

УДК 582.26/.27:574.9(262.5)

Т.В. Панкеева¹, Н.В. Миронова²

ЗАПАСЫ МАКРОФИТОВ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ СОСТОЯНИЯ ПОДВОДНЫХ ЛАНДШАФТОВ (ЧЕРНОЕ МОРЕ)

Предложены критерии (в балльной системе), рассчитанные на основе анализа распределения количественных показателей запаса фитомассы макрофитобентоса и ключевых черноморских видов макрофитов в прибрежной зоне Крыма, для обоснования оценки состояния подводных ландшафтов (донных природных комплексов). Разработанные критерии апробированы на примере бухты Ласпи, где имеется ряд многолетних наблюдений (1983–2016 гг.) за изменением донной растительности с учетом ее ландшафтной структуры дна. В бухте оценен запас фитомассы макрофитов и их доминирующих видов (*Cystoseira* spp., *Phyllophora crispa*, *Zostera* spp.) для верхней и нижней границ контуров различных ДПК. Наиболее устойчивым в акватории бухты является ДПК подводного берегового абразионного склона, сложенного псефитовыми отложениями, с доминированием видов цистозир, у которого в границах ландшафтного контура за более чем 30-летний период отмечены наименьшие изменения интегральной оценки. В то же время ДПК слабонаклонной аккумулятивной равнины, сложенной псаммитовыми отложениями с примесью битой ракушки, где преобладает филлофора курчавая, и ДПК слабонаклонной аккумулятивной равнины, сложенной алевроито-псаммитовыми отложениями, с доминированием видов zostеры оказались более подверженными к трансформации (минимальные интегральные оценки), что нашло отражение в изменении глубины их распространения, деградации растительной компоненты и резком снижении вклада видов эдификаторов.

Ключевые слова: бухта Ласпи, донная растительность, запас фитомассы, макрофиты, донные природные комплексы

Введение. В условиях увеличения антропогенной нагрузки на морские акватории исследования подводных ландшафтов приобретают важное значение для разработки стратегии комплексного управления прибрежной зоной. В связи с этим широко обсуждается и является актуальной проблема поиска репрезентативных критериев и показателей, которые могли бы быть использованы для оценки состояния подводных ландшафтов.

Донная растительность, как один из важнейших компонентов подводных ландшафтов, считается индикатором своеобразия морфологических комплексов горизонтального расчленения ландшафтной структуры, является основным продукционным звеном черноморского шельфа, играет ведущую роль в стабилизации и саморегулировании прибрежных экосистем [Петров, 1989]. Известно, что макрофитобентос реагирует на изменения окружающей среды, что позволяет использовать его количественные показатели в качестве критериев при изучении состояния подводных ландшафтов [Панкеева с соавт., 2017]. Для Черного моря виды цистозир (*Cystoseira crinita* (Desf.) Bory, *C. barbata* C. Ag.) и филлофора (*Phyllophora crispa* (Huds.) P.S. Dixon) считаются ключевыми и доминирующими видами водорослей, входят в состав списков Красной книги (КК) Крыма. Кроме этого, филлофора внесена в КК РФ. Зостера (*Zostera marina* L.) – единственный вид черноморских макрофитов, который охраняется по Бернской конвенции, при этом сообщества морских

трав отнесены ЮНЕП к критическим местообитаниям Мирового океана [Милячакова с соавт., 2011]. Исходя из этого, величина запасов фитомассы этих видов, помимо запаса фитомассы макрофитобентоса, также могут быть использованы в качестве критериев оценки состояния подводных ландшафтов.

Цель статьи – на основе количественных значений запасов фитомассы макрофитобентоса и доминирующих черноморских видов макрофитов предложить критерии, которые могут быть применены для оценки состояния подводных ландшафтов.

Материалы и методы исследований. В качестве модельного полигона выбрана бухта Ласпи, где имеется ряд многолетних наблюдений. Бухта расположена в юго-западной части Крымского п-ова между мысами Айя и Сарыч, протяженность береговой линии составляет около 4 км (рис. 1). Бухта относится к открытому типу, что способствует динамической активности и аэрации вод. Донная растительность представлена как фитоценозами морских трав, так и водорослей.

Для изучения ландшафтной структуры дна и макрофитобентоса использованы материалы четырех береговых экспедиций, проведенных авторами в бухте Ласпи в летний период в 1983, 1998, 2008 и 2016 гг. В бухте закладывали по четыре трансекты, которые располагались перпендикулярно к берегу и охватывали все типы подводных ландшафтов (см. рис. 1). Ландшафтную структуру дна изучали на основе общих положений программы подводных

¹ Институт морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского РАН (г. Севастополь), отдел биотехнологий и фиторесурсов; филиал МГУ в г. Севастополе, науч. с., канд. геогр. н.; e-mail: tatyana.pankееva@yandex.ru

² Институт морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского РАН (г. Севастополь), отдел биотехнологий и фиторесурсов, ст. науч. с., канд. биол. н.; e-mail: dr.nataliya.mironova@yandex.ru

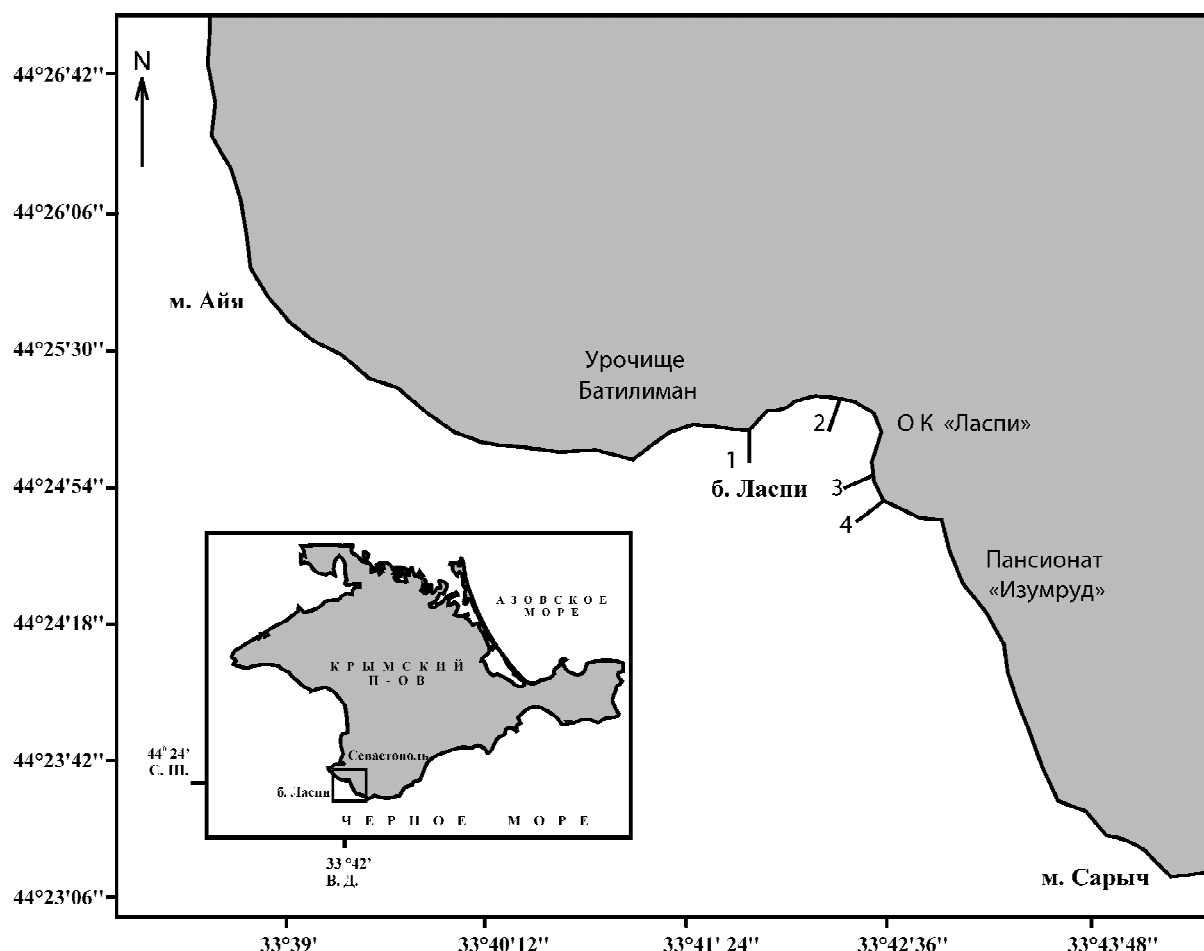


Рис. 1 Карта-схема района работ: 1–4 номера трансект

Fig. 1. Schematic map of the study area: 1–4 numbers of transects

ландшафтных исследований с использованием легководолазной техники. Информацию о донных компонентах, полученную в ходе водолазного описания, оформляли графически в виде ландшафтных профилей. На ландшафтных профилях выделяли границы донных природных комплексов (ДПК), которые представляют собой однородные участки дна, характеризующиеся единством взаимосвязанных компонентов: литогенной основы (донных осадков в пределах активного слоя и поверхности коренной породы) и населяющих их морских организмов [Папунов, 2012]. Географическую привязку границ ДПК и определение их площади осуществляли с помощью программы MapInfo. Сопреженный анализ батиграфии, карт литологического состава и данных водолазных съемок позволили провести экстраполяцию участков дна со сходными параметрами для выделения границ ДПК. Термин ДПК используется как понятийная категория, а не таксономическая. В дальнейшем контуры ДПК выступали территориальными единицами, которые подлежали балльной оценке [Петров, 1989; Панкеева с соавт., 2014]. Отбор проб макрофитов осуществляли по одной и той же стандартной гидробиотической методике [Калугина-Гутник, 1975].

В основе обоснования критериев и их оценочных шкал лежат материалы многолетних береговых экспедиций, проведенных авторами в прибрежной зоне Крыма в летний период 2003–2016 гг. [Мильчакова с соавт., 2011]. В результате обобщения этих материалов проанализировано распределение донной растительности у крымских берегов от мыса Киик-Атлама (восточный мыс Коктебельского залива) до северного мыса бухты Черноморской (п-ов Тарханкут). Выявлено, что в типичных цистозировых фитоценозах (глубина 0,5–3 м) запас фитомассы макрофитов варьирует от 9,1 до 78,8 т·га⁻¹, а запас фитомассы видов цистозир – от 6,5 до 74,4 т·га⁻¹. В филлофоровых фитоценозах (глубина 5–10 м) запас фитомассы филлофоры колеблется от 0,001 до 6,5 т·га⁻¹. Виды zostеры встречаются локально в бухтах с илисто-песчаными донными осадками, запас их фитомассы изменяется от 0,01 до 2,5 т·га⁻¹.

Таким образом, составлены оценочные шкалы, где в качестве критериев выбраны и ранжированы в 5-балльной системе следующие показатели:

- запас фитомассы макрофитов, т·га⁻¹: более 65–5 баллов; от 64 до 50–4; от 49 до 35–3; от 34 до 20–2; от 19 до 5–1; менее 4–0 баллов;

- запас фитомассы видов *Cystoseira*, т·га⁻¹: более 60–5 баллов; от 59 до 45–4; от 44 до 30–3; от 29 до 15–2; от 14 до 1–1; менее 1–0 баллов;

- запас фитомассы *Phyllophora crispa*, т·га⁻¹: свыше 6,0–5 баллов; от 5,9 до 4,5–4; от 4,4 до 3,0–3; от 2,9 до 1,5–2; от 1,4 до 0,1–1; менее 0,1–0 баллов;

- запас фитомассы видов *Zostera*, т·га⁻¹: свыше 2,0–5 баллов; от 1,9 до 1,5–4; от 1,4 до 1,0–3; от 0,9 до 0,5–2; от 0,4 до 0,1–1; менее 0,1–0 баллов.

Для каждого ДПК, используя стандартную методику, произведен расчет запасов фитомассы макрофитобентоса и доминирующих видов (цистозира, филлофора и zostера) на верхней и нижней границе, поскольку величина этих показателей наиболее существенно отличается на границах контура ДПК и зависит от совокупности абиотических и биотических факторов [Блинова с соавт., 2005].

Согласно разработанным оценочным шкалам вышеперечисленных критериев, каждому контуру ДПК присвоена балльная оценка для его верхней и нижней границы на основе количественных показателей запаса фитомассы макрофитов. Интегральная оценка состояния ДПК равна сумме среднеарифметических значений балльных оценок критериев.

Результаты исследований и их обсуждение. Для ландшафтной структуры б. Ласпи, как показали исследования за период 1983–2016 гг., характерны

четыре ДПК с участием ключевых видов макрофитов (цистозира, филлофора и zostера), которые регистрировались в течение длительного периода наблюдений:

1. ДПК подводного берегового абразионного склона, сложенного псефитовыми отложениями, с доминированием видов цистоziры, выделяли вдоль побережья в течение всего изучаемого периода (рис. 2). Однако глубина его распространения и площадь существенно варьировали по годам (табл.). В 1983 г. величина запаса фитомассы макрофитов на границах ДПК отличалась более чем вдвое; у видов цистоziры этот показатель снижался более чем в 7 раз при увеличении глубины от 0,5 до 10 м. В этом же диапазоне глубин запас фитомассы филлофоры возрастал на три порядка. В 1998 г. ДПК зарегистрирован в том же интервале глубин (см. табл.). Запас фитомассы макрофитов снижался почти в 4 раза, а видов цистоziры – в 15 раз в направлении от верхней к нижней границе ДПК, тогда как данный показатель филлофоры возрос всего в 26 раз. За 15-летний период на верхней границе ДПК запас фитомассы макрофитов, цистоziры и филлофоры несколько увеличился, а на нижней – эти показатели уменьшились в 1,6; 1,5 и 3 раза, соответственно. В 2008 г. зафиксированы минимальные значения запаса фитомассы макрофитов и доминирую-

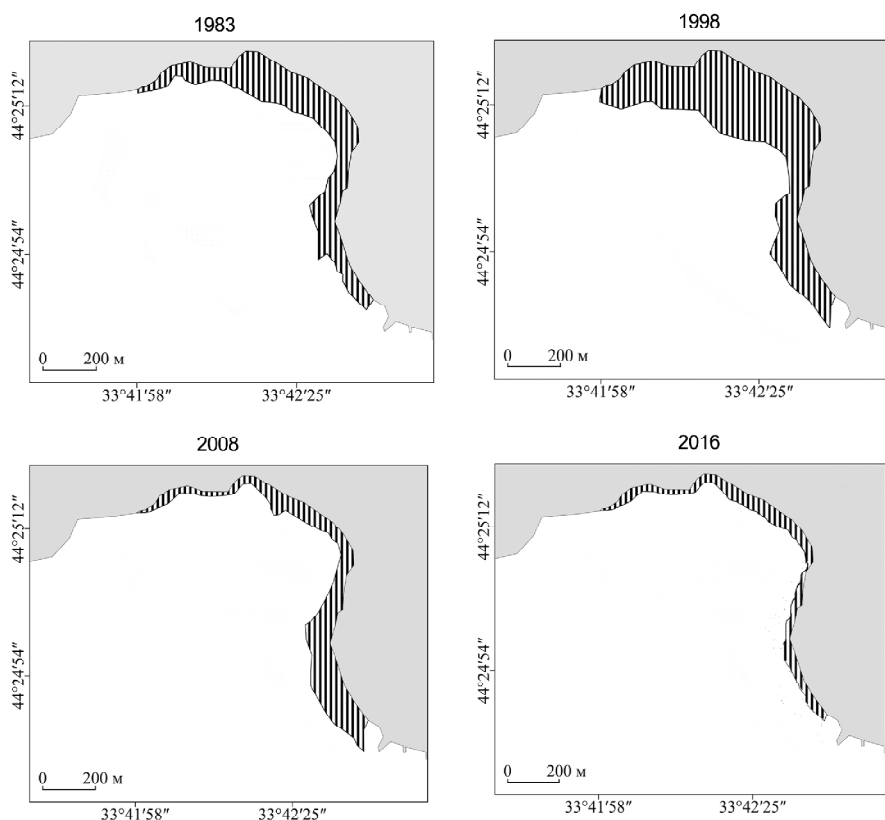


Рис. 2. Пространственно-временные изменения ДПК на подводном береговом абразионном склоне, сложенном псефитовыми отложениями, с доминированием видов цистоziры

Fig. 2. Spatiotemporal changes of BNC of an abrasion upper shoreface slope built of psephitic (rudaceous) sediments with dominance of the *Cystoseira* species

Изменение запаса фитомассы макрофитов, доминирующих видов водорослей и балльной оценки на верхней и нижней границе ДПК по годам

ДПК	Год	Глубина, м	Площадь, га	Запас фитомассы, т·га ⁻¹									Сумма баллов
				макрофитов			видов цистозеры			филлофоры			
				границы ДПК		Средний балл	границы ДПК		Средний балл	границы ДПК		Средний балл	
				верхняя	нижняя		верхняя	нижняя		верхняя	нижняя		
1	1983	0,5–10	28,6	<u>52.7</u> 4	<u>24.3</u> 2	3	<u>42.4</u> 3	<u>5.8</u> 1	2	<u>0.03</u> 0	<u>13.4</u> 5	2,5	7,5
	1998	0,5–10	35,5	<u>58.9</u> 4	<u>15.0</u> 1	2,5	<u>55.4</u> 4	<u>3.8</u> 1	2,5	<u>0.2</u> 1	<u>5.2</u> 2	1,5	6,5
	2008	0,5–15	23,5	<u>30.8</u> 2	<u>5.0</u> 1	1,5	<u>22.8</u> 2	<u>1.0</u> 1	1,5	<u>0.01</u> 0	<u>0.4</u> 1	0,5	3,5
	2016	0,5–5	16,1	<u>59.9</u> 4	<u>19.6</u> 2	3	<u>53.3</u> 4	<u>15.0</u> 2	3	<u>0.02</u> 0	<u>0.5</u> 1	0,5	6,5
2	1983	10–15	2,3	<u>33.8</u> 2	<u>28.8</u> 2	2	<u>7.5</u> 1	<u>2.7</u> 1	1	<u>14.2</u> 5	<u>20.9</u> 5	5	8
	2008	10–15 (20)	15,8	<u>2.9</u> 0	<u>1.4</u> 0	0	<u>2.5</u> 1	<u>0.7</u> 0	0,5	<u>0.2</u> 1	<u>0.5</u> 1	1	1,5
	2016	5–10	10,0	<u>20.8</u> 2	<u>13.2</u> 1	1,5	<u>13.2</u> 1	<u>7.2</u> 1	1	<u>1.4</u> 1	<u>1.7</u> 2	1,5	4
3	1983	10–20 (25)	34,1	<u>13.9</u> 1	<u>44.4</u> 3	2	<u>1.5</u> 1	<u>0.01</u> 0	0,5	<u>6.6</u> 5	<u>36.4</u> 5	5	7,5
	1998	10(15)–20	7,3	<u>10.0</u> 1	<u>8.6</u> 1	1	<u>0.14</u> 0	<u>0.01</u> 0	0	<u>7.5</u> 5	<u>1.7</u> 2	3,5	4,5

Примечание: в числителе – запас фитомассы макрофитов, видов цистозеры и филлофоры на верхней и нижней границе ДПК, в знаменателе – балльная оценка. 1 – подводный береговой абразионный склон, сложенный псефитовыми отложениями, с доминированием видов цистозеры; 2 – подводный береговой абразионный склон, сложенный псефитовыми отложениями, с доминированием видов цистозеры и с чередованием галечно-гравийных отложений с битой ракушкой, где преобладает филлофора курчавая; 3 – слабонаклоненная аккумулятивная равнина, сложенная псаммитовыми отложениями с примесью битой ракушки и преобладанием филлофоры курчавой.

ших видов водорослей. В 2016 г. ширина контура ДПК существенно сузилась, соответственно, площадь сократилась более чем вдвое по сравнению с данными за 1998 г. Однако величина запаса фитомассы макрофитов как на верхней, так и нижней границе ДПК оказалась соизмеримой с таковыми показателями 18-летней давности (см. табл.). В то же время запас фитомассы цистозеры был почти в 4 раза выше, а филлофоры – на порядок ниже из-за уменьшения глубины регистрации нижней границы ДПК. Перевод полученных результатов в интегральную оценку показал, что общее количество баллов для ДПК было максимальным в 1983 г., тогда как в 1998 и 2016 гг. величины были одинаковыми. Минимальная сумма баллов зарегистрирована в 2008 г.

2. ДПК подводного берегового абразионного склона, сложенного псефитовыми отложениями, с доминированием видов цистозеры и с чередованием галечно-гравийных отложений с битой ракушкой, где преобладает филлофора курчавая, описан в течение всего периода наблюдений, за исключением 1998 г., когда он не был обнаружен (рис. 3). Глубина

распространения и площадь этого ДПК существенно колебались по данным многолетней серии наблюдений (см. табл.). В 1983 г. его площадь была наименьшей, при этом в границах ландшафтного контура запас фитомассы макрофитов с увеличением глубины изменялся незначительно, тогда как запас фитомассы цистозеры снижался примерно втрое, а филлофоры – возрастал в 1,5 раза. В 2008 г. площадь ДПК увеличилась в 7 раз, хотя запас фитомассы макрофитов, цистозеры и филлофоры в направлении от его верхней к нижней границе снизился в 12–21, 3–4 и 71–42 раза, соответственно, по сравнению с таковыми показателями за 1983 г. В 2016 г. эти величины существенно возросли по сравнению с данными за 2008 г. Однако, по сравнению с этими же показателями в 1983 г., запас фитомассы макрофитов и филлофоры сократился в 1,5–2 и 10–12 раз, соответственно, а запас фитомассы цистозеры увеличился в 2–3 раза, что связано с уменьшением глубины регистрации ДПК (см. табл.). Таким образом, за 33-летний период интегральная оценка снизилась вдвое, при этом минимальной она была в 2008 г.

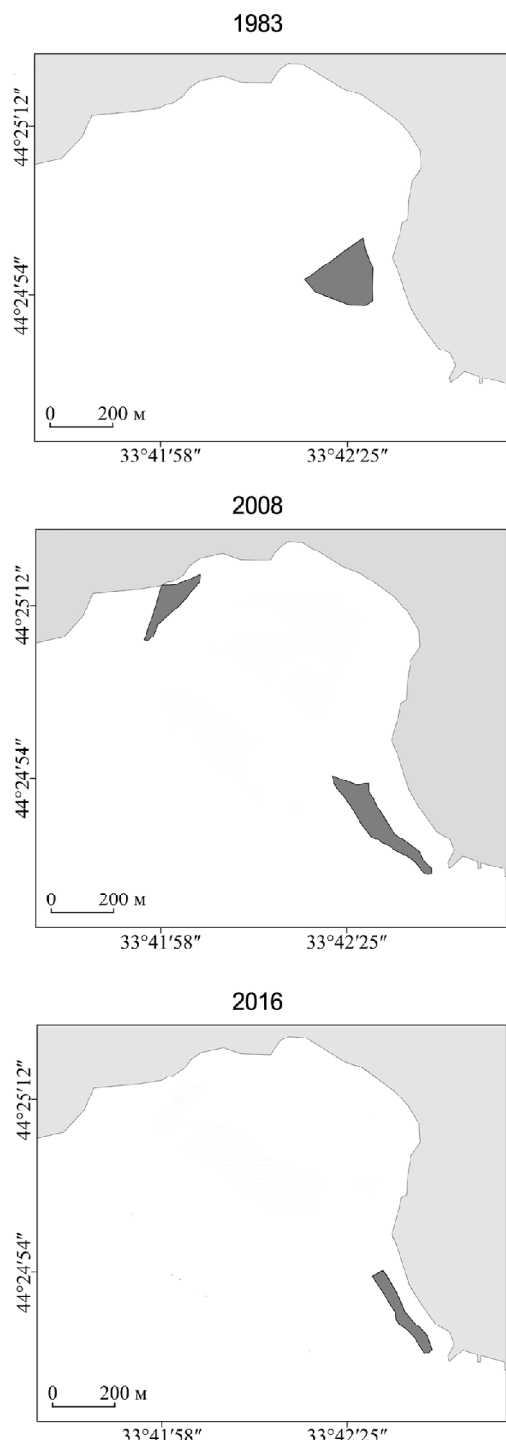


Рис. 3. Пространственно-временные изменения ДПК на подводном береговом абразионном склоне, сложенном псефитовыми отложениями, с доминированием видов цистозеры и с чередованием галечно-гравийных отложений с битой ракушей, где преобладает филлофора курчавая

Fig. 3. Spatiotemporal changes of BNC of an abrasion upper shoreface slope built of psephitic (rudaceous) sediments with dominance of the *Cystoseira* species and the complex of pebble-gravel deposits and broken shell with dominance of *Phyllophora crispa*

3. ДПК слабонаклонной аккумулятивной равнины, сложенной псаммитовыми отложениями с примесью битой ракушки и преобладанием филлофоры курчавой, был зарегистрирован только в 1983–1998 гг. (рис. 4), за этот период его площадь уменьшилась примерно в 5 раз (табл.). В 1983 г. ДПК протянулся вдоль всей бухты на глубине от 10 (15) до 20 (25) м, тогда как в 1998 г. он встречался фрагментарно на отдельных участках на этих же глубинах. В 1983 г. запас фитомассы макрофитов и филлофоры при увеличении глубины в изучаемом диапазоне возрастал более чем в 3 и 5 раз, соответственно, а в 1998 г. варьирование величины первого показателя было незначительно, а второго – снижалось более чем вчетверо (см. табл.). За 15-летний период запас фитомассы макрофитов и филлофоры на нижней границе ДПК сократился более чем в 5 и 21 раз соответственно. В 2008–2016 гг. этот ДПК не был обнаружен. Таким образом, интегральная оценка уменьшилась примерно вдвое, а в последующие годы составила 0 баллов.

4. ДПК слабонаклонной аккумулятивной равнины, сложенной алевроито-псаммитовыми отложениями, с преобладанием видов zostеры значительно изменял границы контура и глубину простираения (рис. 5). В 1983 г. ДПК занимал центральную часть бухты на глубине от 5 до 10 м, площадью 17,1 га. Запас фитомассы zostеры колебался в пределах 2,9–3,6 т·га⁻¹. Через 15 лет ДПК был распространен в центральной и северо-западной части бухты на глубине 10–15 м. Его площадь незначительно увеличилась, а запас фитомассы zostеры снизился в 4–5 раз (0,6–0,9 т·га⁻¹). В 2008 г. ДПК не обнаружили. В 2016 г. ДПК описан на тех же участках бухты и на той же глубине, что и в 1998 г., хотя за 18 лет его площадь уменьшилась в 1,5 раза. В 2016 г. запас фитомассы видов zostеры варьировал от 0,9 до 1,9 т·га⁻¹. Таким образом, интегральная оценка снижалась первоначально с 10 (1983 г.) до 2,5 (1998 г.), затем до 0 баллов (2008 г.). В 2016 г. сумма баллов не превышала 4.

Как показали результаты наблюдений, за более чем 30-летний период (1983–2016 гг.) в бухте отмечены изменения не только в конфигурации границ и глубины распространения контуров ДПК, но также выявлена существенная структурная перестройка растительной компоненты подводного ландшафта.

К антропогенным факторам, вызывающим трансформацию донной растительности, большинство исследователей относят эвтрофикацию и снижение прозрачности воды [Максимова, Лучина, 2002; Болтачев, Мильчакова, 2004; Мильчакова с соавт., 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 начале 80-х гг. прошлого века хозяйственная деятельность в береговой зоне бухты Ласпи была представлена несколькими объектами рекреационной инфраструктуры. В это время воды бухты были

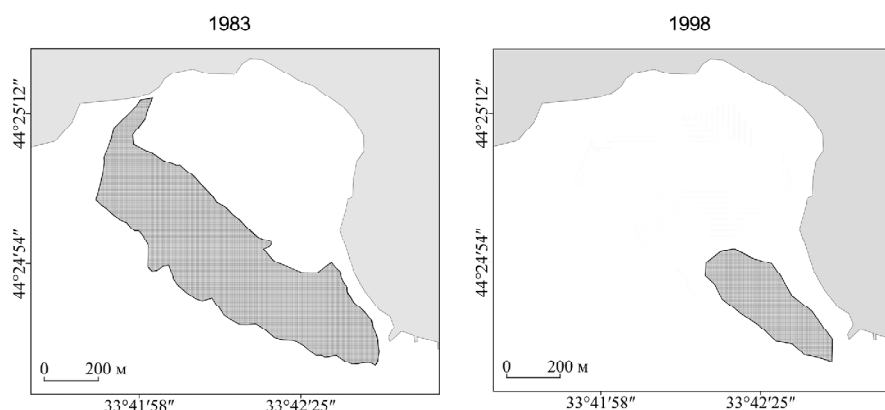


Рис. 4. Пространственно-временные изменения ДПК на слабонаклонной аккумулятивной равнине, сложенной псаммитовыми отложениями с примесью битой ракушки и преобладанием филлофоры курчавой

Fig. 4. Spatiotemporal changes of BNC of a gently sloping accumulation plain built of psammitic deposits with broken shell inclusions and the dominance of *Phyllophora crispa*

хорошо аэрированы от поверхности до дна, фиксировалась высокая степень их обновления с водами открытого моря, а незначительные суточные колебания кислорода отражали сбалансированность продукционно-деструкционных процессов [Ациховская, Чекменева, 2002].

Гидробиотические исследования, проведенные в 1983 г., позволяли рассматривать бухту Ласпи как эталон природной экосистемы Черного моря, находящийся в естественном или близком к нему состоянии, где поддерживалось экологическое равновесие береговой зоны, а растительная компонента ДПК отличалась высокой степенью сохранности. В это время ДПК, где были зарегистрированы цистозировый, филлофоровый и зостеровый фитоценозы, имели поясное распространение вдоль побережья бухты и характеризовались высокими запасами фитомассы. Для них отмечена высокая доля эдификаторов и низкая – эпифитирующих видов водорослей, так же, как и для ДПК, где описан цистозирово-филлофоровый фитоценоз. Вклад эпифитов в структуру сообществ изменялся от 1 до 19% общих запасов. В этот период для каждого ДПК были характерны максимальные суммы баллов, которые изменялись от 10 до 7,5.

В конце 80-х гг. прошлого столетия в восточной части бухты было построено гидротехническое сооружение, которое частично перекрыло ее вершину. 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 с соавт., 2000].

К 1998 г. в ДПК, где доминировали виды цистозир, отмечены существенные количественные и качественные изменения в структуре фитоценоза, при этом наиболее выраженные перестройки про-

изошли на нижней границе (рис. 2). Так, за 15-летний период вклад эпифитов в состав сообщества на нижней границе данного ДПК возрос более чем вдвое и достиг 41% общих запасов. ДПК с преобладанием филлофоры сохранился лишь в восточной и юго-восточной части бухты, где резкое снижение количественных показателей фитоценоза сопровождалось усложнением его структуры и существенным повышением доли эпифитов (от 1–2 до 7–19% общих запасов) (рис. 3). ДПК с доминированием зостеры сместился на большую глубину, при этом вклад эпифитирующих видов водорослей в составе фитоценоза увеличился примерно вдвое (от 1–4 до 5–9% общих запасов) (рис. 4). Суммарная величина баллов изучаемых ДПК существенно снизилась и составляла от 6,5 до 2,5, при этом наиболее выраженное уменьшение интегральной оценки выявлено для ДПК слабонаклонной равнины, для которой характерны мягкие грунты.

За период с 1998 по 2008 гг. антропогенная нагрузка на береговую зону бухты значительно возросла. Наибольшее негативное влияние на ее экологическое состояние оказало строительство стационарных объектов рекреационной инфраструктуры. Так, в юго-восточной части бухты, непосредственно у уреза воды, появился новый гостиничный комплекс. При его строительстве выполнены масштабные берегоукрепительные работы, что привело к изменению конфигурации берега и подводного берегового склона. Усиление хозяйственной деятельности вызвало активизацию гравитационных процессов с поступлением дополнительного терригенного материала и увеличение эвтрофирования водной среды. Проведенный в 2007–2009 гг. 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 с соавт., 2010].

В 2008 г. в бухте отмечена дальнейшая негативная трансформация растительной компоненты

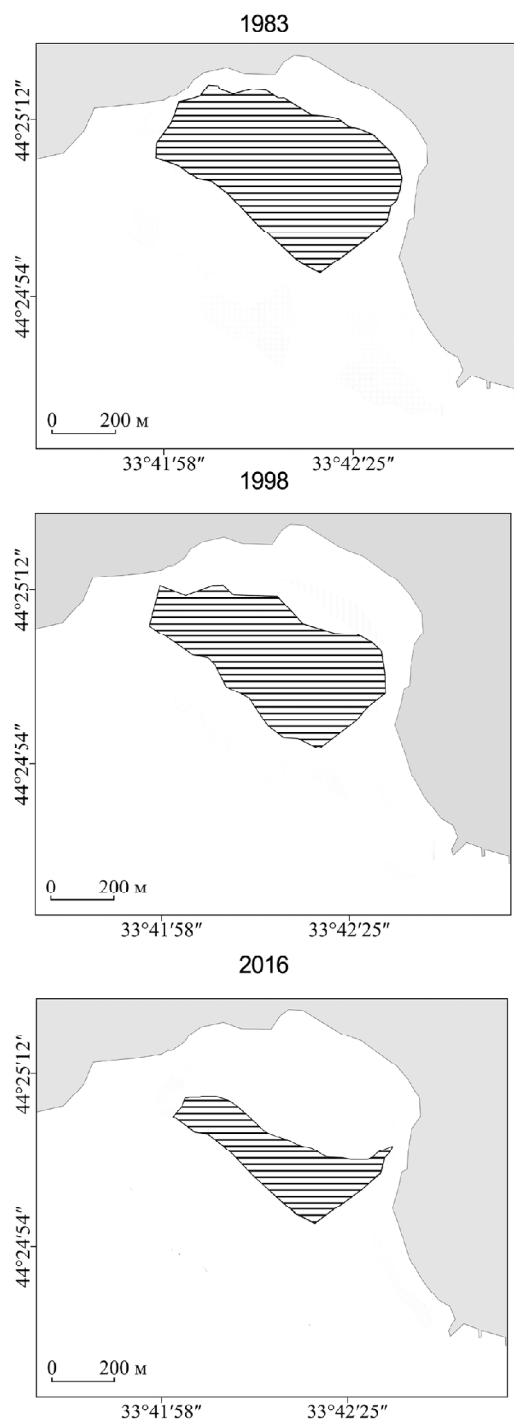


Рис. 5 Пространственно-временные изменения ДПК на слабо-наклонной аккумулятивной равнине, сложенной алевроит-псаммитовыми отложениями, с преобладанием видов *Zostera* species

Fig. 5. Spatiotemporal changes of BNC of a gently sloping accumulation plain built of silty-psammitic (arenaceous) sediments with the dominance of *Zostera* species

ДПК. В ДПК, где представлен цистозировый фитоценоз, доля эпифитов достигла максимума за весь период наблюдений (5–50% общих запасов). Значительное увеличение площади ДПК, где зарегистрирован цистозирово-филлофоровый фитоценоз, сопровождалось резким снижением запаса фитомассы доминирующих видов и возрастанием вклада эпи-

фитирующих водорослей до 15–23% общих запасов. За прошедшие 25 лет (1983–2008 гг.) наиболее выраженные отрицательные изменения ландшафтной структуры произошли на илисто-песчаных и песчаных с примесью битой ракушки донных отложениях, где к 2008 г. ДПК с доминированием филлофоры и zostеры не были обнаружены. На их месте обильно представлена зеленая водоросль – кладофора, что является откликом экосистемы на деградацию коренных фитоценозов [Болтачев, Мильчакова, 2004]. В этот период для всех ДПК была характерна минимальная сумма баллов, которая изменялась от 3,5 до 0.

Деградации и разрушению прибрежных ДПК, вероятно, способствовал экстремальный шторм, который произошел в ноябре 2007 г., 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 г. [Костенко с соавт., 2008].

Исследование бухты в 2016 г. показало, что отрицательные изменения ландшафтной структуры продолжались. Нижняя граница ДПК, где преобладали виды цистозеры, поднялась до глубины 5 м. Доля эпифитирующих водорослей в структуре фитоценоза осталась достаточно высокой (4–25% общих запасов). ДПК, где зарегистрирован цистозирово-филлофоровый фитоценоз, отличается неоднородностью литологического состава отложений и, соответственно, характеризуется разнообразием и мозаичностью донной растительности. Анализ направленности многолетних изменений макрофитобентоса на этом ДПК выявил дальнейший подъем нижней границы произрастания многих глубоководных видов, а также сужение границ фитали. Для него также характерен высокий вклад эпифитов (23–34% общих запасов). В этом году вновь был зарегистрирован ДПК с доминированием видов zostеры. Заросли морской травы, вероятно, восстановились после разрушительного шторма в 2007 г. Интегральная сумма баллов изученных ДПК возросла по сравнению с таковыми показателями за 2008 г. и изменялась от 6,5 до 4.

Таким образом, на основе анализа полученного материала, выявлено, что ДПК подводного берегового абразионного склона, сложенного псефитовыми отложениями, с доминированием видов цистозеры еще выдерживает негативные перестройки, происходящие в акватории бухты, обусловленные изменением гидродинамических и литодинамических процессов, в свою очередь, вызванные увеличением антропогенной нагрузки. Это, вероятно, связано с устойчивостью литогенной основы, которая является субстратом для прочного прикрепления макрофитов. Анализ состава донной растительности показал, что, в целом, структура цистозирового фитоценоза сохранилась, хотя в нем произошла существенная трансформация. Так, к 1998 г., по срав-

нению с данными за 1983 г., запас фитомассы видов цистозирры на верхней границе ДПК возрос в 1,3 раза, а доля эпифитов не изменилась (1–4% общих запасов). По-видимому, на глубине 0,5–1 м развитию эпифитной синузии препятствуют гидродинамические условия и быстрый вынос поступающих биогенов, высокая степень освещенности, а также доминирование в популяции цистозирры ювенильных растений, средний возраст которых редко превышает 2–3 года [Милячакова с соавт., 2011]. В то же время для нижней границы этого ДПК характерна деградация растительной компоненты (см. табл.). Здесь отмечено значительное снижение вклада видов-эдификаторов и увеличение роли эпифитных водорослей. В конце прошлого столетия подобные изменения были описаны для цистозировых фитоценозов открытых побережий Крыма и Кавказа [Максимова, Лучина, 2002; Костенко с соавт., 2008; Милячакова с соавт., 2011]. Существенное возрастание доли эпифитов, вероятно, является откликом фитоценозов на повышение уровня трофности вод из-за возросшей антропогенной деятельности и объемов хозяйственно-бытовых стоков. Данные водоросли имеют более высокую скорость роста и большую удельную поверхность слоевищ, которая способна поглощать биогены, по сравнению с видами цистозирры и филлофоры [Миничева, 1990]. В целом за период с 1983 по 1998 гг. запас фитомассы макрофитов и их ключевых видов изменился незначительно, поэтому значение интегральной оценки варьирует в небольшом диапазоне 7,5–6,5 баллов.

В 2008 г. в пределах данного ДПК после разрушительного шторма отмечено резкое снижение всех количественных показателей макрофитобентоса, в связи с этим сумма баллов уменьшилась до 3,5. В 2016 г. на верхней границе ДПК запас фитомассы макрофитов и цистозирры достиг показателей, сравнимых с данными за 1998 г. На нижней границе ДПК запас фитомассы видов цистозирры оказался максимальным за весь период наблюдений, что связано со смещением границы контура на меньшую глубину. Таким образом, интегральная балльная оценка ДПК практически вернулась к первоначальным значениям. Это, вероятно, может свидетельствовать о том, что этот ДПК наиболее устойчив к природно-антропогенным изменениям и является основной средообразующей морской геосистемой региона, которая выполняет буферные функции между бережной и прибрежной зонами.

В то же время ДПК слабонаклонной аккумулятивной равнины, сложенной псаммитовыми отложениями с примесью битой ракушки и преобладанием филлофоры курчавой, а также сложенной алевритопсаммитовыми отложениями с доминированием zostеры, крайне неустойчивы, их характеристики и пространственное распределение макрофитов в значительной степени зависят от значений действующих факторов, из которых основными считаются гидродинамика и степень освещенности. Так, после 1998 г. ДПК с преобладанием краснокнижной *Phyllophora crispa* не был обнаружен, хотя в 1983 г.

для него были характерны высокие показатели запаса фитомассы вида-эдификатора – интегральная оценка при этом достигала 7,5.

ДПК подводного берегового абразионного склона, сложенного псефитовыми отложениями с доминированием видов цистозирры и с чередованием галечно-гравийных с битой ракушкой отложений, где преобладает филлофора курчавая, занимает промежуточную зону между ДПК с господством цистозирового и филлофорового фитоценоза. На существование «переходной полосы», где на одной глубине встречаются одновременно несколько фитоценозов, еще в конце прошлого века обращала внимание А.А. Калугина-Гутник [1975]. По данным У.В. Симаковой, этот участок представляет собой экоклин – зону с постепенным изменением состава донной растительности вдоль градиента освещенности [2009]. Показательно, что наряду с уменьшением запаса фитомассы филлофоры на нижней границе фитоценоза отмечено значительное увеличение его на глубине от 0,5 до 5 м (см. табл.). Это свидетельствует об изменении эколого-фитоценозического оптимума вида, сокращении его ареала. Такие изменения были зарегистрированы ранее на многих участках крымского побережья [Милячакова с соавт., 2011].

Проведенные исследования подводных ландшафтов могут быть использованы для разработки научно-практических основ оптимизации морского природопользования. В дальнейшем мониторинг ДПК позволит получать репрезентативные данные о состоянии черноморских морских экосистем и давать рекомендации по созданию морских охраняемых акваторий, которые будут способствовать сохранению ландшафтного и биологического разнообразия региона. Однако многие из высказанных положений требуют дальнейшей проработки и проведения дополнительных полевых исследований.

Выводы:

– на основе проведенных исследований и применения интегральной балльной оценки показана возможность многолетнего анализа распределения количественных показателей запаса фитомассы макрофитобентоса и ключевых черноморских видов макрофитов в прибрежной зоне Крыма. Согласно результатам наблюдений, за более чем 30-летний период (1983–2016 гг.) в бухте отмечены изменения не только в конфигурации границ и глубины распространения контуров ДПК, но и выявлена существенная структурная перестройка растительной компоненты подводного ландшафта;

– выявлено, что в количественной и балльной оценках наиболее устойчивым к природно-антропогенным нагрузкам в акватории бухты является ДПК подводного берегового абразионного склона, сложенного псефитовыми отложениями с доминированием видов цистозирры, у которого в границах контура отмечены наименьшие изменения интегральной оценки за период с 1983 по 2016 гг. В то же время ДПК слабонаклонной аккумулятивной равнины, сложенной псаммитовыми отложениями с примесью

битой ракуши, где преобладает филлофора курчавая, и ДПК слабонаклонной аккумулятивной равнины, сложенной алевроито-псаммитовыми отложениями с доминированием видов зоостеры оказались более подвержены трансформации (минимальные интегральные оценки), что нашло отражение в изменении глубины их распространения, деградации растительной компоненты и резком снижении вклада видов-эдификаторов;

– устойчивость ДПК, где преобладают виды цистозир, определяется устойчивостью литогенной основы дна, которая является субстратом для прикрепления макрофитов. Однако в составе и структу-

ре макрофитобентоса этого ДПК произошли существенные перестройки, которые, по-видимому, являются откликом на изменения условий окружающей среды. Перераспределение запаса фитомассы видов цистозир в пределах ландшафтного контура, регистрация в его границах филлофоры, ранее встречавшейся в более глубоководной зоне, вероятно, связаны со снижением прозрачности воды. Обильное развитие эпифитных видов, произрастающих на талломах цистозир и обладающих высокой площадью поверхности слоевищ, возможно, является ответной реакцией ДПК на увеличение содержания растворенной органики в прибрежной зоне моря.

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ИМБИ (гос. рег. № АААА-А18-118021350003-6). Отбор проб и первичная обработка макрофитобентоса в 2016 г. проведена в рамках госзадания ФГБУН ИМБИ № 1001-2014-0014, в которой помимо авторов, принимали участие сотрудники лаборатории фиторесурсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Ациховская Ж.М., Чекушева Н.И. Оценка динамической активности вод района бухты Ласпи (Черное море) // Экология моря. 2002. Вып. 59. С. 5–8.

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.

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 // Морской гидрофизический ин-т. Севастополь, 2013. 193 с.

Калукина-Гутник А.А. Фитобентос Черного моря. Киев: Наукова думка, 1975. 248 с.

Костенко Н.С., Дикий Е.А., Заклецкий А.А. Тенденции многолетних изменений фитоценозов «цистозирного пояса» Карадагского природного заповедника (Крым, Черное море) // Морской экологический журнал. 2008. Т. 7. № 3. С. 25–36.

Куфтаркова Е.А., Щуров С.В., Родионова Н.Ю. Результаты гидролого-гидрохимического мониторинга мидийной фермы в прибрежной зоне южного берега Крыма (бухта Ласпи) // Наук. зап. Тернопільського нац. пед. ун-ту. Сер. Біологія. 2010. № 3(44). С. 133–136.

Максимова О.В., Лучина Н.П. Современное состояние макрофитобентоса у побережья северного Кавказа: реакция фитали на эвтрофикацию черноморского бассейна // Комплексные исследования северо-восточной части Черного моря. М.: Изд-во Наука, 2002. С. 297–308.

Мильчакова Н.А., Миронова Н.В., Рябогина В.Г. Морские растительные ресурсы // Промысловые биоресурсы Черного и Азовского морей / Под ред. В.Н. Еремеева и др. Севастополь: Экоги-Гидрофизика, 2011. Гл. 4. С. 117–139.

Миничева Г.Г. Прогнозирование структуры фитобентоса с помощью показателей поверхности водорослей // Ботанический журнал. 1990. Т. 75. № 11. С. 1611–1618.

Панкеева Т.В., Мильчакова Н.А., Миронова Н.В. и др. Ландшафтный подход к оценке состояния макрофитобентоса в условиях конфликтного природопользования // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь: Экоги-Гидрофизика, 2014. Т. 10(29). С. 70–79.

Панкеева Т.В., Миронова Н.В., Ковардаков С.А. Количественные показатели макрофитобентоса как критерии обоснования природоохранной ценности акваторий (регион Севастополя) // Проблемы региональной экологии. 2017. № 1. С. 28–33.

Папунов Д.В. Макрофитобентос как индикатор динамики подводных ландшафтов береговой зоны моря // Вопросы современной альгологии. 2012. № 2(2). URL: <http://algology.ru/121>.

Петров К.М. Подводные ландшафты: теория, методы исследования. Л.: Наука, 1989. 126 с.

Преображенский Б.В., Жариков В.В., Дубейковский Л.В. Основы подводного ландшафтоведения: управление морскими экосистемами. Владивосток: Дальнаука, 2000. 352 с.

Симакова У.В. Влияние рельефа дна на сообщества цистозир Северокавказского побережья Черного моря // Океанология. 2009. Т. 49. № 5. С. 725–733.

Поступила в редакцию 19.04.2018

После доработки 01.03.2019

Принята к публикации 28.06.2019

T.V. Pankeeva¹, N.V. Mironova²RESERVES OF MACROPHYTES AS AN INDICATOR
OF THE STATE OF UNDERWATER LANDSCAPES
(THE BLACK SEA)

The criteria for the assessment of the stability of underwater landscapes (bottom natural complexes, BNC) are proposed (using the scorecard approach) on the basis of the analysis of spatial distribution of phytomass reserves of macrophytobenthos and principal Black Sea macrophyte species in the coastal zone of Crimea. The suggested criteria were tested for the Laspi Bay, where there is a series of long-term (1983–2016) observations of bottom vegetation changes with regard to the bottom landscape structure. The phytomass reserves of macrophytes and their dominant species (*Cystoseira* spp., *Phyllophora crispa*, *Zostera* spp.) for the upper and lower boundaries of the contours of various bottom natural complexes were estimated. An abrasion upper shoreface slope built of psephitic (rudaceous) sediments with dominance of *Cystoseira* species is the most stable BNC in the water area of the bay with the smallest recorded changes of integrated assessment. A gently sloping accumulation plain built of psammitic deposits with broken shell inclusions and dominant *Phyllophora crispa* and a gently sloping accumulation plain formed by silty-psammitic (arenaceous) sediments with dominant common eelgrass (*Zostera marina*) were more prone to transformation (minimum integrated assessments), which reflects in the change of the depth of their distribution, degradation of plant component and sharp reduction of the contribution of species-modifiers.

Key words: the Laspi Bay, bottom vegetation, phytomass reserves, macrophytes, bottom natural complexes

Acknowledgements. The research was carried out under the state scientific task of the A.O. Kovalevsky Institute of Marine Biological Research of RAS (IMBR) (№ AAAA-A18-118021350003-6). Sampling and primary processing of macrophytobenthos in 2016 was carried out as part of the state task from Kovalevskii Institute for Marine Biological Research, project № 1001-2014-0014, in which, in addition to the authors, the employees of the phytoresource laboratory took part.

REFERENCES

- Atsihovskaja Zh.M., Chekmeneva N.I. Ocenka dinamicheskoy aktivnosti vod rajona buhty Laspi (Chernoe more) [Assessment of the dynamic activity of the Laspi Bay waters (the Black Sea)] // *Jekologija morja*. 2002. Vol. 59. P. 5–8. (in Russian)
- Boltachev A.R., Mil'chakova N.A. O prichinah i vozmozhnykh posledstviyakh vspyshki obilija zelenoj vodorosli kladofory (*Cladophora sericea*) na shel'fe jugo-zapadnogo Kryma vesnoj 2004 g. [About the causes and possible consequences of 2004 spring outbreak of *Cladophora sericea* green alga on the shelf of south-western Crimea] // *Ryb. hoz-vo Ukrainy*. 2004. № 5. P. 4–7. (in Russian)
- Blinova E.I., Pronina O.A., Shtrik V.A. Metodicheskie rekomendatsii po uchetu zasobov promyslovyykh morskikh vodoroslej pribrezhnoy zony [Methodical recommendations on the accounting of commercial seaweed reserves of the coastal zone] In: *Metody landshaftnykh issledovaniy i otsenki zasobov donnykh bespozvonochnykh i vodoroslei morskoy pribrezhnoy zony. Izuchenie ekosistem rybokhozyaystvennykh vodoemov, sbor i obrabotka dannykh o vodnykh biologicheskikh resursakh, tekhnika i tekhnologiya ikh dobychi i pererabotki*. M.: Izd-vo VNIRO, 2005. Issue 3. P. 80–127. (in Russian)
- Gorjachkin Ju.N., Ivanov V.A. Izmeneniya klimata i dinamika beregov Ukrainy [Climate change and the dynamics of the coasts of Ukraine] // *Dop. NAN Ukraïni*. 2008. № 10. P. 118–122. (in Russian)
- Docenka S.F., Ivanov V.A. Katastroficheskie prirodnye javleniya Azovo-Chernomorskogo regiona [Catastrophic natural phenomena in the Azov-Black Sea region]. *Morskoy gidrofizicheskij in-t. Sevastopol'*, 2013. 193 p. (in Russian)
- Kalugina-Gutnik A.A. Fitobentos Chjornogo morja [Phytobenthos of the Black Sea]. K.: Nauk. dumka, 1975. 248 p. (in Russian)
- Kostenko N.S., Dikij E.A., Zakleckij A.A. Tendencii mnogoletnih izmenenij fitocenoza «cistozirovogo pojasa» Karadagskogo prirodnogo zapovednika (Krym, Chjornoe more) [Trends of perennial changes of the «cystose belt» phytocoenoses of the Karadag Nature Reserve (Crimea, the Black Sea)] // *Morskoy jekologicheskij zhurnal*. 2008. T. VII. № 3. P. 25–36. (in Russian)
- Kuftarkova E.A., Shhurov S.V., Rodionova N.Ju. Rezul'taty gidrologo-gidrohimicheskogo monitoringa midijnoj fermy v pribrezhnoj zone juzhnogo berega Kryma (buhta Laspi) [The results of hydrologic-hydrochemical monitoring of a mussel farm in the coastal zone of the southern coast of Crimea (the Laspi Bay)] // *Nauch. zap. Ternopil'skogo nac. ped. un-tu. Ser. Biologija*. 2010. №3(44). P. 133–136. (in Russian)
- Maksimova O.V., Luchina N.P. Sovremennoe sostojanie makrofitobentosa u poberezh'ja severnogo Kavkaza: reakcija fitali na jevtrofikaciju chernomorskogo bassejna. In: *Kompleksnye issledovaniya severo-vostochnoj chasti Chernogo morja* [The current state of macrophytobenthos off the coast of the northern Caucasus: the response of the phytale to the eutrophication of the Black Sea basin. Comprehensive research of the northeastern part of the Black Sea]. M.: Izd-vo Nauka, 2002. P. 297–308. (in Russian)
- Mil'chakova N.A., Mironova N.V., Rjabogina V.G. Morskie rastitel'nye resursy [Marine plant resources] / *Promyslovye bioresursy Chjornogo i Azovskogo morej* (pod red. V.N. Eremeeva i dr.). Sevastopol': Jekosi-Gidrofizika, 2011. Gl. 4. P. 117–139. (in Russian)

¹ A.O. Kovalevsky Institute of Marine Biological Research of the RAS (Sevastopol), Department of Biotechnologies and Phyto Resources; MSU Branch in Sevastopol; Scientific Researcher, PhD. in Geography; e-mail: tatyapankeeva@yandex.ru

² A.O. Kovalevsky Institute of Marine Biological Research of the RAS (Sevastopol), Department of Biotechnologies and Phyto Resources, Senior Scientific Researcher, PhD. in Biology; e-mail: dr.nataliya.mironova@yandex.ru

Minicheva G.G. Prognozirovanie struktury fitobentosa s pomoshh'ju pokazatelej poverhnosti vodoroslej [Forecasting the structure of phytobenthos using the parameters of the algae surface] // *Botanicheskij zhurnal*. 1990. № 75. № 11. P. 1611–1618. (in Russian)

Pankeeva T.V., Mil'chakova N.A., Mironova N.V. I dr. Landshaftnyj podhod k ocenke sostojaniya makrofitobentosa v usloviyah konfliktnogo prirodopol'zovaniya [Landscape approach to the assessment of the state of macrophytobenthos in the context of conflict nature management] // *Jekologicheskaja bezopasnost' pribrezhnoj i shel'fovoj zon i kompleksnoe ispol'zovanie resursov shel'fa*. Sevastopol': Jekosi-Gidrofizika, 2014. № 10(29). P. 70–79. (in Russian)

Pankeeva T.V., Mironova N.V., Kovardakov S.A. Kolichestvennye pokazateli makrofitobentosa kak kriterii obosnovanija prirodoohrannoju cennosti akvatorij (region Sevastopol'ja) [Quantitative parameters of macrophytobenthos as criteria for validation of water areas Nature conservation value (Sevastopol region)] // *Problemy regional'noj jekologii*. 2017. № 1. P. 28–33. (in Russian)

Papunov D.V. Makrofitobentos kak indikator dinamiki podvodnyh landshaftov beregovoj zony morja [Macrophytobenthos as an indicator of the dynamics of underwater landscapes of the marine coastal zone] // *Voprosy sovremennoj al'gologii*. 2012. № 2(2). URL: <http://algology.ru/121>. (in Russian)

Petrov K.M. Podvodnye landshafty: teorija, metody issledovanija [Underwater landscapes: theory and research methods]. L.: Nauka, 1989. 126 p. (in Russian)

Preobrazhenskij B.V., Zharikov V.V., Dubejkovskij L.V. Osnovy podvodnogo landshaftovedenija (upravlenie morskimi jekosistemami) [Fundamentals of underwater landscape studies (management of marine ecosystems)]. Vladivostok: Dal'nauka, 2000. 352 p. (in Russian)

Simakova U.V. Vliyanie rel'efa dna na soobshhestva tsistoziry Severokavkazskogo poberezh'ja Chernogo morya [Influence of the sea bottom relief on the Cystoseira communities of the North Caucasian coast of the Black Sea] // *Okeanologiya*. 2009. T. 49. № 5. P. 725–733. (in Russian)

Received 19.04.2018

Revised 01.03.2019

Accepted 28.06.2019