

Альгоценозы обрастания берегового гидротехнического сооружения в условиях штормовой деятельности (Крым, Чёрное море)

© 2020. И. К. Евстигнеева¹, к. б. н., с. н. с.,
 В. П. Евстигнеев^{1,2}, к. ф-м. н., в. н. с., И. Н. Танковская¹, м. н. с.,
¹Институт морских биологических исследований
 имени А. О. Ковалевского РАН,
 299011, Россия, г. Севастополь, пр. Нахимова, д. 2,
²Севастопольский государственный университет,
 299053, Россия, г. Севастополь, ул. Университетская, д. 33,
 e-mail: ikevstigneeva@gmail.com

В обрастании берегового гидротехнического сооружения были обнаружены 38 видов макроводорослей 23 родов, 15 семейств, 14 порядков, трёх отделов (Chlorophyta, Ochrophyta, Rhodophyta), которые соотносятся друг с другом как 2Ch : 1Och : 3Rh. Наибольшим числом видов представлены *Ulva*, *Cladophora*, *Ceramium*, Ulvaceae, Cladophoraceae, Ceramiaceae, Ulvales, Cladophorales, Ceramiales. Установлено, что по направлению от суши к морю снижается таксономическое разнообразие Rhodophyta и его доля в составе альгообрастания, уменьшается среднее число видов и родов в семействе, а также относительное число видов в сопутствующей и олигосапробной группах. В этом же направлении увеличивается среднее число видов Chlorophyta и доля Ochrophyta, средняя фитомасса и её пространственная вариабельность у Rhodophyta, разнообразие содоминантных, ведущих, редких и сезонных видов. После шторма на всех участках и особенно в корневой и центральной частях берегового гидротехнического сооружения увеличивается количество экогрупп с низким видовым разнообразием. Выявлено, что воздействию шторма наиболее подвержены среди признаков – фитомасса, среди отделов – Rhodophyta, среди участков гидротехнического сооружения – верхний горизонт, центральная часть и участок, контактирующий с береговой линией.

Ключевые слова: Чёрное море, шторм, гидротехническое сооружение, макроальгообрастание, эколого-таксономический состав, фитомасса.

Algocenoses of Fouling of Onshore Hydraulic Structures under Conditions of Storm (Crimea, the Black Sea)

© 2020. I. K. Evstigneeva¹ ORCID: 0000-0001-7473-251X^{*}
 V. P. Evstigneev^{1,2} ORCID: 0000-0003-3064-2613^{*} I. N. Tankovskaya¹ ORCID: 0000-0002-4907-0179^{*}
¹A. O. Kovalevsky Institute of Marine Biological Research RAS,
 2, Nakhimova Prospekt, Sevastopol, Russia, 299011,
²Sevastopol State University,
 33, Universitetskaya St., Sevastopol, Russia, 299053,
 e-mail: ikevstigneeva@gmail.com

Ecological-taxonomic composition, occurrence, and abundance of algae in fouling of hydraulic structure jetty after storm are presented. After storm, 38 species of macroalgae of 23 genus, 15 families, 14 orders, 3 divisions (Chlorophyta, Ochrophyta, Rhodophyta) were discovered in the algae fouling. Species ratio of the divisions is presented as 2Ch : 1Och : 3Rh. The dominant Rhodophyta division accounts for 47% of the identified species, 57% of the algae families, and 43% of the orders. Taxonomic proportion of flora is represented as 1 order : 1 family : 2 genus : 3 species. Among the divisions, Ochrophyta has the most simplified ratio of 1:1:1:1. The proportion of orders and families is the same in all three divisions (1:1). *Ulva*, *Cladophora*, *Ceramium*, Ulvaceae, Cladophoraceae, Ceramiaceae, Ulvales, Cladophorales, Ceramiales are represented by the largest number of species. The coverage, species and ecological composition of algae at different distances from the shore and the water surface are determined. In a seaward direction, the taxonomic diversity of Rhodophyta and its fraction in the floristic composition of fouling of onshore hydraulic structures lessen, as well as the average number of species and genus in family decreases, the relative number of species in associate and oligosaprobic groups reduces. Meanwhile, the average number of Chlorophyta species and share of Ochrophyta, Rhodophyta average phytomass and its variability, diversity of codominant, dominant, rare and seasonal species decrease in the same direction. The number of ecological groups with poor species diversity rises after the storm in all areas, particularly in the

root and central part of the hydraulic structure. The negative effect of storm is mostly resulted in decreasing amount of phytomass mostly near the water surface. Phytomass has been determined to be affected by storm to a greater extent than other characteristics, Rhodophyta is the most vulnerable division, whereas the most affected by storm parts of the hydraulic structure are upper sea level (0–0.5 m from the water surface), central part of the structure (20 meters from the shore) and the sector touching the shore.

Keywords: the Black Sea, storm, hydraulic structures, macroalgae fouling, ecologo-taxonomic composition, biomass.

Одним из принципов, определяющих эффективность береговых гидротехнических сооружений (ГТС), является их универсальность [1]. Она проявляется в том, что помимо обеспечения защиты от волнового воздействия, сама их конструкция становится местом размножения и функционирования гидробионтов. Научно регламентированное создание ГТС может способствовать стабилизации биоразнообразия, повышению биопродуктивности и улучшению экологической обстановки прибрежных вод.

Сообщество обрастания представляет собой упрощённую модель донных биоценозов [2, 3] и играет ключевую роль в трансформации вещества и энергии водных экосистем. Гидротехнические сооружения становятся новым местообитанием для морских прибрежных видов, что является потенциальным вкладом в восстановление и сохранение морского биоразнообразия [4]. Сообщества обрастания могут стать биоиндикаторами при мониторинге окружающей среды [5]. В Чёрном море распространёнными обрастателями берегозащитных конструкций являются макроводоросли с высокими продукционными и регенерационными свойствами. Тем не менее макрофлора береговых ГТС в Чёрном море остаётся малоизученной также, как и степень её устойчивости под действием внешних факторов, к которым, в частности, относятся штормовые волны. В мировой практике исследования влияния шторма на обрастание в прибрежной зоне носят фрагментарный характер, а для Чёрного моря они почти не проводились [6, 7]. Отсюда целью работы стало исследование структурно-функциональных особенностей и пространственной изменчивости альгообрастания ГТС в до- и послештормовой периоды с оценкой его трансформации под действием ветро-волнового фактора. Цель работы определила задачи: изучить эколого-таксономический состав, пропорции флоры и экологических групп, встречаемость и обилие альгообрастания ГТС в бухте Круглая, оценить его состояние на разном расстоянии от берега и поверхности воды. Анализ данных в период относительно устойчивых гидрометеорологических условий (до шторма) был представлен авторами ранее [8].

теорологических условий (до шторма) был представлен авторами ранее [8].

Материалы и методы

Гидробиотическая съёмка производилась на ГТС (буна) в прибрежье одной из крупных севастопольских бухт – бухты Круглая (рис.) в период 1–18 апреля 2011 г. Гидротехническое сооружение расположено перпендикулярно берегу и представляет собой сплошную прямоугольную призму из бетона [9]. Его стенки вертикально ориентированы, имеют шероховатую поверхность без крупных трещин. Наибольшая глубина моря у ГТС составляет 2,5 м.

За период съёмки были отмечены два штормовых события – 8–10 и 15–17 апреля. В эти дни по данным стандартных наблюдений на близлежащей морской береговой станции Росгидромета (МГ Херсонесский маяк) высота волн достигала 2,0–2,5 м и сопровождалась ветром со средней скоростью 8–10 м/с и порывами 14–17 м/с. Преобладающими направлениями распространения волн были юг и юго-запад. В отдельных случаях были зафиксированы волны высотой 1,5–2,0 м, перемещавшиеся по наиболее волноопасным для данного ГТС направлениям – запад и северо-запад. Для этого региона волны такой градации высот не являются редкостью в отличие от других участков Крымского побережья [10]. С 1954 по 2017 гг. их повторяемость составила 8,6%, при этом чуть менее трети из них приходилось на западное и северо-западное направления.

Отбор проб проводили с боковой грани буны скребком с площадью захвата 0,1 м². Станции отбора проб находились на разном расстоянии от берега (корневой, центральный, мористый участки ГТС) и от поверхности воды (верхний горизонт высотой от 0 до 0,5 м, нижний – от 0,5 до 1 м). Каждый горизонт делили на 21 площадку. Участки включали по 7 площадок с каждого горизонта (рис.).

В работе применена отечественная классификация отделов Chlorophyta (Ch), Ochrophyta (Och) и Rhodophyta (Rh) [11, 12] с учётом

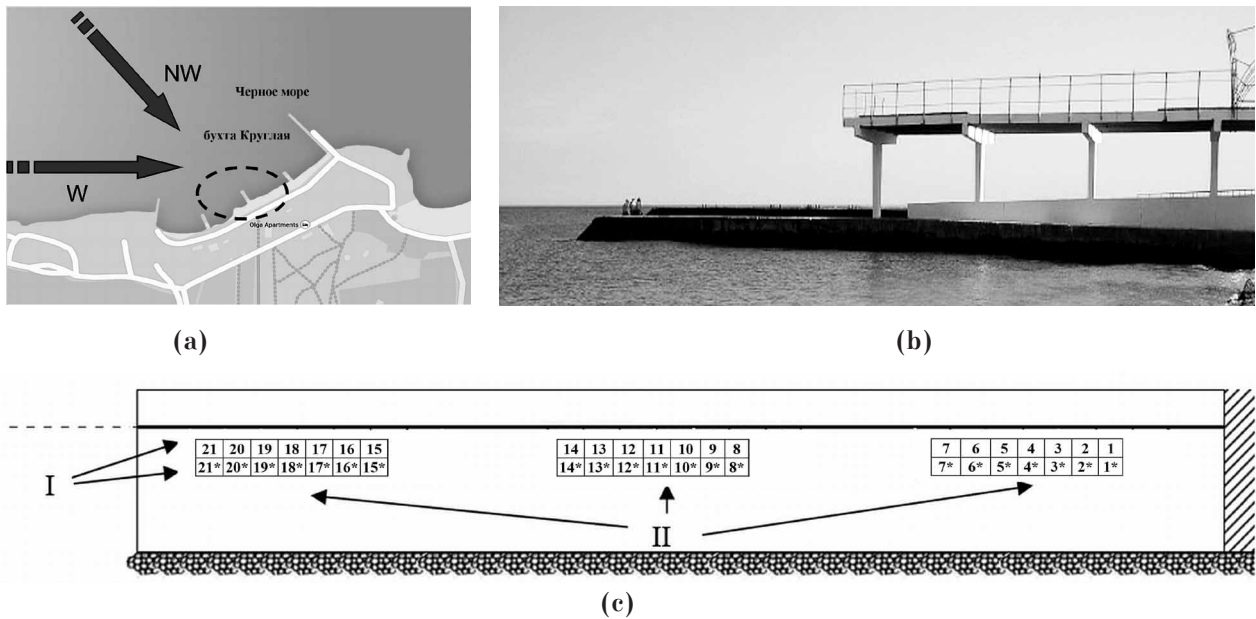


Рис. Район и объект исследования: (а) участок бухты Круглая с буной и направление распространения волн; (б) вид ГТС (буна), (с) схема расположения станций отбора проб, где I – горизонты 0–0,5 м и 0,5–1,0 м; II – участки ГТС; 1–21, 1*–21* – номера станций
Fig. 1. Study area and object of research: (a) area of Kruglaya (“Round”) Bay with spur dike and direction of wave propagation; (b) view of hydraulic structure (spur dike), (c) layout of sample drawing stations: I – 0–0.5 m and 0.5–1.0 m layers, II – sections of hydraulic structure, 1–21, 1*–21* – numbers of the stations

номенклатурных изменений [13]. При анализе структуры альгообрастания применяли коэффициенты общности видов Жаккара (K, %) и их встречаемости (R, %), индекс Шеннона (H) [14, 15]. Для оценки таксономической структуры определяли флористические спектры и «пропорции флоры» [16, 17]. По сырой фитомассе видов выделяли малозначимые и второстепенные виды, доминанты и содоминанты [15]. На основе данных о встречаемости виды распределяли по группам постоянства [15]. При экологическом анализе учитывали классификацию водорослей А.А. Калугиной-Гутник [12].

Для описания изменчивости характеристик определяли их среднее значение и доверительный интервал, а по коэффициенту вариации (C_v , %) и на основе шкалы Г.Н. Зайцева оценивали тип изменчивости признаков [18].

Результаты и обсуждение

Общая характеристика альгофлоры обрастания после шторма. Альгофлора после шторма была представлена 38 видами макроводорослей 23 родов, 15 семейств, 14 порядков отделов, соотносящихся друг с другом как 2Ch : 1Och : 3Rh. Общая пропорция таксонов выглядела как 1 порядок : 1 семейство :

2 рода : 3 вида. В таблице 1 представлены данные о ведущих надвидовых таксонах и их ранговых местах. Первое место занято тремя таксонами, два из которых относятся к Rh.

Обрастание включало виды 12 экологических групп из 13 известных для черноморского фитобентоса [12]. Половина их и более относилась к морским, ведущим, однолетним водорослям. В сапробной части синхронно доминировали олиго- и мезосапробионты. Ch был представлен всеми группами, среди Och не было редких и однолетних видов, среди Rh – солоноватоводных.

Большинство видов до и после шторма одновременно встречались в обрастании обоих горизонтов и только четверть проявляли избирательность. Случайные виды были более характерны для верхнего горизонта, на нижнем же они синхронно доминировали с добавочными. Добавочных и случайных видов было много в корневой части, исключительно случайных – в центральной, всех категорий и в равной мере – в мористой.

Сравнение с результатами съёмки до шторма не выявило существенных изменений альгообрастания. Общий таксономический состав, ключевые экогруппы, тенденции пространственных вариаций ряда показателей сохраняются, демонстрируя устойчивость

обрастания к действию волн высотой менее 2 м. Результаты таксономического анализа свидетельствуют об однородности обрастания ГТС на разных горизонтах и незначительном нарушении её на участках, находящихся на разном расстоянии от берега.

Тем не менее, полученные данные позволяют установить влияние шторма на состав и фитомассу обрастания на горизонтах и разных участках ГТС.

Изменения альгофлоры обрастания на горизонтах. После шторма обрастание верхнего горизонта состояло из 33 видов водорослей. По видовому разнообразию и вкладу в структуру ценоза отделы распределялись в порядке: Rh→Ch→Och. Таксономическая пропорция Och была самой упрощённой среди отделов. Высоким числом видов отличались *Ulva*, *Cladophora*, *Ceramium* и соответствующие им надродовые таксоны. Общее число видов на верхнем горизонте и у входящих в него Ch и Rh варьировало в пределах «верхней» нормы, изменчивость же состава Och была выше. Среднее число видов в отделах и его доля в ценозе возрастали в направлении Och → Ch → Rh. Состав обрастания нижнего горизонта во многом напоминал таковой верхнего. Однако здесь была выше видовая насыщенность всех таксонов, четверо больше добавочных видов, меньше постоянных и случайных.

После шторма изменения в большей мере коснулись верхнего горизонта, а среди отделов – Rh. Без изменений или почти без них оставались число видов Ch и Och, общее число видов на нижнем горизонте, средняя встречаемость видов Ch на всех горизонтах. Сходство обрастания (K_j) на станциях нижнего горизонта было выше за счёт отсутствия здесь существенных преобразований.

Изменения альгофлоры обрастания на разных участках ГТС. В корневой части ГТС обнаружены 33 вида, большинство которых относились к *Ulva*, *Cladophora*, *Ceramium* и соответствующим надродовым таксонам.

Встречаемость видов варьировала широко (7–100%) с максимумом у *Gelidium crinale* (Hare ex Turner) Gaillon. Здесь обитали виды всех групп постоянства, среди которых господствовали добавочная и случайная. Вблизи берега преобладали ведущие, однолетние, морские виды, олиго- и мезосапробионты.

Число видов в центральной части было ниже, чем на других участках. Пропорция отделов здесь и вблизи берега различалась, видовой состав совпадал лишь на 40%. В центральной части Rh был таксономически беднее, хотя его видовой состав напоминал таковой в корневой на 70%. Меньшим оказалось и среднее число видов, но с тем же типом изменчивости. Здесь и у берега преобладали одни и те же экогруппы, но место морской группы занято солоноватоводно-морской.

На мористом участке ГТС обитали 26 видов макроводорослей. Видовая пропорция отделов совпадала с подобной в корневой части, число надвидовых таксонов у Ch на трёх участках было равным. Таксономическая структура Och сохраняла свою упрощённость, у других отделов она была одинаково сложнее. Состав ведущих таксонов и пропорции флоры на всех участках почти совпадали. Обрастание мористой и двух других участков имело 65% общих видов. Отмечено равномерное распределение видов по группам постоянства, наибольшее среднее число видов Ch и Och, преобладание ведущих, однолетних, мезосапробиальных, солоноватоводно-морских, морских видов.

В целом, обрастание всех участков имело сходный таксономический состав, одинаковые пропорции флоры, базовые таксоны и вклад Ch в видовую структуру, низкое видовое разнообразие Och, отмечено совпадение пропорций таксонов и качественная тождественность базовых из них у Rh, доминирование одних и тех же экогрупп.

Данные, полученные до и после шторма, позволили установить ход изменений обрастания на разном удалении от берега. Так,

Таблица 1 / Table 1

Флористический спектр ведущих надвидовых таксонов в альгообрастании гидротехнического сооружения / Floristic spectrum of leading superspecies taxa of algae fouling of hydraulic structure

Роды / Genus				Семейства / Family				Порядки / Order			
название name	N*, ед. units	N, %	ранг rank	название name	N, ед. units	N, %	ранг rank	название name	N, ед. units	N, %	ранг rank
<i>Ulva</i>	4	11	2	Ulvaceae	4	11	3	Ulvales	4	11	3
<i>Cladophora</i>	5	13	1	Cladophoraceae	8	21	2	Cladophorales	8	21	2
<i>Ceramium</i>	4	11	2	Ceramiales	11	29	1	Ceramiales	11	29	1

Примечание: N* – число видов (единицы и % общего числа идентифицированных видов).
Note: N* – number of species (units and % of general number of the species identified).

минимумы большинства параметров таксономической структуры, видового разнообразия приходились на обрастание корневого и центрального участков ГТС, испытывающих наибольшее воздействие штормовой волны. Обычно скорость движения воды при разбивании волны вдвое превосходит скорость без него. В штормовых условиях скорости могут отличаться на порядок (до 25 м/с) [19]. До шторма областью минимумов многих показателей была мористая часть.

После шторма возникают различия базовых экогрупп между отделами и у одного и того же из них, но на разных частях ГТС. Это обеспечивает устойчивость обрастания за счёт «конгенерического гомотаксиса», позволяющего системе реагировать на возмущение путём смены одних функциональных единиц другими, сохраняя при этом свою стабильность [20].

Изменения в пространственном распределении фитомассы. Средняя фитомасса обрастания верхнего горизонта составляла

393 ± 118 г/м². Её основная часть приходилась на долю Rh (табл. 2). Вклад других отделов был мал, вариабельность их фитомассы являлась очень высокой. Главным продуцентом на верхнем горизонте был *G. crinale*, второе место занимал *Ceramium secundatum* Lyngb. Здесь отсутствовали абсолютные доминанты и содоминировали *Ceramium virgatum* Roth и *Cystoseira crinita* Duby.

Негативность шторма чаще проявлялась в снижении фитомассы (потери чуть более 60%), особенно на верхнем горизонте, испытывающем основную нагрузку при разбивании волн. Шторм изменил локацию крайних значений абсолютной и относительной фитомассы, усилил её изменчивость. Величина индекса Н (2,3–2,6) вблизи берега и на обоих горизонтах указывала на послештормовую неоднородность обрастания. При этом *G. crinale* не утрачивает роль организующего элемента сообщества и сохраняет уровень вклада в продукцию. Его содоминантами остаются *C. virga-*

Таблица 2 / Table 2

Фитомасса (В, г/м²) и её вариабельность в обрастании после шторма
Phytomass (В, g/m²) and its variability in fouling after storm

Показатель Parameter	Горизонты / Horizon		Участки / Section		
	верхний upper	нижний lower	корневой root	центральный central	мористый offshore
Chlorophyta					
Общая средняя В/доля (%) Total mean В/fraction (%)	6,0±5/1,5	9,5±7/5,2	2,9±1,7/1,1	12,3±12,1/4,8	7,8±4,9
C _v общей В C _v of total В	211	176	112	187	120
Ochrophyta					
Общая средняя В/доля (%) Total mean В/ fraction (%)	31,1±56/7,9	25,0±2,4/13,7	76,9±84,5/29,6	1,5±1,5/0,6	4,4±1,9
C _v общей В C _v of total В	415	205	210	196	83
Rhodophyta					
Общая средняя В/доля (%) Total mean В/fraction (%)	356,0±112/90,6	147,5±72/81,1	180,3±87/69,3/	243,0±139,6/94,6	430,5±116,1/97
C _v общей В C _v of total В	74	113	92	110	52
Фитоценоз (Phytocenosis)					
Общая средняя В/C _v Total mean В/C _v	393,1±118/71	182,0±79/89	260,1 ± 120/89	256,8±144/107	442,7±117/50

tum, *C. secundatum* и *C. crinita*. После шторма возрастают доля второстепенных видов (до 12%) и разнообразие доминантов. На нижнем горизонте доля субдоминантов уменьшается, а доминантов увеличивается.

Заключение

Экспериментально показано, что весенний шторм не приводит к радикальным перестройкам альгообрастания берегового ГТС. Уровень некоторых показателей после шторма остаётся прежним или увеличивается. Разрушение одних комплексов взаимосвязанных видов замещается появлением других, при этом организующим элементом остаётся один и тот же вид (*G. crinale*). Как правило, сохраняются таксономический состав, пропорции флоры, базовые таксоны и экогруппы, а также тенденции пространственных изменений ряда показателей. Наиболее «уязвимыми» в условиях шторма оказываются водоросли верхнего горизонта, центральной и корневой частей ГТС, среди показателей – фитомасса. Часть установленных фактов служит иллюстрацией естественного адаптивного отклика обрастания на не самый сильный шторм. Очевидно, что это действие будет наиболее ярко проявляться в условиях конкретного шторма, что требует дополнительных гидробиологических исследований. Пополнение базовых данных позволит в дальнейшем обеспечить требование современного подхода к изучению экологии сообществ, предполагающего интеграцию и совместную обработку больших массивов наблюдений [21].

Работа выполнена в рамках госзадания ФИЦ «ИнБИОМ им. А.О. Ковалевского РАН» № АААА-А18-118021350003-6, а также при поддержке РФФИ и г. Севастополь в рамках проекта № 18-45-920072.

Литература

1. Николаевский М.Ю., Горгуца Р.Ю., Субботин М.В. Экологическая оценка морских внешних оградительных сооружений // Гидротехника XXI век. 2012. № 2 (9). С. 34–39.
2. Левенец И.Р., Гордеева З.В. Состав макроводорослей обрастания причалов и судов в северо-западной части Японского и южной части Охотского моря // Вестник КрасГАУ. 2017. № 41. С. 197–202.
3. Капков В.И., Шошина Е.В., Беленикина О.А. Биоремедиация морских прибрежных экосистем: использование искусственных рифов // Вестник МГТУ. 2016. Т. 19. № 1/2. С. 286–295.

4. García-Gómez J.C., Guerra-García J.M., Espinosa F., Maestre M.J., Rivera-Ingraham G., Fa D., González A.R., Ruiz-Tabares A., López-Fé C.M. Artificial marine micro-reserves networks (AMMRNs): an innovative approach to conserve marine littoral biodiversity and protect endangered species // J. Mar. Ecol. 2015. V. 36. P. 259–277.
5. Drakard V.F., Lanfranco S., Schembri P.J. Macroalgal fouling communities as indicators of environmental change: potential applications for water quality monitoring // J. Mar. Biol. Assoc. UK. 2018. V. 98 (7). P. 1581–1588.
6. Evstigneeva I.K., Tankovskaya I.N. Structure and dynamics of macrophyte fouling of a hydraulic structure (Black Sea) // Power Technology and Engineering. 2019. V. 53 (1). P. 14–22.
7. Полонский А.Б., Гринцов В.А. Влияние шторма на структуру зооценоза, видовой состав и численность беспозвоночных у юго-западного побережья Крыма // Доповіді Національної академії наук України. 2013. № 8. С. 168–175.
8. Евстигнеева И.К., Танковская И.Н., Евстигнеев В.П. Альгоценозы обрастания искусственных рифов в условиях штормовой деятельности (Крым, Чёрное море) // Факторы устойчивости растений в экстремальных природных условиях и техногенной среде: Матер. Всерос. научн. конф. Иркутск: СИФИБР СО РАН, 2013. С. 315–318.
9. Проектирование морских берегозащитных сооружений: СП 32-103-97. М.: Корпорация «Трансстрой», 1998. 141 с.
10. Евстигнеев В.П., Наумова В.А., Воскресенская Е.Н., Евстигнеев М.П., Любарев Е.П. Ветроволновые условия прибрежной зоны Азово-Черноморского региона. Севастополь: ИПТС, 2017. 320 с.
11. Зинова А.Д. Определитель зелёных, бурых и красных водорослей южных морей СССР. М.–Л.: Изд-во «Наука», 1967. 397 с.
12. Калугина-Гутник А.А. Фитобентос Чёрного моря. Киев: Наукова думка, 1975. 248 с.
13. Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway [Электронный ресурс] <http://www.algaebase.org> (Дата обращения: 21.11.2018).
14. Wilhm J.L. Use of biomass units in shannon's formula // Ecology. 1968. V. 49. No. 1. P. 153–156.
15. Розенберг Г.С. Количественные методы экологии и гидробиологии // Сб. научн. трудов, посвящ. памяти А.И. Баканова. Тольятти: СамНИЦ РАН, 2005. 404 с.
16. Толмачёв А.И. Методы сравнительной флористики и проблемы флорогенеза. Новосибирск: изд-во «Наука», Сибирское отделение, 1986. 192 с.
17. Шмидт В.М. Статистические методы в сравнительной флористике. Л.: Изд-во ЛГУ, 1980. 176 с.
18. Зайцев Г.Н. Математика в экспериментальной ботанике. М.: Наука. 1990. 296 с.
19. Denny M., Gaylord B. The mechanics of wave-swept algae // J. Exper. Biol. 2002. V. 205. P. 1355–1362.

20. Уиттекер Р. Сообщества и экосистемы. М.: Прогресс, 1980. 227 с.

21. Шитиков В.К., Зинченко Т.Д. Многомерный статистический анализ экологических сообществ (обзор) // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 1. С. 5–11.

References

1. Nikolaevskiy M.Y., Gorgutsa R.Y., Subbotin M.V. Ecological assessment of the sea external protection structures // *Gidrotehnika XXI vek.* 2012. No. 2 (9). P. 34–39 (in Russian).

2. Levenets I.R., Gordeeva Z.V. The composition of macroalgae fouling of quays and vessels in the north-west part of the Sea of Japan and the southern part of the Sea of Okhotsk // *Vestnik KrasSAU.* 2017. No. 11. P. 197–202 (in Russian).

3. Kapkov V.I., Shoshina E.V., Belenikina O.A. Bioremediation of the marine coastal ecosystems: application of the artificial reefs // *Vestnik MSTU.* 2016. V. 19. No. 1/2. P. 286–295 (in Russian).

4. García-Gómez J.C., Guerra-García J.M., Espinosa F., Maestre M.J., Rivera-Ingraham G., Fa D., González A.R., Ruiz-Tabares A., López-Fé C.M. Artificial marine micro-reserves networks (AMMRNs): an innovative approach to conserve marine littoral biodiversity and protect endangered species // *J. Mar. Ecol.* 2015. V. 36. P. 259–277. doi: 10.1111/maec.12167

5. Drakard V.F., Lanfranco S., Schembri P.J. Macroalgal fouling communities as indicators of environmental change: potential applications for water quality monitoring // *J. Mar. Biol. Assoc. UK.* 2018. V. 98 (7). P. 1581–1588. doi: 10.1017/S0025315417001102

6. Evstigneeva I.K., Tankovskaya I.N. Structure and dynamics of macrophyte fouling of a hydraulic structure (Black Sea) // *Power Technology and Engineering.* 2019. V. 53 (1). P. 14–22. doi: 10.1007/s10749-019-01027-7

7. Polonskiy A.B., Grintsov V.A. Storm impact on the zoocenosis structure, species composition, and number of invertebrates on the south-west coast of Crimea // *Dopovidi Natsionalnoi akademii nauk Ukraini.* 2013. No. 8. P. 168–175 (in Russian).

8. Evstigneeva I.K., Tankovskaya I.N., Evstigneev V.P. Allogeneses of artificial reefs fouling under the conditions of storm (Crimea, the Black Sea) // *The factors of plants resistance under extreme natural conditions and technogenic environment: All-Russian scientific conference proceedings.* Irkutsk: SIPPB SB RAS, 2013. P. 315–331 (in Russian).

9. Engineering sea defence works: SP 32-103-97. Moskva: Korporatsiya “Transstroy”, 1998. 141 p. (in Russian).

10. Evstigneev V.P., Naumova V.A., Voskresenskaya E.N., Evstigneev M.P., Lyubarets E.P. Wind and wave conditions of the coastal zone of the Azov-Black Sea region. Sevastopol: IPTS, 2017. 320 p. (in Russian).

11. Zinova A.D. Detector of green, brown and red algae of the southern seas of the USSR. Moskva: Nauka, 1967. 397 p. (in Russian).

12. Kalugina-Gutnik A.A. Phytobentos of the Black Sea. Kiev: Naukova dumka, 1975. 248 p. (in Russian).

13. Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway [Internet resource] <http://www.algaebase.org> (Accessed: 21.11.2018).

14. Wilhm J.L. Use of biomass units in shannon’s formula // *Ecology.* 1968. V. 49. No. 1. P. 153–156. doi: 10.2307/1933573

15. Rozenberg G.S. Quantative methods in Ecology and Hydrobiology // *Sbornik nauchnyh trudov, posvyaschennyh pamyati A.I. Bakanova.* Tolyatti: SamSC RAS, 2005. 404 p. (in Russian).

16. Tolmachev A.I. Methods of comparative floristics and problems of florogenesis. Novosibirsk: Nauka, Sibirskoe otdelenie, 1986. 192 p. (in Russian).

17. Shmidt V.M. Statistical methods in comparative floristics. Leningrad: Izdatelstvo LGU, 1980. 176 p. (in Russian).

18. Zaytsev G.N. Mathematics in experimental botany. Moskva: Nauka, 1990. 296 p. (in Russian).

19. Denny M., Gaylord B. The mechanics of wave-swept algae // *J. Exper. Biol.* 2002. V. 205. P. 1355–1362.

20. Witteker R. Communities and ecosystems. Moskva: Progress, 1980. 227 p. (in Russian).

21. Shitikov V.K., Zinchenko T.D. Multivariate statistical analysis of ecological communities (review) // *Theoretical and Applied Ecology.* 2019. No. 1. P. 5–11 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2019-1-005-011