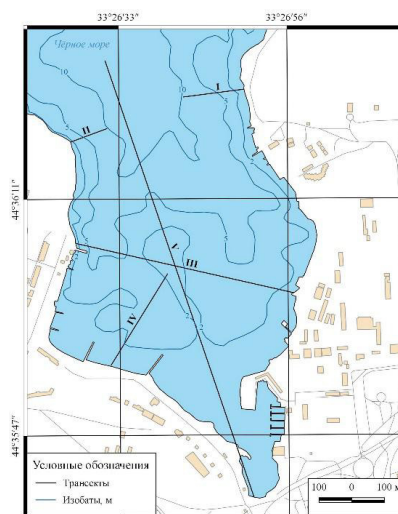
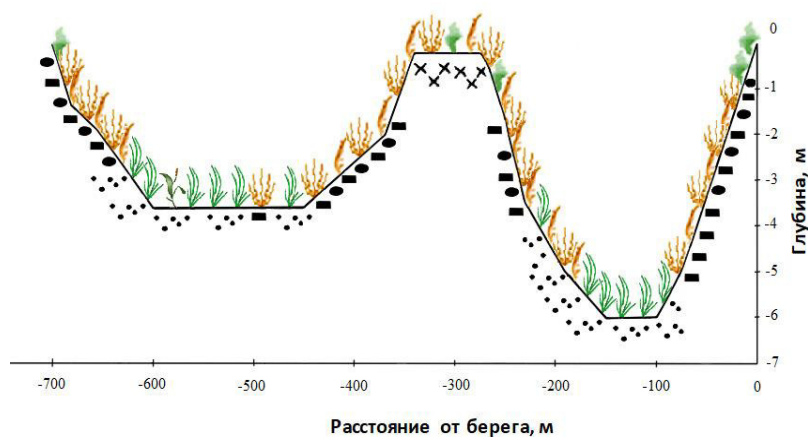


Рис. 3. Картограмма расположения гидрботанических трансект в бухте Круглая (I – V – номера трансект).



Условные обозначения: - *Ulva rigida*, - *Cystoseira crinita*,
 - *Cystoseira barbata*, - *Zostera noltei*, - *Stuckenia pectinata*,
 - валуны, - глыбы, - песок, - выходы коренных пород

Рис. 4. Гидрботанический профиль бухты Круглая (III-я трансекта).

Ареалы массовых видов макрофитов, первоначально отрисованные на ортофотоплане, оцифрованы с помощью программного пакета *ArcGIS 10* и выполнены отдельным слоем. Одновременно с этим, формализованная информация по полевым описаниям занесена в сопровождающую атрибутивную таблицу слоя. Каждый слой имеет свой тип обозначения в виде цвета, которые отражены в легенде. При наложении слоев получена карта распределения макрофитобентоса в бухте Круглая (рис.5).

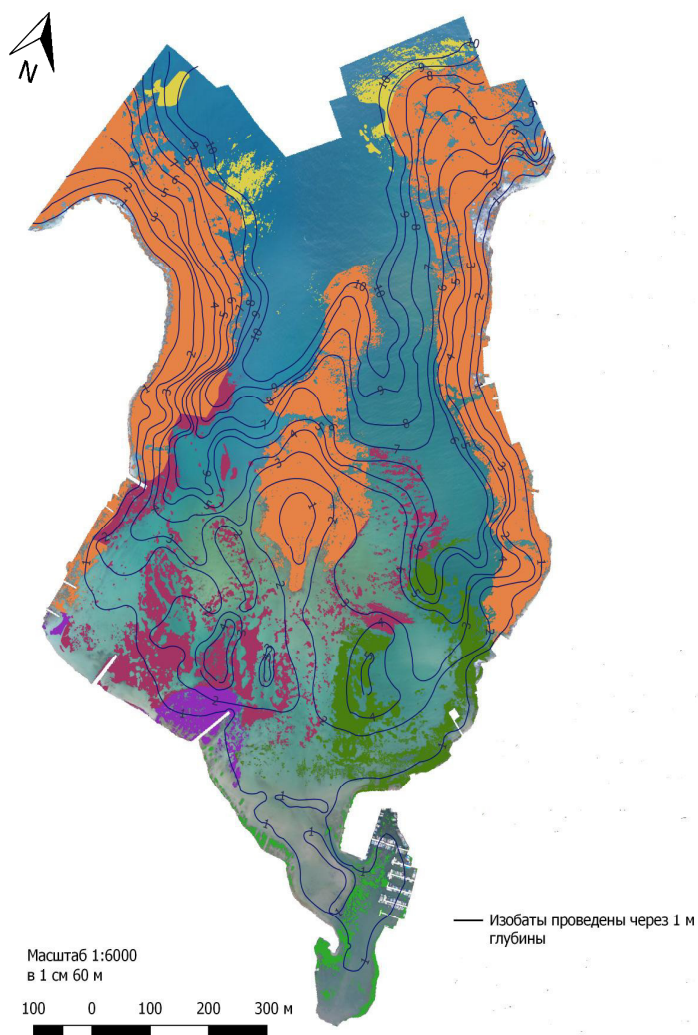
Результаты. На основе материалов, полученных в ходе аэрофото съемки, выполненной при помощи БПЛА, и гидробиотической съемки составлена карта распределения доминирующих видов макрофитов в бухте Круглая. Выделены шесть растительных сообществ и даны их количественные характеристики (рис.5). В бухте в составе донной растительности преобладают виды цистозирры, филлофора, взморник Нольта и рдест гребенчатый (*Stuckenia pectinata* (L.) Börner = *Potamogeton pectinatus* L.).

Фитоценоз (рис.5, «1»), в состав которого входят виды цистозирры (*Cystoseira barbata* и *C. crinita*), характерен для глыбово-валунного субстрата и подводного абразионного склона, сложенного псефитовыми отложениями с выходами коренных пород. Это альгосообщество зарегистрировано вдоль восточного и западного побережья, за исключением южной части бухты, и приурочено глубине 0,5 – 10 м. Его биомасса колеблется в широком интервале (7734,8 – 1108,0 г·м⁻²), при этом наибольшие количественные величины отмечены в верхней сублиторальной зоне (глубина 0,5 – 3 м), а наименьшие – в нижней сублиторали (глубина 5 – 10 м). Доля видов цистозирры высокая, изменяется с увеличением глубины от 92 до 55 % общей биомассы макрофитов. Этот же цистозировый фитоценоз представлен на вершине подводной гряды и ее склонах, сложенных псефитовыми отложениями с выходами коренных пород, на глубине 0,5 – 1 м (рис.5). Здесь общая биомасса макрофитов и вклад видов цистозирры незначительно варьирует (4964,4 – 4991,6 г·м⁻² и 86 – 85 % соответственно).

Филлофора курчавая (*Phyllophora crispa*) (рис.5, «2») господствует в глубоководной зоне (глубина 10 – 15 м) на выходе из бухты вдоль обоих побережий на гравийно-песчаных отложениях с битой ракушкой. Ее доля составляет 53 – 88 %, тогда как на глыбово-валунном субстрате на этой же глубине встречаются виды цистозирры, вклад которых существенно ниже (2 – 25 % общей биомассы макрофитов) (рис.5). Биомасса макрофитобентоса изменяется в узком диапазоне (651,5 – 900,4 г·м⁻²).

Заросли взморника Нольта (рис.5, «3»), среди которых изредка встречается рдест гребенчатый, представлены в южной, юго-западной и центральной части бухты на слабонаклонной аккумулятивной равнине на псаммитово-алевритовых донных осадках на глубине 3 – 5 м. Биомасса макрофитобентоса не превышает 287,3 – 1111,0 г·м⁻², при этом его наибольшая величина отмечена в южной части бухты, а наименьшая характерна для ее центральной части. Доля эдификатора фитоценоза достигает 92 – 100 % общей биомассы макрофитов.

Виды цистозирры (рис.5, «4») зарегистрированы на глыбово-валунном субстрате в юго-восточной части бухты на глубине 0,5 – 5 м, а взморник Нольта – на песчано-илистом грунте. На этом участке общая биомасса макро-



Условные обозначения:

- 1 виды цистозеры (*Cystoseira crinita* и *C. barbata*) на глыбово-валунном субстрате и выходах коренных пород
- 2 филофора курчавая (*Phyllophora crispata*) на гравийно-песчаных отложениях с битой ракушей, а виды цистозеры (*Cystoseira crinita* и *C. barbata*) на глыбово-валунном субстрате
- 3 взморник Нольта (*Zostera noltei*) на песчано-илистом грунте
- 4 виды цистозеры (*Cystoseira crinita* и *C. barbata*) на глыбово-валунном субстрате, взморник Нольта (*Zostera noltei*) на песчано-илистом грунте
- 5 сообщество морских трав: взморник Нольта, рдест гребенчатый и виды руппии (*Zostera noltei*, *Stuckenia pectinata*, *Ruppia* spp.) на илисто-песчаных отложениях
- 6 сообщество морских трав и зеленых водорослей, представленных преимущественно видами кладофор (*Cladophora* spp.) на илистых осадках

Р и с . 5 . Карта распределения доминирующих видов макрофитов в бухте Круглая.

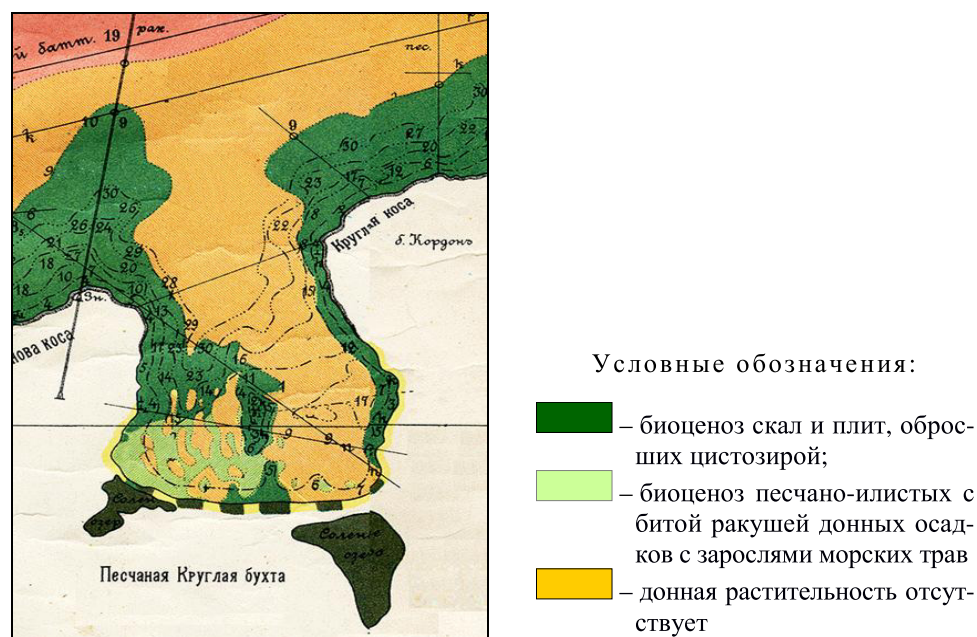
фитов с увеличением глубины снижается от 3629,6 до 418,7 г·м⁻².

Сообщество морских трав (рис.5, «5»), среди которых преобладают взморник Нольта (64 – 57 %) и рдест гребенчатый (31 – 37 %), а вклад видов руппии не превышает 1 – 3 % общей биомассы макрофитов отмечено в южной части бухты на илесто-песчаных донных отложениях на глубине 0,5 – 3 м. Общая биомасса высшей водной растительности изменяется в узких пределах 1097,0 – 1253,4 г·м⁻².

Единично угнетенные морские травы (рис.5, «6»), а также зеленые виды водорослей, составленные преимущественно кладофорами (*Cladophora* spp.) встречаются в устьевой кутовой части бухты, которая представляет выровненную поверхность, сложенную илесто-песчаными донными отложениями, с глубиной 1 – 2 м.

Сравнение с «Картой распределения биоценозов в Черном море у Севастополя», составленной коллективом ученых и рыбаков во главе с С.А.Зерновым [13], показал, что в бухте основными биотопами являются биоценоз скал, плит и биоценоз песчано-илистых с битой ракушей донных отложений (рис.6). На карте отмечено, что на выходах коренных пород обильно встречаются виды цистозир, тогда как на рыхлом субстрате зарегистрированы заросли морских трав. В центральной северной части бухты на гальке и песке донная растительность отсутствует. Кутовая часть бухты в то время была представлена соленым озером.

Сравнительный анализ данных аэрофотосъемки акватории, выполненной с помощью БПЛА, в сочетании с материалами современного состояния макрофитобентоса и картографической информации С.А.Зернова выявил, что, в целом, за более чем 100 лет распределение донной растительности ока-



Р и с . 6 . Фрагмент из «Карты распределения биоценозов в Черном море у Севастополя» С.А.Зернова (1910 – 1911 гг.) [13].

залось сходным, только изменились площади ареалов доминирующих видов макрофитов. Таким образом, вполне очевидна разница скорости получения информационных материалов. Карта, составленная С.А.Зерновым, создавалась в течение двух лет путем значительного количества промеров глубины и отбора проб грунта, макрофитов. В тоже время применение БПЛА в исследовании донной растительности позволяет оперативно и точно получать информацию о ее распределении в прибрежной зоне.

Заключение. На основе материалов, полученных в ходе аэрофотосъемки, и гидробиотических исследований составлена карта распределения донной растительности в бухте Круглая. Показаны пространственные закономерности распределения доминирующих видов макрофитов (виды цистозиры, филофора, взморник Нольта и рдест гребенчатый) и даны их количественные характеристики. Виды цистозиры приурочены к глыбово-валунным отложениям и характерны для западного и восточного побережья бухты. Филофора курчавая господствует в глубоководной зоне на выходе из бухты вдоль обоих побережий на гравийно-песчаных отложениях с битой ракушей. Для южной части бухты на илисто-песчаных отложениях зарегистрированы заросли морских трав. В кутовой части бухты отмечены зеленые виды водорослей. Бухта Круглая характеризуется значительными площадями, где донная растительность отсутствует.

Проведение аэрофотосъемки макрофитобентоса в прибрежной зоне моря может быть необходимым элементом экспедиционных исследований. Тем не менее, применение современных технологий требует дальнейших научно-методологических разработок.

Работа выполнена в рамках госзадания ФГБУН ФИЦ ИнБЮМ по теме «Исследование механизмов управления продукционными процессами в биотехнологических комплексах с целью разработки научных основ получения биологически активных веществ и технических продуктов морского генезиса» (гос. рег. № АААА-А18-118021350003-6).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мильчакова Н.А., Миронова Н.В., Рябогина В.Г. Морские растительные ресурсы // Промысловые биоресурсы Черного и Азовского морей / Под ред. В.Н.Еремеева, А.В.Гаевской, Г.Е.Шульмана, Ю.А.Загородней.- Севастополь, 2011.- гл.4.- С.117-139.
2. Миронова Н.В., Мильчакова Н.А., Рябогина В.Г. Ресурсы макрофитов побережья Гераклейского полуострова и особенности их многолетней динамики (Крым, Черное море) // Морские промысловые беспозвоночные и водоросли: биология и промысел.- Труды ВНИРО.- 2007.- т.147.- С.381-396.
3. Белов А.В. Лямкин В.Ф., Соколова Л.П. Картографическое изучение биоты.- Иркутск: Облмашинформ, 2002.- 160 с.
4. Серегин А.П. Флора Владимирской области: анализ данных сеточного картирования.- М.: Товарищество научных изданий КМК, 2014.- 441 с.
5. Голубева Е.И., Котова Т.В., Тульская Н.И. Атласное картографирование продукционных процессов наземных экосистем России // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка.- М.: Изд-во Моск. ун-та геодезии и картографии, 2016.- № 5.- С.8-12.

6. *Немцева Л.Д., Голубева Е.И.* Данные дистанционного зондирования и наземного спектрометрирования в исследовании состояния растительности степей в условиях выпаса // Проблемы региональной экологии.- 2018.- № 4.- С.37-42.
7. *Каширина Е.С., Бондарева Л.В.* Картографирование растительности ландшафтного заказника общегосударственного значения «Мыс Фиолент» и общезоологического заказника общегосударственного значения «Бухта Казачья» (Большой Севастополь, Крым) // Экосистемы, их оптимизация и охрана.- 2013.- вып.8.- С.130-140.
8. *Домнина Е.А., Тимонов А.С., Кантор Г.Я., Кислицына А.П., Савиных В.А.* Опыт составления детальной карты растительности пойменного луга // Теоретическая и прикладная экология.- 2017.- № 1.- С.42-49.
9. *Петров К.М.* Подводные ландшафты: теория, методы исследования.- Л.: Наука, 1989.- 126 с.
10. *Блинова Е.И., Пронина О.А., Штрик В.А.* Методические рекомендации по учету запасов промысловых морских водорослей прибрежной зоны // Методы ландшафтных исследований и оценки запасов донных беспозвоночных и водорослей морской прибрежной зоны. Изучение экосистем рыбохозяйственных водоемов, сбор и обработка данных о водных биологических ресурсах, техника и технология их добычи и переработки.- М.: Изд-во ВНИРО, 2005.- вып.3.- С.80-127.
11. *Roelfsema C.M., Phinn S.R., Dennison W.C.* Spatial distribution of benthic microalgae in coral reefs determined by remote sensing// Coral Reefs.- 2002.- v.21, № 3.- P.264-274.
12. *Joyce K.E., Phinn S.R., Roelfsema C.M., Neil D.T., Dennison W.C.* Combining Landsat ETM+ and Reef Check classifications for mapping coral reefs: a critical assessment from the Southern Great Barrier Reef // Coral Reefs.- 2004.- v.23, № 1.- P.21-25.
13. *Зернов С.А.* К вопросу об изучении жизни Черного моря // Записки Императорской Академии Наук.- СПб.: Тип. Имп. АН, 1913.- т.32, № 1.- 304 с.
14. *Калугина-Гутник А.А., Евстигнеева И.К., Миронова Н.В.* Изменения донной растительности на открытом побережье Севастопольской бухты за период с 1964 по 1990 гг. // Альгология.- 1993.- т.3, № 2.- С.42-48.
15. *Евстигнеева И.К., Николенко Н.В.* Растительность прибрежного мелководья Черного моря в условиях антропогенного воздействия // Альгология.- 2003.- т.13, № 4.- С.371-380.
16. *Ковардаков С.А., Празукин А.В.* Структурно-функциональные характеристики донного фитоценоза бухты Круглой (Севастополь) // Экосистемы, их оптимизация и охрана.- 2012.- № 7.- С.138-148.
17. *Калугина-Гутник А.А.* Фитобентос Черного моря.- Киев: Наукова думка, 1975.- 248 с.

Материал поступил в редакцию 12.07.2019 г.
После доработки 03.08.2019 г.

T.V.Pankeeva, N.V.Mironova, B.A.Novikov

MAPPING OF BOTTOM VEGETATION OF KRUGLAYA BAY (THE BLACK SEA, SEVASTOPOL)

The possibility of digital technology for seafloor vegetation mapping for coastal area is demonstrated. The Kruglaya Bay was chosen as a model region for macrophytes distribution mapping. The bay stands out with biological diversity and an abundance of unique

habitats of bottom vegetation, which results in ideal habitat for seagrass and algae. Aerial photography using an unmanned aerial vehicle (UAV) and hydro-botanical studies were conducted in summer 2018. The map of macrophyte distribution was made based on aerial photos, while composition and structure were determined through hydro-botanical surveys. Five transects and hydro-botanical profiles were made for classification of areas with mass macrophyte species in the bay. Six bottom plant communities were identified for mapping. Digitized boundaries were plotted on the map of macrophytes distribution in the Kruglaya Bay using software package *QGIS* version 2.18.12. The spatial patterns of the distribution of dominant macrophyte species (*Cystoseira*, *Phyllophora*, *Zostera noltei* and *Stuckenia pectinata*) were mapped along with quantitative characteristics. *Cystoseira* spp live on block boulder deposits and can be found in western and eastern parts of the Bay. *Phyllophora crispa* dominates in the deep-water area at the bay exit, along both coasts consisting of gravel and sand deposits with a broken shell. Seaweed is registered on silty-sandy deposits in the southern parts of the bay. Green algae species are found in the most protruding part of the Bay. The Kruglaya Bay is distinguished by significant areas where bottom vegetation is absent.

KEYWORDS: bottom vegetation, GIS, unmanned aerial vehicle (drone), orthophotoplan, the Kruglaya Bay, the Black Sea