

УДК 502.75:581.526.323(262.5)

Долговременные изменения пространственного распределения запасов макрофитов в бухте Ласпи (Черное море)

Миронова Н. В., Панкеева Т. В.

*Институт морских биологических исследований им. А. О. Ковалевского РАН
Севастополь, Россия
tatyapankeeva@yandex.ru, dr.nataliya.mironova@yandex.ru*

На основе ландшафтного подхода выполнен сравнительный анализ пространственно-временных изменений запасов макрофитобентоса в бухте Ласпи за период с 1983 по 2016 год. Составлены ландшафтные карты дна бухты, показано распространение донных природных комплексов (ДПК) с ключевыми черноморскими видами макрофитов. Выявлено, что в бухте за 33-х летний промежуток времени запасы макрофитобентоса сократились примерно в 1,5 раза, филофоры – в 35 раз, zostеры – в 4 раза. За исследуемый период наиболее выраженная существенная перестройка и деградация растительной компоненты ДПК произошла в нижней сублиторальной зоне бухты, где отмечено снижение ресурсного потенциала макрофитобентоса, что характерно для всего крымского побережья начиная с конца 80-х годов прошлого века. Для центральной части бухты на слабонаклонной аккумулятивной равнине, сложенной илисто-песчаными и песчаными с битой ракушкой отложениями, также характерны негативные пространственно-временные изменения, где ДПК с преобладанием zostеры морской и филофоры курчавой (1983–1998 гг.) заменились сначала на ДПК с разреженным сообществом макрофитов и господством видов кладофоры (2008 г.), а затем на глубине 3–10 м был зарегистрирован ДПК, лишенный донной растительности с выраженными рифелями (2016 г.). Изменение конфигурации границ и запасов макрофитобентоса ДПК, вероятно, связано с нарушением гидродинамического режима в бухте, который вызван разрушением берегового склона в результате активной застройки побережья, что привело к размыванию береговых наносов, дополнительному поступлению терригенного материала, заилению центральной части бухты. Для сохранения и восстановления особо ценных ландшафтов, в состав которых входят ключевые средообразующие виды черноморских макрофитов, необходим комплексный подход к охране морских акваторий с включением в их состав прибрежных территорий.

Ключевые слова: цистозира, филофора, zostера, запас фитомассы макрофитов, ландшафт, донные природные комплексы, Черное море.

ВВЕДЕНИЕ

Морские макрофиты являются важнейшим продукционным звеном прибрежных экосистем и играют в них стабилизационную роль, участвуют в самоочищении и аэрации водных масс. Известно, что донная растительность выступает ландшафтообразующим фактором, при этом макрофитобентос считается одним из основных компонентов донных природных комплексов (ДПК) (Петров, 1989). ДПК представляют относительно однородные участки дна, характеризующиеся единством взаимосвязанных компонентов: литогенной основы (донных осадков в пределах активного слоя или поверхности коренной породы), придонной водной массы и населяющих их морских организмов (Папунов, 2008). В условиях увеличения антропогенной нагрузки и возросшей эвтрофикации отмечена негативная трансформация ДПК не только на хозяйственно освоенных, но и на относительно чистых участках акватории (Мильчакова, 2003; Миронова и др., 2007). Общеизвестно, что состав, структура и запасы макрофитобентоса уязвимы и реагируют на изменения качества морской среды, что позволяет использовать его при изучении многолетней динамики ДПК (Мильчакова, Петров, 2003; Мильчакова и др., 2011). Таким образом, исследование растительной компоненты ДПК приобретает высокую научно-практическую значимость, становится основой рационального природопользования прибрежной зоны.

Цель исследований – изучение пространственно-временного распределения запасов макрофитобентоса и ключевых видов макрофитов (цистозира, филлофора, zostера) в ДПК бухты Ласпи.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Бухта Ласпи – это наиболее крупная открытая бухта юго-западного побережья г. Севастополя. Протяженность ее береговой линии составляет около 4 км. Подводный береговой склон приглубый, на большей части выражен глыбовый бенч. Наиболее обширная центральная часть бухты занята слабонаклонной равниной, сложенной алевроито-псаммитовыми отложениями. Гидродинамический режим ее акватории обусловлен влиянием циркуляционных систем антициклонического типа, поступлением глубинных вод в поверхностные слои в результате сгонно-нагонных явлений и водообменом с открытым морем, что способствует динамической активности и аэрации вод. В летнее время преобладают вдольбереговые течения, преимущественно восточного направления (Ациховская, Чекменева, 2002).

Бухта характеризуется обилием уникальных местообитаний макрофитобентоса. В настоящее время ее береговая зона является привлекательной для развития рекреационной деятельности. С целью охраны морской акватории бухты созданы государственный природный ландшафтный заказник регионального значения «Мыс Айя» и гидрологический памятник природы регионального значения «Прибрежный аквальный комплекс у мыса Сарыч». Наблюдения за состоянием донной растительности и ресурсным потенциалом макрофитобентоса в бухте проводятся с 1964 года (Калугина-Гутник, 1975, 1989; Мильчакова, 2003; Мильчакова, Петров, 2003).

Исследования ДПК бухты проводили на основе общих положений программы подводных ландшафтных работ с использованием легководолазной техники с борта маломерного судна (Петров, 1989; Игнатов и др., 1982) Для изучения пространственно-временных изменений запасов макрофитобентоса с учетом ландшафтной структуры дна использовали материалы четырех экспедиций, проведенных в бухте Ласпи в летние периоды 1983, 1998, 2008 и 2016 годов, при этом отбор проб осуществляли по одной и той же методике и на тех же выбранных участках бухты. В эти года в бухте закладывали по четыре трансекты, которые располагали перпендикулярно к берегу и охватывали все типы ландшафтов (рис. 1). Их длина варьировала в зависимости от особенностей геолого-геоморфологического строения подводного рельефа и нижней границы обитания донной растительности (табл. 1). На каждой трансекте дайвер, снабженный дайв-компьютером, отмечал глубину смены ландшафта, нижнюю границу фитали, при этом выполняя фото- (1983 г.) и видеосъемку (1998, 2008, 2016 гг.).

Затем на ключевых точках, расположенных на стандартных глубинах (0,5; 1; 3; 5; 10; 15; 20 и 25 м), которые используются при гидробиотических исследованиях, дайвер визуально описывал донные отложения, пользуясь классификацией морских обломочных осадков по гранулометрическому составу, разработанной П. Л. Безруковым и А. П. Лисициным (1960). Кроме этого, учитывали данные по гранулометрическому составу донных осадков в бухте Ласпи, которые были опубликованы в работе Ю. М. Петухова с соавторами (1991). На этих глубинах для изучения состава и структуры макрофитобентоса закладывали по четыре учетные площадки размером 25×25, при этом определяли проективное покрытие дна макрофитами. Всего заложено 95 станций, собрано и обработано 380 количественных и качественных проб по стандартной методике, применяемой в морской гидробиотике (Калугина-Гутник, 1975). Выделение фитоценозов проводили согласно доминантной классификации по А. А. Калугиной-Гутник (1975). Оценку ресурсов донной растительности выполняли по стандартной методике, используемой в морских фитоценологических исследованиях (Левин, 1994).

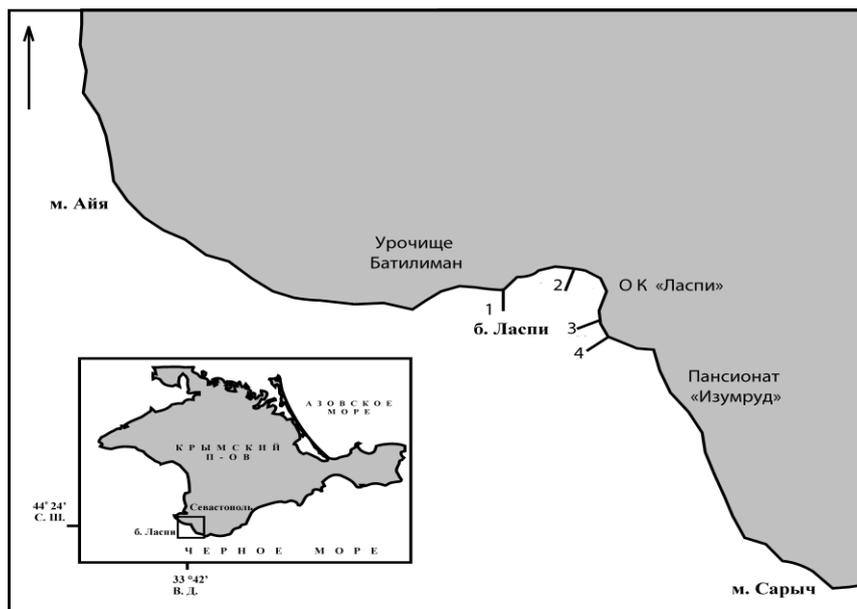


Рис. 1. Картограмма района исследований: 1–4 – номера трансект

Таблица 1

Диапазон глубин исследования и изменение ширины фитали
в районе трансект в бухте Ласпи по годам

№ трансект	Диапазон глубин, м				Ширина фитали, м			
	1983	1998	2008	2016	1983	1998	2008	2016
1	0,5–20	0,5–20	0,5–15	0,5–15	261	261	143	143
2	3,0–20	1,0–20	1,0–10	0,5–10	575	650	125	125
3	0,5–20	0,5–20	0,5–15	0,5–5	530	530	355	80
4	0,5–25	0,5–25	0,5–15	0,5–10	330	330	180	105

Картирование акватории осуществляли на основе составленных ландшафтных профилей и интерпретационных таблиц. Для создания ландшафтной карты использовали программный пакет QGIS 2.14.18 и электронную основу навигационной карты бухты Ласпи. Географическую привязку границ ДПК и определение их площади осуществляли с помощью программы QGIS. Сопряженный анализ батиграфии, карт литологического состава и данных водозлазных съемок позволили провести экстраполяцию участков дна со сходными параметрами для выделения границ ДПК. Результаты обобщения исследований ДПК бухты Ласпи отражены на четырех ландшафтных картах за 1983, 1998, 2008 и 2016 годы, где на их основе изучены пространственные изменения состава и структуры донной растительности и проведена оценка запасов макрофитобентоса и доминирующих видов макрофитов.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Своеобразие геолого-геоморфологического строения и гидродинамического режима бухты обусловило разнообразие сообществ макрофитов, где представлены фитоценозы как морских трав, так и водорослей. В 2016 году в ландшафтной структуре прибрежной зоны бухты Ласпи выделено пять типов ДПК с участием ключевых видов макрофитов: цистозирры (*Cystoseira barbata* C. Ag. и *C. crinita* (Desf.) Bory), филлофоры (*Phyllophora crispa* (Huds.) P. S. Dixon = *Ph. nervosa* (DC) Grev.) и zostеры (*Zostera marina* L.) (рис. 2). Характерно, что *Ph. crispa* входит в списки Красной книги РФ (2008) и Красной книги Крыма (2016), *C. crinita*, *C. barbata* – Красной книги Крыма (2016), а zostера – единственный вид черноморских макрофитов, который охраняется по Бернской конвенции.

Подводный береговой абразионный склон, сложенный псефитовыми отложениями, с преобладанием видов цистозиры. ДПК имеет широтное простираение вдоль всей береговой линии на глубине от 0,5 до 5 м, при этом нижняя граница его распространения варьирует в разных частях бухты: в северо-западной, восточной и юго-восточной части доходит до глубины 5 м, а в центральной (вершина бухты) – до глубины 3 м (рис. 2). Подводный склон приглубый, выражен глыбово-валунный бенч, характерно чередование участков с различной крутизной, отличающихся литологией и особенностями микрорельефа. Площадь этого ДПК наибольшая и достигает 30 % общей площади акватории бухты (табл. 2). Здесь представлен фитоценоз *Cystoseira crinita*+*C. barbata* – *Cladostephus spongiosus* – *Ellisolandia elongata* [= *Corallina mediterranea*]. На ДПК отмечены максимальные запасы макрофитов и цистозиры (69 и 76 % соответственно общих запасов макрофитобентоса бухты) (табл. 2). Запас их фитомассы достигает 44,2 и 35,0 т·га⁻¹ соответственно.

Этот тип ДПК выделяли в течение прошедших 33 лет (1983–2016 гг.), его глубина распространения и площадь колебались на протяжении этого срока, при этом наибольшие изменения произошли в вершине бухты. Здесь ширина галечного бенча, где донная растительность отсутствовала, за исследуемый период уменьшилась до глубины 0,5 м, тогда как в 1983 году доходила до глубины 3 м.

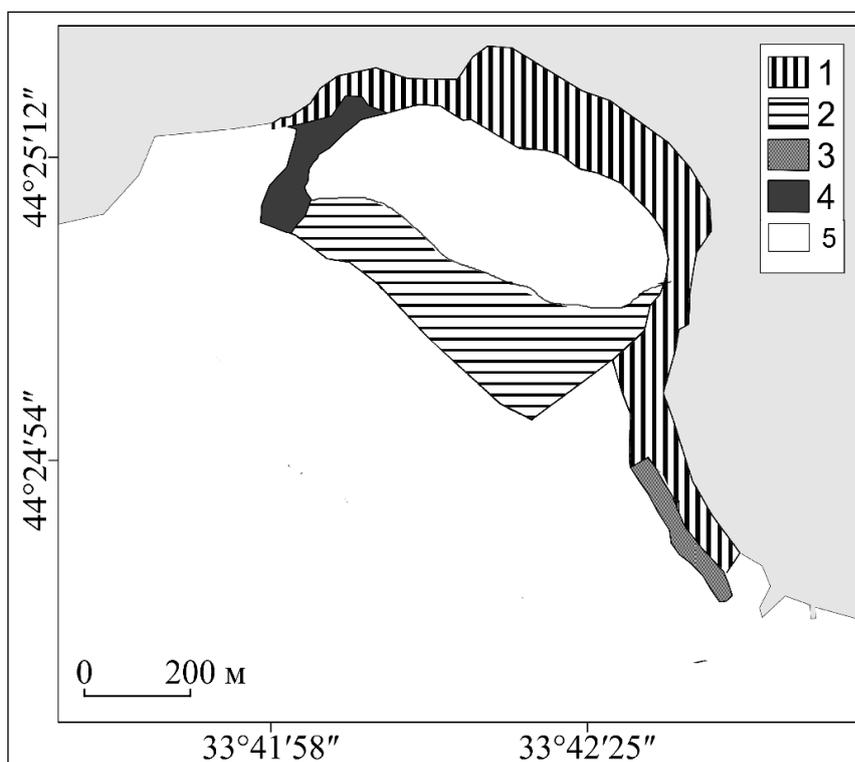


Рис. 2. Картограмма ландшафтной структуры дна бухты Ласпи (2016 г.)

Условные обозначения: 1 - подводный береговой абразионный склон, сложенный псефитовыми отложениями, с преобладанием видов цистозиры; 2 - слабонаклоненная аккумулятивная равнина, сложенная алеврито-псаммитовыми отложениями, с преобладанием zostеры морской; 3 - подводный береговой абразионный склон, сложенный псефитовыми отложениями, с доминированием видов цистозиры и с чередованием галечно-гравийных с битой ракушкой донных осадков, где преобладает филофора курчавая; 4 - подводный береговой абразионный склон, сложенный псефитовыми отложениями, с преобладанием видов цистозиры, а на алеврито-псаммитовых донных осадках доминирует zostера морская; 5 - слабонаклоненная аккумулятивная равнина, сложенная псаммитовыми отложениями с выраженными рифелями, лишенная донной растительности.

В 2008 году глубина простираения ДПК также существенно варьировала. В северо-западной и восточной части бухты он был распространен до глубины 10 м, в юго-восточной – до глубины 15 м, а в вершине бухты – на глубине 1–3 м. Площадь ДПК была в 1,5 раза больше, чем в 2016 году (рис. 3, табл. 3). Однако запас фитомассы макрофитов и цистозир был в 4 и 5 раз соответственно ниже, чем эти показатели в 2016 году (табл. 3).

Таблица 2

Распределение запасов макрофитобентоса и доминирующих видов макрофитов в ДПК прибрежной зоны бухты Ласпи в 2016 году

ДПК	Глубина, м	Площадь, га	Запас фитомассы (т/га ⁻¹)			
			макрофитов	видов цистозир	филлофоры курчавой	зостеры морской
1	0,5–5	16,1	44,2	35,0	0,1	0
2	10–15	13,6	4,0	0,8	0	1,9
3	5–10	10,0	11,4	7,9	0,8	0
4	5–10	3,1	48,5	26,5	0	4,2
5	3–10	11,6	0	0	0	0

Примечание. Нумерация и описание ДПК соответствуют сведениям, представленным на рисунке 2.

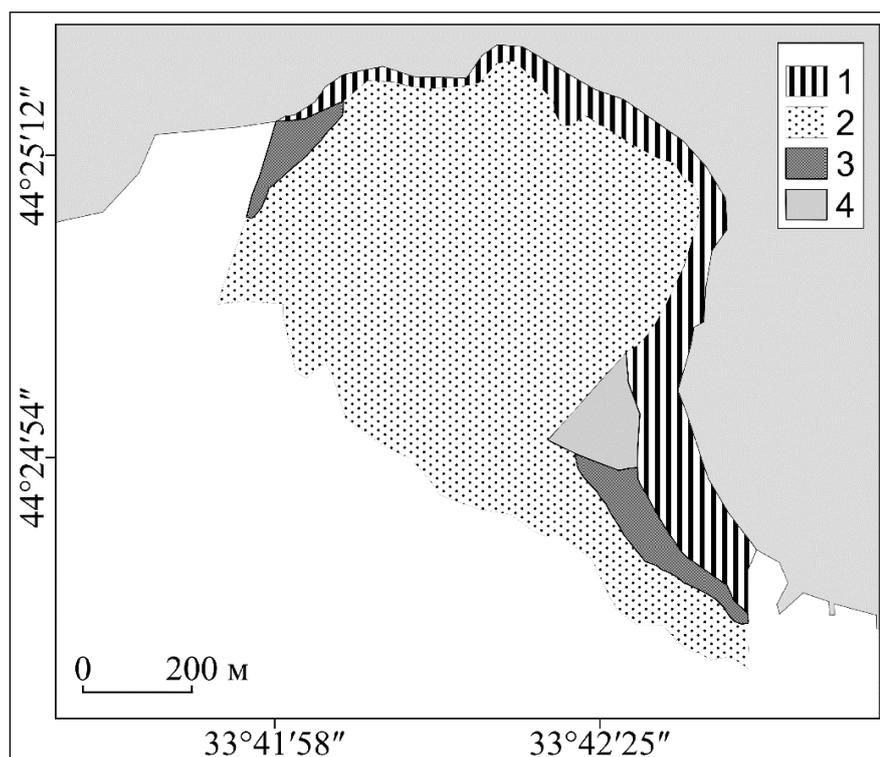


Рис. 3. Картограмма ландшафтной структуры дна бухты Ласпи (2008 г.)

Условные обозначения: 1 – подводный береговой абразионный склон, сложенный псефитовыми отложениями, с преобладанием видов цистозир; 2 – слабонаклоненная аккумулятивная равнина, сложенная алеврито-псаммитовыми отложениями, с сильно деградированным разреженным сообществом макрофитов и преобладанием видов кладофоры; 3 – подводный береговой абразионный склон, сложенный псефитовыми отложениями, с доминированием видов цистозир и с чередованием галечно-гравийных с битой ракушей донных осадков, где преобладает филлофора курчавая; 4 – абразионно-аккумулятивная терраса, сложенная псефито-псаммитовыми отложениями, с преобладанием кодидума червеобразного и стилофоры нежной.

В 1998 году этот ДПК простирался вдоль береговой линии на глубине 0,5–10 м, за исключением центральной части бухты, где занимал глубины от 1 до 10 м (рис. 4). В этом году площадь ДПК была максимальной за весь период изучения, что связано с расширением ареала цистозирового фитоценоза в вершине бухты (табл. 3). В тот период запас фитомассы макрофитов и цистозеры был вдвое ниже, чем эти величины в 2016 году, но вдвое и втрое соответственно выше, чем эти показатели в 2008 году (табл. 3).

Таблица 3

Изменение площади, диапазона глубин, запаса фитомассы макрофитов и ключевых видов водорослей в ДПК с преобладанием видов цистозеры по годам

Год	Площадь, га	Диапазон глубин, м	Запас фитомассы, т га ⁻¹		
			макрофитов	видов цистозеры	филлофоры курчавой
2016	16,1	0,5–5	44,2	35,0	0,1
2008	23,5	0,5–15	11,3	7,3	0,3
1998	35,5	0,5–10	27,1	20,6	1,5
1983	28,6	0,5–10	27,8	16,2	2,0

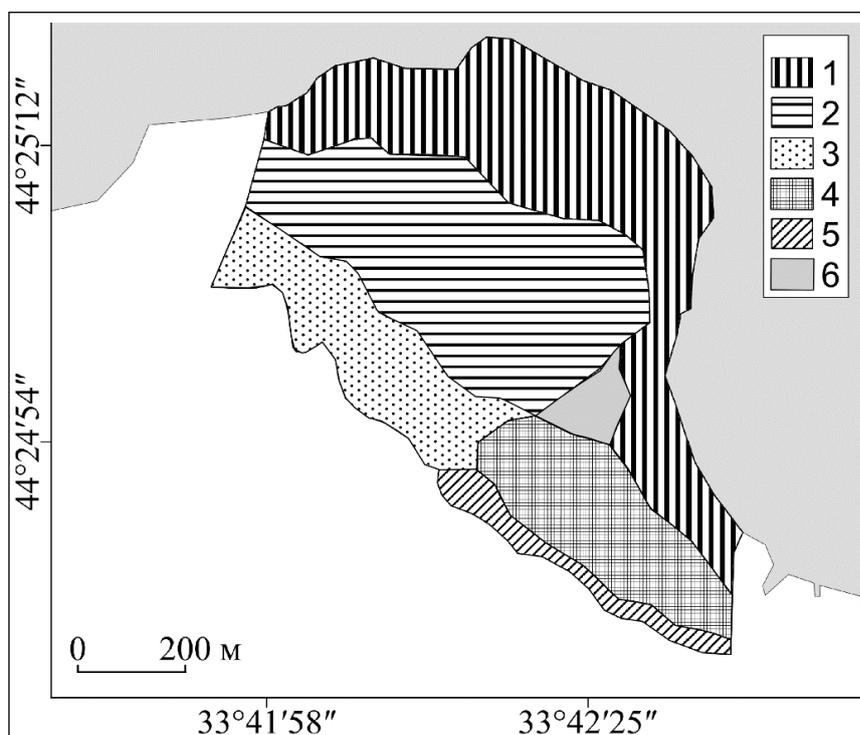


Рис. 4. Картограмма ландшафтной структуры дна бухты Ласпи (1998 г.)

Условные обозначения: 1 – подводный береговой абразионный склон, сложенный псефитовыми отложениями, с преобладанием видов цистозеры; 2 – слабонаклоненная аккумулятивная равнина, сложенная алеврито-псаммитовыми отложениями с доминированием зостеры морской; 3 – слабонаклоненная аккумулятивная равнина, сложенная алеврито-псаммитовыми отложениями, с сильно деградированным разреженным сообществом макрофитов и преобладанием видов кладофоры; 4 – слабонаклоненная аккумулятивная равнина, сложенная псаммитовыми отложениями, с доминированием филлофоры курчавой; 5 – слабонаклоненная аккумулятивная равнина, сложенная псаммитовыми отложениями, с преобладанием кодиума червеобразного, ульвы жесткой и видов церамиума; 6 – абразионно-аккумулятивная терраса, сложенная псефито-псаммитовыми отложениями, с преобладанием хондрии волосовидной и стилофоры нежной.

В 1983 году ДПК доходил до глубины 10 м в северо-западной и восточной частях бухты, в юго-восточной – до глубины 5 м, а в центральной отмечен на глубине от 3 до 5 м (рис. 5). Его площадь была в 1,2 раза меньше, чем эта величина в 1998 году, в связи с тем, что в верхней части бухты макрофитобентос встречался только с глубины 3 м. Запас фитомассы макрофитов был соизмеримым, цистозиры – в 1,3 раза ниже, чем эти показатели в 1998 году, при этом запас фитомассы филлофоры был наиболее высоким за весь период наблюдений (табл. 3).

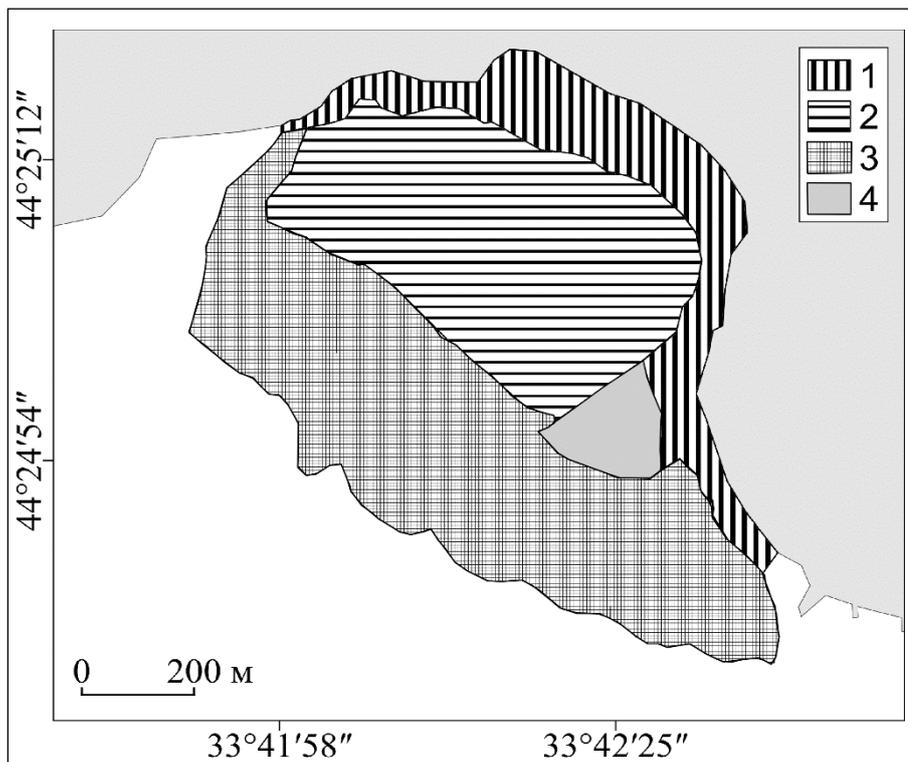


Рис. 5. Картограмма ландшафтной структуры дна бухты Ласпи (1983 г.)

Условные обозначения: 1 – подводный береговой абразионный склон, сложенный псефитовыми отложениями, с преобладанием видов цистозиры; 2 – слабонаклоненная аккумулятивная равнина, сложенная алеврито-псаммитовыми отложениями, с доминированием зостеры морской; 3 – слабонаклоненная аккумулятивная равнина, сложенная псаммитовыми отложениями с примесью битой ракушки, с преобладанием филлофоры курчавой; 4 – абразионно-аккумулятивная терраса, сложенная псефито-псаммитовыми отложениями, с преобладанием цистозиры бородастой и филлофоры курчавой.

Слабонаклоненная аккумулятивная равнина, сложенная алеврито-псаммитовыми отложениями, с преобладанием зостеры морской. ДПК расположен в северо-западной и центральной части бухты на глубине от 10 до 15 м (рис. 2). Рельеф представляет выровненную поверхность с илито-песчаными донными осадками, характерны слабо выраженные знаки ряби (рифелей). Его площадь составляет 25 % общей площади бухты (табл. 2). Здесь зарегистрирован фитоценоз морской травы – *Zostera marina*. Между растениями зостеры на грубообломочном субстрате и битой ракушке мозаично располагаются группировки водорослей, в составе которых доминируют виды цистозиры. Доля макрофитов, цистозиры и зостеры составляет 5, 1,5 и 67 % общих запасов макрофитобентоса бухты (табл. 2). Запас фитомассы макрофитов и видов цистозиры – наименьший по сравнению с этими же показателями на других ДПК (табл. 2).

В 2008 году в северо-западной части бухты на этих глубинах был представлен ДПК, сложенный псефитовыми отложениями, с доминированием видов цистозиры и с

чередованием галечно-гравийных с битой ракушей донных осадков, где преобладала филлофора курчавая (рис. 3). Единично на илисто-песчаных отложениях встречалась *Z. marina*. Запас фитомассы макрофитов, цистозеры и филлофоры достигал 2,9; 0,4 и 0,5 т га⁻¹. Центральную часть бухты на слабонаклоненной аккумулятивной равнине занимал ДПК, сложенный алеврито-псаммитовыми отложениями, с сильно деградированным разреженным сообществом макрофитов и преобладанием видов кладофоры (рис. 3). В составе сообщества изредка встречалась zostера морская, доля участия которой была незначительной. Запас фитомассы макрофитов не превышал 0,2 т га⁻¹.

В 1998 году в северо-западной и центральной части бухты на глубине 10–15 м был расположен ДПК, сложенный алеврито-псаммитовыми отложениями, с преобладанием zostеры морской (рис. 4). На отдельно расположенных глыбах и грубообломочном субстрате отмечены группировки водорослей, опутанных нитями кладофор. Запас фитомассы макрофитов и zostеры не превышал 3,5 и 1,3 т га⁻¹.

В 1983 году в центральной и северо-западной части бухты на этих глубинах располагался ДПК, сложенный псаммитовыми отложениями с примесью битой ракуши, где доминировала филлофора курчавая (рис. 5).

Подводный береговой абразионный склон, сложенный псефитовыми отложениями, с доминированием видов цистозеры и с чередованием галечно-гравийных с битой ракушей донных осадков, где преобладает филлофора курчавая. ДПК занимает юго-восточную часть бухты на глубине от 5 до 10 м (рис. 2). Для рельефа дна характерны крутые склоны с участками относительно выровненных абразионно-аккумулятивных террас. Литологический состав разнороден, отмечены хаотично расположенные отдельные глыбы и валуны. Площадь ДПК не превышает 18 % общей площади бухты (табл. 2). На глыбовом субстрате представлен фитоценоз *Cystoseira crinita*+*C. barbata* – *Cladostephus spongiosus* – *Ellisolandia elongata*, на галечно-гравийных с битой ракушей отложениях – фитоценоз *Phyllophora crispa*. Вклад макрофитов, видов цистозеры и филлофоры составляет 11; 11 и 82 % соответственно общих запасов макрофитобентоса бухты. Здесь зарегистрирован максимальный запас фитомассы филлофоры курчавой (табл. 2).

В 2008 и 1998 годах в этой части бухты на этих глубинах был зарегистрирован ДПК, сложенный псефитовыми отложениями, с доминированием видов цистозеры (рис. 3–4), а в 1983 году здесь располагался ДПК с преобладанием филлофоры курчавой (рис. 5).

Подводный береговой абразионный склон, сложенный псефитовыми отложениями, с преобладанием видов цистозеры, а на алеврито-псаммитовых донных осадках доминирует zostера морская. ДПК занимает северо-западную часть бухты на глубине от 5 до 10 м (рис. 2). Подводный склон приглубый, характерен глыбовый навал. Нижняя часть подводного склона относительно выровнена, сложена илисто-песчаными отложениями с отдельно расположенными глыбами. Его площадь – наименьшая по сравнению с этими же показателями на других ДПК (табл. 2). На глыбовом субстрате зарегистрирован фитоценоз *Cystoseira crinita*+*C. barbata* – *Cladostephus spongiosus* – *Ellisolandia elongata*. Сообщество морской травы *Zostera marina* представлено фрагментарно. Этот фитоценоз характерен для нижней части склона, который представляет переходную зону от подводного склона к равнине. Вклад макрофитов, видов цистозеры и zostеры составляет 15, 11 и 33 % соответственно общих запасов макрофитобентоса бухты (табл. 2). Здесь отмечен максимальный запас фитомассы макрофитов и zostеры морской по сравнению с этими же величинами на других ДПК (табл. 2).

Этот тип ДПК был описан впервые за весь срок наблюдений. В 2008, 1998 и 1983 годы на этих глубинах был представлен ДПК, сложенный псефитовыми отложениями, с доминированием видов цистозеры (рис. 3–5). Характерно, что запас фитомассы видов цистозеры снижался более чем в пять раз за период с 1983 по 2008 год, при этом он был максимальным в 2016 году, а минимальным – в 2008 году (табл. 4). Ранее в расщелинах между глыбами и валунами были отмечены галечно-гравийные с битой ракушей донные осадки, где встречалась филлофора курчавая, запас фитомассы которой снизился почти на порядок за период с 1983 по 2008 год (табл. 4).

Таблица 4

Изменение запаса фитомассы макрофитобентоса и ключевых видов макрофитов в ДПК, расположенном в северо-западной части бухты на глубине 5–10 м по годам

Год	ДПК	Запас фитомассы, т га ⁻¹			
		макрофитов	видов цистозиры	филлофоры	зостеры морской
2016	с преобладанием видов цистозиры и зостеры	48,5	26,5	0	4,2
2008	с доминированием видов цистозиры	18,4	3,8	1,4	0
1998	с доминированием видов цистозиры	31,7	14,0	5,1	0
1983	с доминированием видов цистозиры и высокой долей филлофоры	61,0	21,6	12,2	0

Слабонаклоненная аккумулятивная равнина, сложенная псаммитовыми отложениями с выраженными рифелями, лишенная донной растительности. ДПК занимает центральную часть бухты на глубине 3–10 м (рис. 2). Рельеф представляет выровненную поверхность с илито-песчаными донными осадками и хорошо выраженными крупными знаками ряби (рифелей). Площадь ДПК составляет 11,6 га.

В 2008 году в этой части бухты на этих глубинах располагался ДПК, сложенный алеврито-псаммитовыми отложениями, с сильно деградированным разреженным сообществом макрофитов и преобладанием видов кладофоры (рис. 3). Запас фитомассы макрофитов не превышал 0,2 т га⁻¹. В 1998 году здесь был зарегистрирован ДПК, сложенный псефитовыми отложениями, с доминированием видов цистозиры (рис. 4). В 1983 году глубины 3–5 м занимал ДПК с господством видов цистозиры, а на глубине от 5 до 10 м – ДПК, сложенный алеврито-псаммитовыми отложениями с преобладанием зостеры морской (рис. 5). Запас фитомассы макрофитов и зостеры морской достигал 9,3 и 8,4 т га⁻¹ соответственно.

ОБСУЖДЕНИЕ

Как показали результаты наблюдений, за более чем 30-летний период (1983–2016 гг.) в бухте не только отмечены изменения в конфигурации границ и глубины распространения контуров ДПК, но и зарегистрирована существенная структурная трансформация их растительной компоненты. Анализ направленности многолетних изменений макрофитобентоса не только показал значительные негативные перестройки в его структуре и составе, но и выявил сужение границ фитали, а также подъем нижней границы произрастания многих глубоководных видов водорослей. Так, в прибрежной зоне бухты глубина распространения донной растительности уменьшилась в 1,3–4 раза, а ширина фитали – в 2–7 раз (табл. 1). Вдоль всего ее побережья отмечено увеличение плотности зарослей цистозиры на глубине от 0,5 до 3 м, что, соответственно, привело к возрастанию запаса ее фитомассы на этих глубинах (табл. 3). Такие изменения свидетельствует о смещении эколого-фитоценотического оптимума цистозиры, который ранее был приурочен к глубине 3–5 м (Калугина-Гутник, 1975). Однако увеличение запасов цистозиры характерно только для верхней сублиторальной зоны, тогда как в нижней, вплоть до границы фитали, они резко снижаются. Сходные изменения зафиксированы на многих участках крымского и кавказского побережья (Блинова, Сабурин, 1999; Максимова, Лучина, 2002; Мильчакова, 2003; Миронова и др., 2007; Мильчакова и др., 2011). Так, если в 60–70-х годах прошлого

столетия нижняя граница произрастания цистозиры у берегов Крыма и в регионе Севастополя была зафиксирована на глубине 18–20 м, то к настоящему времени на этих глубинах она почти полностью исчезла, при этом ширина цистозирового пояса сократилась от 1 км до 300–500 м (Калугина-Гутник, 1975; Мильчакова, 2003; Миронова и др., 2007; Мильчакова и др., 2011).

В 1983 году для прибрежной зоны бухты Ласпи было характерно широкое простирание ДПК, где доминировали ключевые виды макрофитов (рис. 5). Известно, что поясной тип распространения донной растительности является типичным для крымского шельфа (Калугина-Гутник, 1975). В бухте вдоль всего побережья за ДПК, расположенным на подводном береговом абразионном склоне, сложенном псефитовыми отложениями, с преобладанием видов цистозиры на глубине 0,5–5(10) м следовал в ее центральной части ДПК слабонаклоненной аккумулятивной равнины, сложенной алеврито-псаммитовыми отложениями, с господством zostеры морской, распространенный на глубине от 5 до 10 м. Затем опять вдоль прибрежной зоны бухты на глубине свыше 5–15 м и до глубины 20–30 м располагался ДПК, сложенный псаммитовыми отложениями с примесью битой ракушки, где доминировала филлофора курчавая, который характеризовался максимальным запасом фитомассы макрофитов и филлофоры (19,5 и 15,1 т га⁻¹ соответственно) за весь период наблюдений (рис. 5). Его площадь превышала 34,1 га. В 1998 году ДПК с преобладанием филлофоры курчавой был зарегистрирован лишь в восточной и юго-восточной части бухты на глубине 10(15)–20 м (рис. 4). За прошедшие 15 лет его площадь снизилась почти в 5 раз. Запас фитомассы макрофитов и филлофоры уменьшился примерно в 3 раза и составлял 7,5 и 5,9 т га⁻¹ соответственно. Глубже (глубина 20–25 м) на этих участках бухты располагался ДПК, сложенный псаммитовыми отложениями, с преобладанием кодиума червеобразного, ульвы жесткой и видов церамиума (рис. 4). Его площадь – 3,8 га. Запас фитомассы макрофитов не превышал 3,3 т га⁻¹. За последние годы известны многочисленные сведения о поднятии нижней границы произрастания филлофоры вдоль кавказского и крымского шельфа до глубин 15–18 м вместо характерных 25–30 м, снижении плотности популяций в 1,5–2 раза, запасов – более чем втрое (Калугина-Гутник, 1975; Блинова, Сабулин, 1999; Максимова, Лучина, 2002; Мильчакова, 2003; Миронова и др., 2007; Мильчакова и др., 2011). В 2008 и 2016 годах в бухте ДПК с преобладанием филлофоры курчавой не был зарегистрирован (рис. 2–3).

В 1998 году в центральной и северо-западной части бухты на глубине от 15 до 20 м на слабонаклоненной аккумулятивной равнине, сложенной алеврито-псаммитовыми отложениями, был отмечен ДПК с сильно деградированным разреженным сообществом макрофитов и преобладанием видов кладофоры, который сформировался на месте ДПК с доминированием филлофоры курчавой (рис. 4). Запас фитомассы макрофитов составлял лишь 1,8 т га⁻¹. Характерно, что на многих участках черноморского побережья, считавшихся ранее условно чистыми, также произошла частичная замена фитоценозов многолетних видов группировками эфемероидных зеленых водорослей, среди которых преобладают сезонные или однолетние, зачастую неприкрепленные формы (Максимова, Лучина, 2002; Болтачев, Мильчакова, 2004).

В настоящее время в восточной части бухты донная растительность распространена только до глубины 5 м (рис. 2). В 1983 году в этой части бухты на глубине от 10 до 15 м на абразионно-аккумулятивной террасе, сложенной псефито-псаммитовыми отложениями был зарегистрирован ДПК с преобладанием цистозиры бородатой и филлофоры курчавой, площадью 2,3 га (рис. 5). Запас фитомассы макрофитов, цистозиры и филлофоры составлял 21,8; 7,8 и 0,2 т га⁻¹ соответственно. В 1998 году на этом участке был выделен ДПК с доминированием хондрии волосовидной и стилофоры нежной (рис. 4). Запас фитомассы макрофитов уменьшился в 7 раз по сравнению с этим же показателем за 1983 год и не превышал 3,3 т га⁻¹. В 2008 году здесь располагался ДПК с господством кодиума червеобразного и стилофоры нежной (рис. 3). Запас фитомассы макрофитов снизился на два порядка по сравнению с этой же величиной в 1983 году и составил всего 0,1 т га⁻¹. Подобная деградация донных фитоценозов в нижней сублиторальной зоне описана в регионе Черного

моря почти повсеместно (Максимова, Лучина, 2002; Мильчакова, 2003; Миронова и др., 2007, Мильчакова и др., 2011).

Большинство исследователей связывают трансформацию и негативные изменения донной растительности с ухудшением качества среды, снижением прозрачности, что, в свою очередь, обусловлено эвтрофикацией, а также увеличением рекреационной нагрузки и слабо регламентируемым освоением биологических ресурсов (Блинова, Сабурин, 1999; Максимова, Лучина, 2002; Мильчакова, 2003, Болтачев, Мильчакова, 2004; Миронова и др., 2007; Мильчакова и др., 2011). Ряд авторов, помимо вышеперечисленных факторов, добавляют изменение климата, приводящее к изменениям температуры воды и режима ее циркуляции, усилению волновой активности и колебаний уровня моря (Горячкин, Иванов, 2008).

В 1983 году бухта Ласпи представляла эталон природной экосистемы Черного моря, находящейся в естественном или близком к нему состоянии, где поддерживалось экологическое равновесие береговой зоны, а ДПК отличались высокой степенью сохранности и характеризовались максимальными величинами запаса фитомассы ключевых видов макрофитов.

В начале 80-х годов прошлого века хозяйственная деятельность в береговой зоне бухты была представлена несколькими объектами рекреационной инфраструктуры. В это время воды бухты были хорошо аэрированы от поверхности до дна, выявлена высокая степень их обновления с водами открытого моря, а незначительные суточные колебания кислорода отражали сбалансированность продукционно-деструкционных процессов (Куфтаркова и др., 1990, Ациховская, Чекменева, 2002).

В конце 80-х годов прошлого столетия в восточной части бухты Ласпи было построено гидротехническое сооружение, которое частично перекрыло ее вершину. В 1998 году в вершине бухты, начиная с глубины 3 м, зарегистрированы илисто-песчаные донные отложения. Размывание галечного бенча, обнажение выходов коренных пород и смещение береговых наносов, вероятно, вызвано нарушением гидродинамического режима бухты. Известно, что строительство гидротехнических и берегозащитных сооружений приводит к перестройке гидродинамических процессов, снижению уровня волновой динамики, затуханию вдольбереговых течений, при этом значительно уменьшается степень их включенности в систему прибрежной циркуляции, вследствие чего происходит перераспределение участков абразии и аккумуляции (Преображенский и др., 2000, Пешков, 2003).

В 2008 году в бухте отмечена дальнейшая негативная трансформация ДПК. За период с 1983 по 2008 год наиболее выраженные отрицательные изменения произошли в центральной части бухты на илисто-песчаных и песчаных с примесью битой ракушки донных отложениях, где к этому времени не были обнаружены ДПК с доминированием zostеры морской и филлофоры курчавой. К 2008 году площадь мозаично расположенных группировок водорослей с преобладанием видов кладофор возросла в 3 раза по сравнению с таковой в 1998 году. В этом году отмечены минимальные значения запаса фитомассы ключевых видов макрофитов за весь период наблюдений (табл. 3–4). К существенным изменениям в ДПК мягких грунтов, по мнению В. В. Преображенского с соавторами (2000), приводит, в первую очередь, перестройка гидродинамического режима акватории. Так, в заливе Петра Великого отмечено значительное сокращение площадей zostеры, вызванное проведением берегозащитных мероприятий в приустьевой зоне, строительством молов, причалов и других гидротехнических сооружений (Преображенский и др., 2000).

Деградации и разрушению прибрежных ДПК, отмеченных в 2008 году, вероятно, способствовал экстремальный шторм, который произошел в ноябре 2007 года, когда на акваторию Черного моря вторгся южный циклон, вызвав резкое усиление ветра до 27–32 м/с, при этом высота волн достигала 4 м (Доценко, Иванов, 2013). В пользу этого предположения свидетельствует полное уничтожение донной растительности на глубине 0–10 м после сильнейшего шторма, зарегистрированного в районе Карадага в 1992 году (Костенко и др., 2008).

За период с 1998 по 2008 год антропогенная нагрузка на береговую зону бухты значительно возросла. В это время в приморской зоне активно развивался палаточный кемпинг с пешеходным туризмом, а акватория стала интенсивно использоваться для морских экскурсий, каякинга и дайвинга. Однако наибольшее негативное влияние на экологическое состояние побережья и прибрежья оказывает строительство стационарных объектов рекреационной инфраструктуры в береговой зоне. Так, в юго-восточной части бухты, непосредственно у уреза воды, появился новый гостиничный комплекс «Бухта Мечты». При его строительстве выполнены масштабные берегоукрепительные работы, что привело к изменению конфигурации берега и подводного берегового склона. Усиление хозяйственной деятельности привело к дополнительному поступлению терригенного материала и активизации гравитационных процессов в прибрежье. Проведенный в 2007–2009 годах гидролого-гидрохимический мониторинг бухты Ласпи показал слабое вертикальное перемешивание вод акватории, преобладание нагонной циркуляции и практически отсутствие, типичных для района Южного берега Крыма, летних апвеллингов (Куфтаркова и др., 2010). Развитие в бухте рекреационной инфраструктуры вызвало возрастание объемов береговых стоков, что способствовало увеличению степени эвтрофирования водной среды. В настоящее время в бухте имеется пять выпусков сточных вод с биологической очисткой, которые вынесены от берега на расстояние 90–150 м. Их суммарный объем превышает 210 тыс. м³·год⁻¹.

Исследование бухты в 2016 году показало, что произошло дальнейшее изменение конфигурации и площадей ДПК. В центральной части бухты на глубине от 3 до 10 м, на площади, занимающей пятую часть акватории, сформировался ДПК, лишенный донной растительности, с ярко выраженными крупными знаками ряби (рифелей). Нижняя граница ДПК, где преобладали виды цистозиры, поднялась до глубины 5 м. В этом году вновь зарегистрировали ДПК с доминированием зостеры морской. Заросли морской травы, вероятно, восстановились после разрушительного шторма в 2007 году. В то же время в северо-западной части бухты на глубине от 5 до 10 м образовался новый ДПК, сложенный псефитовыми отложениями, с преобладанием видов цистозиры, а на алевроито-псаммитовых донных осадках доминирует зостера морская. На формирование этого ДПК, вероятно, оказало влияние наличие на глубине глыбовых навалов, которые появились в результате активизации гравитационных процессов в береговой зоне.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

За более чем 30 лет (с 1983 по 2016 год) в бухте Ласпи обнаружена существенная перестройка и деградация ДПК, при этом наиболее выраженная негативная трансформация отмечена в их растительной компоненте, что, возможно, связано с комплексным воздействием как природных факторов, так и возросшей антропогенной деятельности на побережье. За исследуемый период наибольшие отрицательные пространственно-временные изменения произошли в центральной части бухты на слабонаклоненной аккумулятивной равнине, сложенной илисто-песчаными и песчаными с битой ракушей отложениями, где ДПК с преобладанием зостеры морской и филлофоры курчавой (1983–1998 гг.) заменились сначала на ДПК с разреженным сообществом макрофитов и господством видов кладофоры (2008 г.), а затем на глубине 3–10 м был зарегистрирован ДПК, лишенный донной растительности с выраженными рифелями (2016 г.). В этой части бухты негативная перестройка ДПК шла по нарастающей, так как первоначально (в 1998 году) деградация макрофитобентоса была зарегистрирована лишь на глубине свыше 15 м, где в 80-х годах прошлого столетия отмечены значительные скопления филлофоры курчавой с высокими значениями запаса фитомассы. К 2016 году в бухте нарушено поясное простираие ДПК, которое было типично для ее акватории в 1983 году.

В целом, за 33-х летний промежуток времени в бухте запасы макрофитобентоса сократились примерно в 1,5 раза, филлофоры – в 35 раз, зостеры – в 4 раза. В то же время запасы цистозиры за счет уплотнения ее зарослей в верхней сублиторальной зоне возросли в 1,2 раза по сравнению с этим же показателем в 1983 году и остались на уровне величины,

зарегистрированной в 1998 году. В нижней сублиторальной зоне бухты выявлено снижение ресурсного потенциала макрофитобентоса, что характерно для всего крымского побережья начиная с конца 80-х годов прошлого века. Так, запасы филлофоры курчавой уменьшились в 4 раза уже за период с 1983 по 1998 год.

В ходе изучения ДПК было установлено негативное воздействие экстремальных штормов на состояние донной растительности. На следующий год (2008 г.) после сильнейшего шторма запасы макрофитов сократились в 3 раза, цистозеры и филлофоры – в 4 и 5 раз соответственно, а zostеры – более чем в 30 раз по сравнению с аналогичными показателями в 1998 году. К 2016 году наблюдалось частичное восстановление зарослей макрофитов. Так, величина общих запасов макрофитов и цистозеры оказалась соизмеримой, при этом запасы zostеры морской возросли в 2 раза, а филлофоры курчавой – снизились в 9 раз по сравнению с показателями, зарегистрированными в 1998 году.

Изменение конфигурации границ ДПК, вероятно, связано с нарушением гидродинамического режима в бухте, который вызван разрушением берегового склона в результате активной застройки побережья, что привело к размыванию береговых наносов, дополнительному поступлению терригенного материала, заилению центральной части бухты. Для сохранения и восстановления особо ценных ландшафтов, в состав которых входят ключевые средообразующие виды черноморских макрофитов, необходим комплексный подход к охране морских акваторий с включением в их состав прибрежных территорий.

Благодарности Авторы выражают благодарность сотрудникам лаборатории фиторесурсов отдела биотехнологий и фиторесурсов за помощь в обработке первичного материала.

Работа выполнена в рамках госзадания ФГБУН ИМБИ 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

- Ациховская Ж. М., Чекменева Н. И. Оценка динамической активности вод района бухты Ласпи (Черное море) // Экология моря. – 2002. – Вып. 59. – С. 5–8.
- Безруков П. Л., Лисицин А. П. Классификация осадков современных морских водоемов // Ин-т океанологии АН СССР. – 1960. – Т. 32. – С. 3–14.
- Блинова Е. И., Сабулин М. Ю. Сезонная и многолетняя динамика и скорость восстановления климаксовых фитоценозов цистозеры Черного моря // Прибрежные гидробиологические исследования. – М.: Изд-во ВНИРО, 1999. – С. 46–59.
- Болтачев А. Р., Мильчакова Н. А. О причинах и возможных последствиях вспышки обилия зеленой водоросли кладофоры (*Cladophora sericea*) на шельфе Юго-западного Крыма весной 2004 г. // Рыб. хоз-во Украины. – 2004. – № 5. – С. 4–7.
- Горячкин Ю. Н., Иванов В. А. Изменения климата и динамика берегов Украины // Доп. НАН України. – 2008. – № 10. – С. 118–122.
- Доценко С. Ф., Иванов В. А. Катастрофические природные явления Азово-Черноморского региона. – Севастополь: Морской гидрофизический ин-т., 2013. – 193 с.
- Игнатов Е. И., Митина Н. П., Папунов В. Г. Методика исследований донных комплексов мелководной части шельфа / Подводные гидробиологические исследования. – 1982. – С. 80–83.
- Калугина-Гутник А. А. Фитобентос Черного моря – К.: Наук. думка, 1975. – 248 с.
- Калугина-Гутник А. А. Изменение видового состава фитобентоса в бухте Ласпи за период 1964–1983 гг. // Экология моря. – 1989. – Вып. 31. – С. 7–12.
- Костенко Н. С., Дикий Е. А., Заклецкий А. А. Тенденции многолетних изменений фитоценозов «цистозирового пояса» Карадагского природного заповедника (Крым, Черное море) // Морской экологический журнал. – 2008. – Т. VII, № 3. – С. 25–36.
- Красная книга Российской Федерации (растения и грибы) / Министерство природных ресурсов и экологии РФ; Федеральная служба по надзору в сфере природопользования; РАН; Российское ботаническое общество; МГУ им. М. В. Ломоносова; Гл. редколл.: Ю. П. Трутнев и др.; Сост. Р. В. Камелин и др. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. – 885 с.