

РАЗВИТИЕ СООБЩЕСТВ ОБРАСТАНИЯ НА АНТРОПОГЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ В ПРИБРЕЖНЫХ ВОДАХ ЧЕРНОГО МОРЯ

© 2021 г. Л. Л. Смирнова^а, *, А. А. Кошкарров^а, О. С. Сизова^а

^аИнститут природно-технических систем, Севастополь, Россия

*e-mail: inik48@inbox.ru

Поступила в редакцию 23.03.2019 г.

После доработки 10.09.2020 г.

Принята к публикации 02.11.2020 г.

Исследована сезонная динамика ценозов обрастания антропогенных поверхностей в морской прибрежной акватории на глубине 1.5–2.0 м. В осенне-зимний период (октябрь–февраль) мшанка *Cryptosula pallasiana* (Moll), асцидия *Botryllus schlosseri* (Pallas) и инфузории родов *Zoothamnium*, *Vorticella*, *Ephelota*, *Dendrosoma* и *Folliculina* формируют слой несплошного обрастания. Многовидовое сообщество развивается на различных поверхностях в летне-осенний сезон (июль–ноябрь). Корковые мшанки *Cryptosula pallasiana*, *Conopeum seurati* (Cuvu) и усоногий рак *Amphibalanus improvisus* (Darwin) оседают одновременно и образуют первый ярус обрастания. Нитчатая мшанка *Bowerbankia gracilis* (Leidy) и полихеты семейств *Serpulidae* и *Spionidae* формируют в июле–августе второй ярус обрастания. Оболочник *Molgula euprocta* (Drasche), кишечнотолстой гидроид *Obelia loveni* (Allman) и личинки двухстворчатых моллюсков *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck) и *Mytilaster lineatus* (Gmelin), оседающие в сентябре, продолжают сукцессию обрастания в течение осеннего периода. Полученные результаты отражают биоразнообразие прибрежных акваторий юго-западного побережья Крыма и влияние на сукцессию обрастания климатического фактора – температуры морской воды, которая возрастает в результате глобального потепления.

Ключевые слова: юго-западное побережье Крыма, прибрежные воды, температура морской воды, процессы колонизации, сообщество обрастания

DOI: 10.31857/S0320965221040136

ВВЕДЕНИЕ

Экологическая группировка морских микроорганизмов и беспозвоночных, которая появляется на границе раздела “антропогенная поверхность – морская вода”, в отличие от ценоза скал, эпилитона и эпифитона, называется “сообществом обрастания” (Брайко, 1985; Серавин и др., 1985; Зевина, 1994; Гринцов, Полтаруха, 2004; Звягинцев, 2005; Раилкин, 2008). Формирующиеся поселения морских организмов представляют собой биоценоз обрастаний, а входящие в его состав гидробионты объединены термином “обрастатели”. В морских прибрежных экосистемах сообщества обрастания антропогенных поверхностей служат индикатором биоразнообразия беспозвоночных донных сообществ, они повышают продукционный потенциал экосистем и обладают биомелиоративными свойствами (Звягинцев, 2005; Александров, 2008). В то же время, обрастания наносят экономический ущерб, развиваясь на подводной части морских судов различного назначения, газо- и нефтедобывающих платформ и

гидрографических измерительных приборов, нарушают работу водоводов в различных охлаждающих системах, использующих морскую воду (Звягинцев, 2005; Раилкин и др., 2017). При определении эффективности современных средств защиты различных поверхностей от обрастания проводятся их испытания в прибрежных акваториях, для чего необходимо изучать закономерности формирования и развития морских сообществ обрастания в районе таких испытаний (Николаенко, Смирнова, 1996; Раилкин, 2008; Раилкин и др., 2017).

Благодаря разнообразию бентосных сообществ, наиболее интенсивное обрастание происходит в морских прибрежных акваториях при стационарных условиях (Николаенко, Смирнова, 1996; Полтаруха, 2000; Раилкин, 2008). В процессе жизненного цикла бентосных беспозвоночных их расселительные ювенильные формы некоторое время ведут планктонный образ жизни, разносятся течением и оседают на поверхность различных субстратов, в том числе антропогенных (Раилкин, 2008; Kazankova, 2014; Казанкова, 2016; Chelyadina et al., 2017). Колонизация любой ан-

Сокращения: Ст3 – низколегированная сталь.

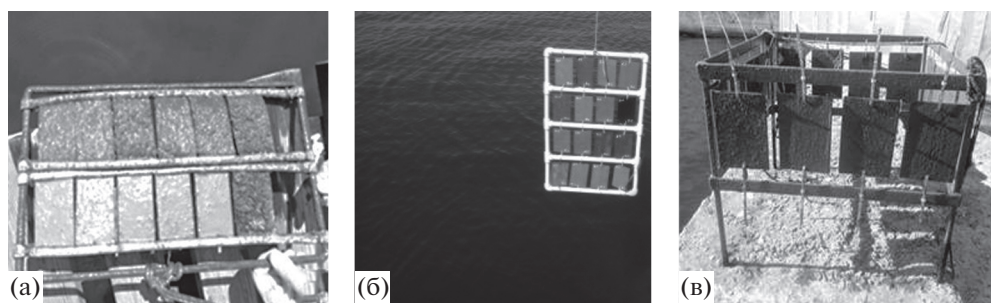


Рис. 1. Испытание образцов различного химического состава: а, б — кассеты для кратковременных испытаний (экспозиция до одного года); в — кассеты для длительных испытаний противоположающихся составов (экспозиция до трех лет).

тропогенной поверхности, попадающей в воду, начинается с оседания и прикрепления микроорганизмов — бактерий, микроводорослей, грибов (Серавин и др., 1985; Ковальчук и др., 2008; Рябушко и др., 2020). Затем по биоленке микрообрастания происходит последовательное или одновременное оседание личинок беспозвоночных (макрообрастателей), а также замена одних видов макрообрастателей на другие, которые появляются в планктоне в зависимости от сезона (Таможняя и др., 1988; Николаенко, Смирнова, 1996; Гринцов, Полтаруха, 2004; Лисицкая, 2017; Chelyadina et al., 2017; Лебедевская и др., 2018), что позволяет представить обрастание как биотическую сукцессию.

Цель работы — изучить макроценозы обрастания антропогенных поверхностей в различные сезоны в зависимости от длительности экспозиции и основных физико-химических параметров морской воды.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Процесс формирования и развития обрастания изучали на пластинах размером $100 \times 50 \times 2$ мм и $100 \times 150 \times 2$ мм. Для исследования использовали следующие материалы: алюминий, техническая резина, Ст3, стекло, пластмасса (полиарилат), оргстекло, противоположающиеся составы, подготовленные по SMT-технологии (Soluble Matrix Type Paints) с растворимой органической матрицей, биоцид — закись меди (Chambers et al., 2006; Раилкин и др., 2017). Образцы закрепляли в вертикальном положении в специальных кассетах, удобных для проведения многочисленных осмотров (рис. 1). Обрастание изучали на глубине 1.5–2.0 м на морском стационарном стенде, расположенном в прибрежной акватории бухты Севастопольская ($44^{\circ}62'$ с.ш., $33^{\circ}52'$ в.д.). Экспериментальные работы проводили в течение трех лет с февраля 2017 по февраль 2019 гг. Кассеты с образцами устанавливали на испытания в летне-осенний (июнь—октябрь), осенне-зимний (ок-

тябрь—февраль) и осенне-весенний (ноябрь—апрель) сезоны.

Осмотр поверхности экспериментальных пластин проводили после 2, 5, 9, 12 мес экспозиции в море. Состояние поверхности противоположающихся составов оценивали после длительных сроков испытания — 18, 24, 30 и более месяцев. На экспериментальных пластинах изучали биоразнообразие и количественный состав беспозвоночных с учетом вклада (доли) каждого. Количество гидробионтов подсчитывали с двух сторон на всей поверхности образца, отмечая особенности их распределения по поверхности, размер особей или колоний. В многомесячных сообществах обрастателей подсчитывали на участках размером 3×3 см, выбранных на наиболее обросшей части образца с последующей экстраполяцией полученных результатов на площадь 1 м^2 (Раилкин и др., 2015; Лебедевская и др., 2018). Противоположающиеся составы после оседания первых организмов-обрастателей снимались с дальнейших испытаний, поскольку эффективность противоположающихся композиций оценивается временем, в течение которого их поверхность в естественной морской среде свободна от макрообрастания.

Для исследования сукцессии макрообрастания — последовательности оседания личинок гидробионтов-обрастателей — в течение года ежемесячно, начиная с февраля, в кассету устанавливали 2–3 пластины из оргстекла и Ст3 (рис. 1а), через месяц эти образцы снимали для изучения сформировавшегося биоценоза обрастания, а вместо них устанавливали чистые пластины, на которых изучали состав беспозвоночных осевших в течение следующего месяца. Поверхность пластин просматривали под бинокулярном МБС-10 при увеличении $\times 12$ и под лупой $\times 4$. Такие наблюдения позволяют определить биоразнообразие в районе испытательного стенда, выделить сезоны с максимальным оседанием личинок обрастателей.

За период исследований изучено обрастание на 318 экспериментальных пластинах, в их числе по 24 образца из алюминия, технической резины,

Таблица 1. Сезонная динамика оседания беспозвоночных на поверхность из оргстекла в бухте Севастопольская в 2019 г.

Беспозвоночные	Начало обрастания		Окончание		Продолжительность обрастания, мес
	месяц	<i>T</i> , °С	месяц	<i>T</i> , °С	
Амфибалианусы	Февраль—март	9.0—12.2	Октябрь	15.6	7.5—8.0
Мшанки	Февраль	8.5—9.0	Ноябрь	14.8—13.5	9.0
Ботриллюсы	Май—июнь	17.9—19.8	Июнь	19.8—20.0	1.0—1.5
	Сентябрь—октябрь	22.8—15.6	Ноябрь	14.8—13.5	1.0—1.5
Оболочники	Сентябрь	22.8—16.3	Октябрь	15.6	1.5—2.0
Полихеты	Июль—август	25.8—23.6	Октябрь	15.6	4.0
Гидроиды	Март—апрель	12.2—13.8	Апрель	13.8—14.5	1.5—2.0
	Октябрь—ноябрь	15.6—14.8	Ноябрь	13.5	0.5—1.0
Моллюски	Сентябрь—октябрь	22.8—15.6	Октябрь	16.3	2.0

Примечание. *T* – температура морской воды.

стекла, полиарилата, 180 образцов из оргстекла и Ст3, 42 образца различных композиций противообрастающих составов. Для кратковременных испытаний (от 1 до 12 мес) пластин различного химического состава использовали пять кассет (рис. 1а, 1б), для долговременных испытаний образцов противообрастающих покрытий использовали три кассеты (рис. 1в). Эти кассеты после снятия обросших пластин очищали, заполняли новыми экспериментальными пластинами и устанавливали в море для дальнейших испытаний.

В районе испытательного стенда на глубине 1.5 м определяли температуру морской воды контактным методом с помощью ртутного термометра, соленость электрометрическим методом на “Sansion-5” (Hitachi), pH электрометрическим методом с использованием pH-метра-милливольтметра pH-673 M (Рябинин, Шибеева, 2002).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Обрастание антропогенных поверхностей (сидячие, прикрепленные беспозвоночные) в прибрежной акватории бухты Севастопольская характеризуется следующим видовым разнообразием:

Cryptosula pallasiana Moll, *Conopeum seurati* Canu, *Bowerbankia gracilis* Leidy (тип Bryozoa, класс Gymnolaemata, семейства Cryptosulidae, Electridae, Vesiculariidae); *Amphibalanus improvisus* Darwin (тип Arthropoda, подтип Crustacea, инфракласс Cirripedia); *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, *Mytilaster lineatus* Gmelin (тип Mollusca, класс Bivalvia); *Botryllus schlosseri* Pallas, *Molgula euprocta* Drasche (тип Chordata, подтип Tunicata, класс Ascidiacea, семейства Styelidae, Molgulidae); *Obelia loveni* Allman (тип Cnidaria, класс Hydrozoa, семейство Campanulariidae); полихеты (тип Anneli-

da, класс Polychaeta, семейства Serpulidae и Spionidae). В весенний и летний сезоны в ценозах обрастания встречаются зеленые *Cladophora gracilis* (Kützing), *Zostera marina* (Linnaeus) и бурые *Cystosiera barbata* (Stackhouse) C. Agardh макроводоросли.

Гидрохимический мониторинг в районе испытания образцов не выявил значительных сезонных изменений солености и величины pH. Величина pH в прибрежных акваториях севастопольского взморья в летне-осенний сезон была в диапазоне 8.10–8.25, в зимне-весенний период возрастала до 8.20–8.55. Соленость в бухте Севастопольская изменялась в узком диапазоне 17.9–18.4‰. Отмеченные сезонные изменения основных химических параметров морской воды не лимитировали одновременное оседание на поверхность образцов из различных материалов корковых мшанок *Cryptosula pallasiana*, *Conopeum seurati* и усоногих раков *A. improvisus*.

Влияние сезонного изменения температуры воды на последовательность оседания гидробионтов-обрастателей в районе прибрежного испытательного стенда в течение 2019 г. приведено в табл. 1. В феврале она не опускалась ниже 8.0°C, с сентября до конца ноября сохранялась на уровне 22.8–13.5°C, в июле–августе прогревалась до 25.0–25.8°C. Отмеченный температурный режим морской воды был благоприятен для длительного (8–9 мес) оседания мшанок и амфибалианусов на антропогенные поверхности. Размер колоний *C. pallasiana* в летние месяцы (июль, август), когда температура воды достигала максимальных значений, возрастал до 10–15 мм, что в ~2.5 раза превышало размер колоний осевших мшанок в зимний и осенний сезоны. Диаметр основания домиков осевших усоногих раков к летнему сезону увеличивался до 3.0–4.0 мм и достигал макси-

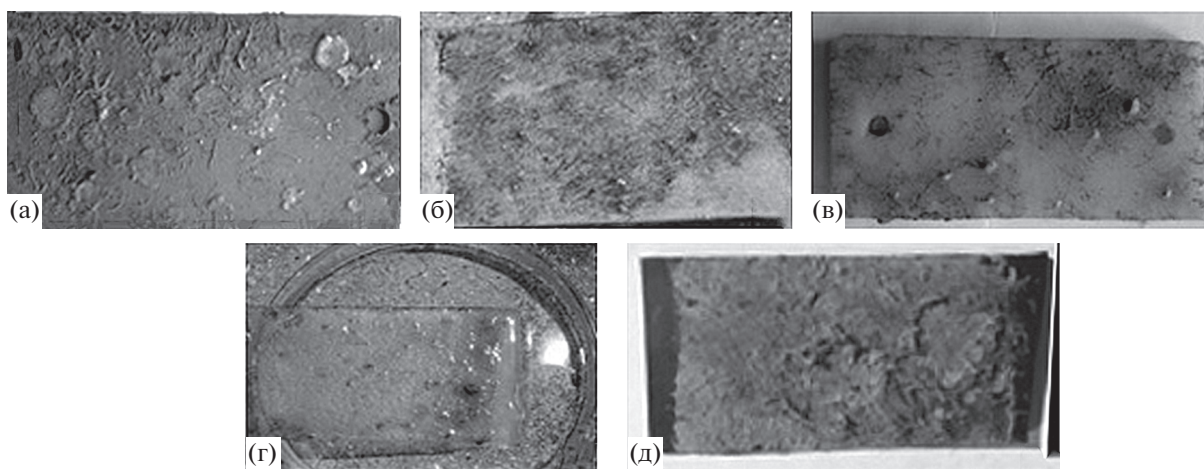


Рис. 2. Двухмесячные ценозы обрастания различных субстратов (июнь—июль 2019 г.): а — Ст3, б — алюминий, в — оргстекло, г — полиакрилат, д — техническая резина.

мального размера (12–15 мм) в пятимесячных ценозах к сентябрю—октябрю.

Изучение обрастания на оргстекле, полиакрилате, технической резине, алюминии и Ст3 показало, что различия в видовом составе ценозов хорошо заметны на первых стадиях сукцессии обрастания. После двухмесячной экспозиции в летний сезон (июнь—июль) на различных по химическому составу поверхностях формировались ценозы обрастания, которые отличались разнообразием, численностью и размерами осевших гидробионтов-обрастателей. Минимальный оброст в двухмесячных ценозах наблюдался на оргстекле и полиакрилате, максимальный — на металлических пластинах (Ст3 и алюминии) и технической резине (рис. 2).

В течение летних месяцев на поверхность алюминия и технической резины оседали не только беспозвоночные (в основном, усоногие раки и мшанки), также развивалось водорослевое обрастание, представленное макроводорослями *C. gracilis*, *Z. marina*, которое является автотрофной стадией сукцессии обрастания (рис. 2б, 2д). На поверхности технической резины и Ст3 в течение двухмесячной экспозиции формировались крупные колонии мшанок. Их размер достигал 15–35 мм, в отличие от более мелких колоний (≤ 10 мм) на оргстекле и полиакрилате (рис. 2в, 2г). На органических покрытиях, особенно технической резине, отмечены крупные экземпляры усоногого рака — *A. improvisus* (диаметр основания домиков >4 –5 мм). Обрастание на всех образцах развивалось равномерно, однако площадь обросшей поверхности различных материалов возрастала в следующей последовательности: оргстекло (20%) — полиакрилат (30%) — алюминий и Ст3 — (55%) — техническая резина (80%).

Различия в видовом составе обрастания на исследуемых пластинах нивелировались после 5 мес и более длительных сроков испытания в море при образовании многослойного оброста (рис. 3, 4).

Изучение многомесячных (5, 9 и 12 мес) ценозов показало, что минимальное обрастание экспериментальных пластин наблюдалось в осенне-зимний период. Оседание и развитие обрастателей отмечено на 25–30% нижней части поверхности образцов и было представлено только колониями мшанки *Cryptosula pallasiana* и асцидии *Botrillus schlosseri*, мелкими экземплярами усоногого рака *A. improvisus* (рис. 3а) и прикрепленными инфузориями родов *Zoothamnium*, *Vorticella*, *Ephelota*, *Dendrosoma* и *Folliculina*.

Весной, особенно в апреле—мае при увеличении температуры воды до 17.0–17.9°C (табл. 1), наблюдался первый пик оседания на различные поверхности *B. schlosseri*. В сентябре—октябре отмечен второй, более продолжительный осенний пик, который продолжался до конца ноября при постепенном понижении температуры воды до 14.8–13.5°C (табл. 1). В зимний сезон колонии *B. schlosseri* не развивались (рис. 3а). Только длительная экспозиция образцов в течение осенне-зимнего и весеннего сезонов (сентябрь 2017 г.—май 2018 г.) показала, что в девятимесячных сообществах на органических субстратах (полиакрилате и оргстекле) доминируют мягкотелые колонии ботриллюсов, покрывающие до 80–85% поверхности (рис. 3г–3ж). Максимальный размер некоторых колоний *B. schlosseri* достигал 4.5 × 5.5 см. Ботриллюсы не лимитируют оседание и развитие других обрастателей, на поверхность этих асцидий оседают и развиваются оболочник *M. euprocta* (рис. 3ж, 4е), который появляется в ценозе в осенний сезон, свободноживущие многощетинковые

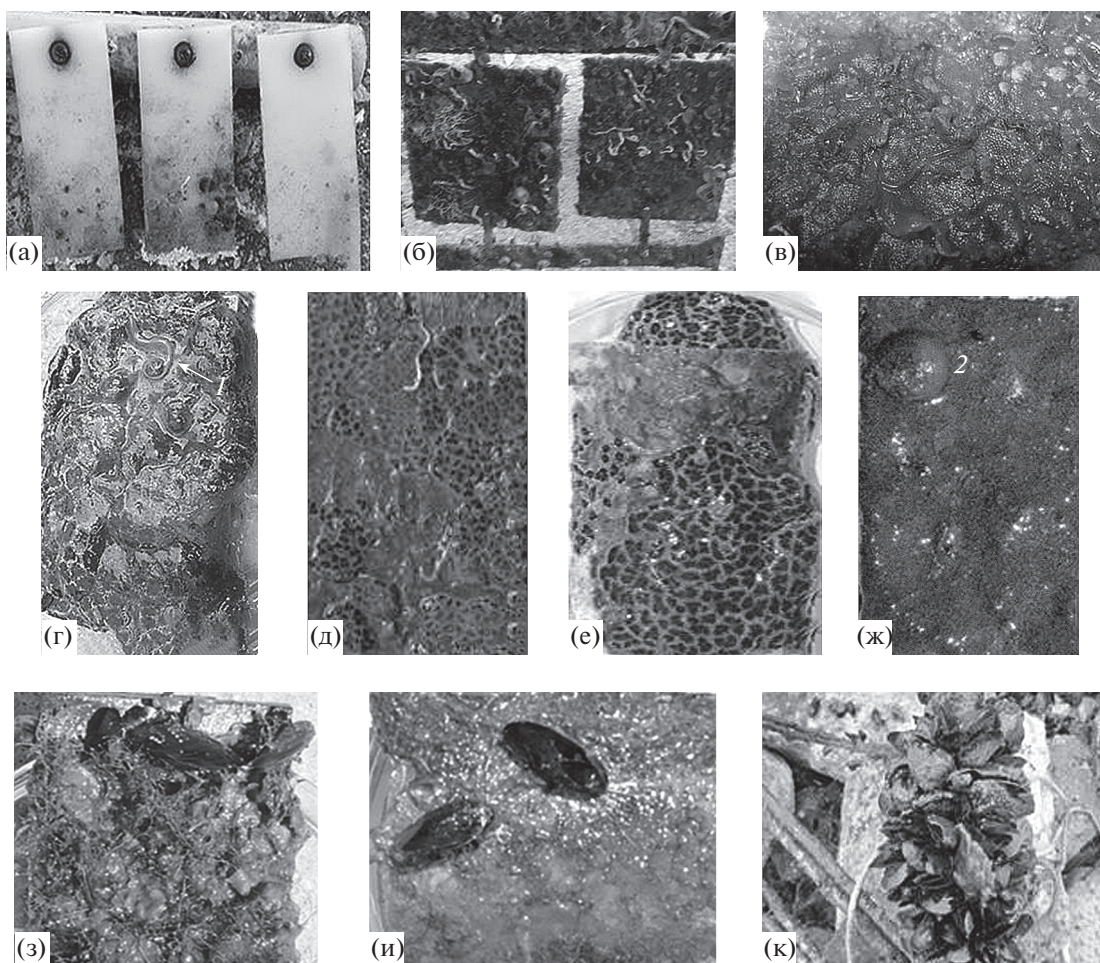


Рис. 3. Сообщества обрастания: 5-месячные (а) — октябрь 2017 г.—февраль 2018 г., и (б, в) — июль—ноябрь 2019 г.; 9-месячные (г—ж) — сентябрь 2017 г.—май 2018 г.; 12-месячные (з—к) — март 2017 г.—март 2018 г. 1 — свободноживущие полихеты, 2 — оболочник *Molgula euprocta*.

полихеты (рис. 3г) и домики прикрепленных полихет (рис. 3д, 4е, 4ж).

Наиболее интенсивное и разнообразное обрастание антропогенных поверхностей происходит в летне-осенний сезон, когда в планктоне Севастопольского взморья и бухты Севастопольская наблюдается высокая численность личинок организмов-обрастателей (Лисицкая, 2017; Chelyadina et al., 2017). Количественный вклад различных видов гидробионтов-обрастателей в сообществе 5-месячного обрастания приведен в табл. 2.

Эдификаторы 5-месячного сообщества обрастания мшанки и усонogie раки оседают одновременно и образуют первый (нижний ярус) оброста. Усонogie раки различного возраста с диаметром основания домика 1.5–12.0 мм расположены группами по всей поверхности образцов, однако уступают по численности Bryozoa. Численность *C. pallasiana* достигала >1000 колоний/м² (до 53.2% численности всех осевших обрастателей), а усонogих раков — >600 колоний/м² (43.6%) (табл. 2). Можно отме-

тить их рост по колониям *C. pallasiana*, а также рост мшанок по домикам *A. improvisus* (рис. 3б, 3в). К третьим по численности организмам-обрастателям относятся полихеты семейств Serpulidae, Spionidae (рис. 3б, 3в, 4ж) и кишечнoполостной гидроид *O. loveni* (рис. 4ж). Колонии *O. loveni* активно обрастают поверхность ранней весной и осенью, когда в меропланктоне численность их личинок максимальна, что отмечено в работе (Chelyadina et al., 2017), в остальное время (летний период) они исчезают из сообщества обрастания.

Домики сидячих полихет входят в основной комплекс многослойного сообщества обрастания как на нейтральных поверхностях (рис. 4е, 4ж), так и на теряющих эффективность (обрастающих) после 2.5 лет экспозиции (март 2017—октябрь 2019 г.) противобрастающих составах (рис. 3б). На их поверхности формируется несплошное обрастание полихетами и амфибалиянусами с диаметром основания домиков 6–8 мм. Усонogie раки *A. improvisus* — одна из основных

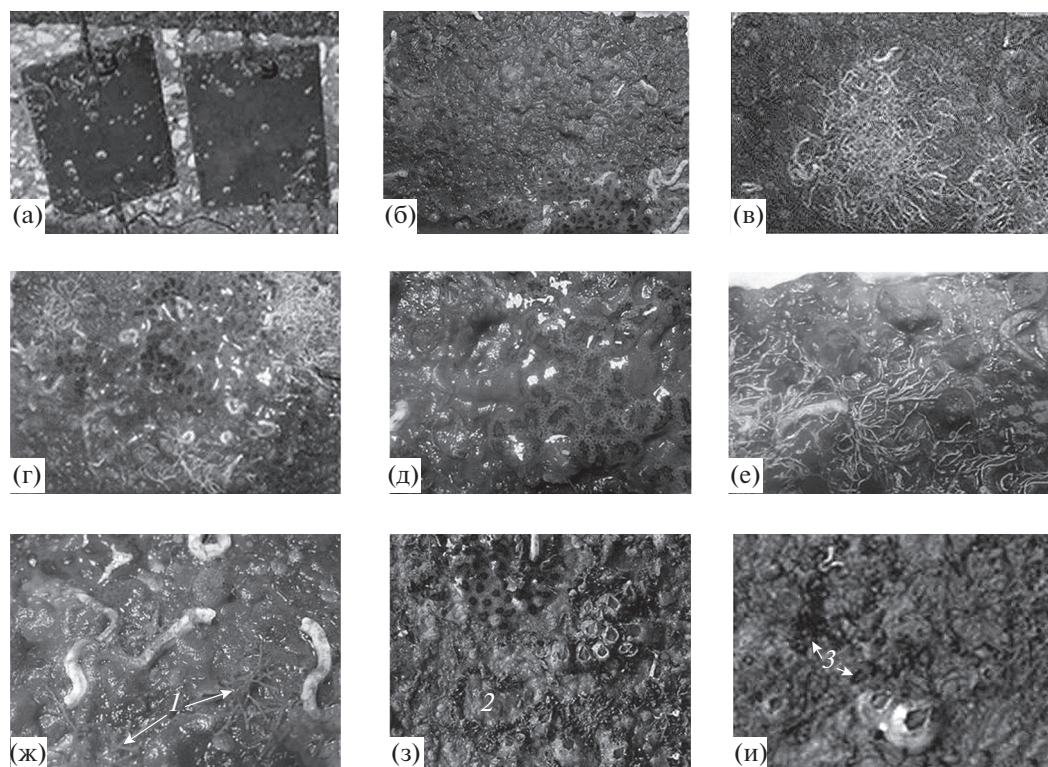


Рис. 4. Колонизация антропогенных поверхностей макрообработателями: а – *Amphibalanus improvisus* и полихеты семейств Serpulidae и Spionidae на противообрастающем покрытии (экспозиция 2.5 года), б – многослойное обрастание на оргстекле (июль–ноябрь 2019 г.). Формирование многослойного обрастания: в – *Bowerbankia gracilis*; г, д – *Botrillus schlosseri*; е – *Molgula euprocta*; ж – колонии гидроида *Obelia laveni* (1); з – молодь двухстворчатых моллюсков *Mytilus galloprovincialis* (2); и – *Mytilaster lineatus* (3).

групп гидробионтов в обрастании гидротехнических сооружений и подводного борта судов в южных и восточных морях РФ, океаническом обрастании (Горбенко, 1977; Зевина, 1994; Звягинцев, 2005). Они эврибионтные, обладают устойчиво-

стью к загрязнению морской воды, опреснению и другим неблагоприятным факторам (Брайко, 1985; Раилкин, 2008). Личинки *A. improvisus* способны первыми садиться и развиваться на поверхностях, защищенных токсичными противообраста-

Таблица 2. Биоразнообразие, численность видов, колоний обрастателей и их доли в 5-месячных ценозах на оргстекле, июль–ноябрь 2017–2019 гг.

Макрообрастатели	Численность, экз./м ²	Доля в обрастании, %
	Cirripedia	
<i>Amphibalanus improvisus</i>	654–1646	33.2–43.4
	Bryozoa	
<i>Cryptosula pallasiana</i> , колонии	1046–1538	53.2–40.6
<i>Conopeum seurati</i> , колонии	83–155	4.3–4.1
<i>Bowerbankia gracilis</i> , колонии	10–12	0.5–0.5
	Polychaeta	
Семейство Serpulidae	73–150	3.7–4.0
	Asciacea	
<i>Botrillus schlosseri</i> , колонии	10–56	0.5–1.3
<i>Molgula euprocta</i>	15–25	0.8–0.6
	Hydrozoa	
<i>Obelia laveni</i> , колонии	75–210	3.8–5.4

ющими составами (Николаенко, Смирнова, 1996; Полтаруха, 2000). В долговременных экспериментах 2017–2019 гг. из 42 образцов различных модификаций противообрастающих составов эффективность показали только 16 образцов – на их поверхности за этот период не отмечено оседания и развития обрастателей (рис. 1в).

При формировании 5-месячного ценоза в течение летне-осеннего периода (начиная с июля), происходит оседание и рост нитчатой мшанки *Bowerbankia gracilis* (по асцидии *Botrillus schlosseri*) (рис. 4г). Также ее колонии быстро разрастаются по поверхности ранее осевших обрастателей *A. improvisus* и *C. pallasiana*, в результате формирует многослойное обрастание (рис. 3б, рис. 4в–4е).

Личинки двухстворчатых моллюсков *Mytilus galloprovincialis* и *Mytilaster lineatus*, оседающие в сентябре, продолжают сукцессию 5-месячного обрастания в течение осеннего периода (рис. 4з, 4и). Обрастание антропогенных поверхностей двухстворчатыми моллюсками происходит по быстрорастущим обрастателям – мшанкам, амфибалинсам, ботриллюсам. Моллюски прикрепляются к их поверхности с помощью биссуса и развиваются до взрослых особей в течение одного–двух лет (Таможняя и др., 1988; Николаенко, Смирнова 1996, Раилкин, 2008). В 2017 г. к концу ноября в 5-месячных ценозах обрастания отмечались поселения молоди моллюсков *M. galloprovincialis* и *M. lineatus*, доминировал *Mytilus galloprovincialis* с размером раковины 1–4 мм (рис. 4з, 4и). Их численность вокруг домиков баянусов и на поверхности мшанок достигала нескольких десятков особей. В процессе роста часть молоди опала. После 12-месячной экспозиции (март 2017–март 2018 г.) на поверхности образцов присутствовали единичные особи *M. galloprovincialis* с размером раковины 30.20 ± 0.07 мм (рис. 3з, 3и), в отличие от интенсивного обрастания нитчатых фалов, на которых крепятся кассеты с образцами (рис. 3к).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Проведенные авторами исследования показали, что видовое разнообразие гидробионтов-обрастателей, их размер, особенности распределения по поверхности различных экспериментальных пластин зависят от сезона и длительности экспозиции. Сравнительное изучение пятилетних ценозов обрастания после экспозиции пластин в летне-осенний (июль–октябрь), зимне-весенний (ноябрь–апрель) и осенне-зимний (октябрь–февраль) сезоны выявило, что многослойное и разнообразное обрастание антропогенных поверхностей развивается в летне-осенний сезон. На различных по химическому составу поверхностях оно представлено беспозвоночными прибрежного мелководья бухты Севастопольская –

корковыми и нитчатыми мшанками, усоногими раками, полихетами (рис. 3б, 3в, рис. 4б–4е).

Один из основных факторов, влияющих на появление, разнообразие и численность личинок обрастателей в меропланктоне прибрежной акватории бухты Севастопольская (район испытания пластин) – скорость и направление течения морской воды (Марикультура..., 2008; Лисицкая, 2017). В процессе жизненного цикла бентосных беспозвоночных их расселительные ювенильные формы некоторое время ведут планктонный образ жизни, разносятся течением и оседают на поверхности различных субстратов, в том числе и антропогенных, и начинают развиваться (Раилкин, 2008). Для Севастопольского взморья и прибрежной акватории бухты Севастопольская, характерно прибрежное течение (скорость 2–10 м/с), которое входит в единую систему замкнутых циклонических потоков Черного моря (Марикультура..., 2008; Белокопытов, Никольский, 2015) и способствует переносу планктонных организмов, в том числе и личинок гидробионтов-обрастателей (Гонтарь, 2016; Казанкова, 2016; Chelyadina et al., 2017; Лебедевская и др., 2018; Рябушко и др., 2019).

Изучение обрастания нейтральных антропогенных поверхностей и противообрастающих составов в бухте Севастопольская, было начато сотрудниками Института биологии южных морей им. А.О. Ковалевского (г. Севастополь). В 60–90-х гг. XX в. ими были разработаны биологические основы проведения испытаний. Показано, что к основным абиотическим факторам, влияющим на развитие ценозов обрастания, относятся химическая природа экспериментальных пластин (нейтральные, токсичные), глубина их погружения, освещенность или ориентация поверхности к сторонам света (более интенсивное обрастание развивается на поверхностях, ориентированных на восток) (Долгопольская, Дегтярев, 1968), направление течения морской воды, ее температура, соленость и доступность корма для гидробионтов-обрастателей с фильтрационным типом питания (Горбенко, 1977; Брайко, 1985; Таможняя и др., 1988; Александров, 2008).

Сравнение результатов, полученных нами в 2017–2019 гг., с таковыми 60–90-х годов XX в., показало, что в бухте Севастопольская на различных антропогенных поверхностях развивается разнообразное обрастание, которое формируют те же виды беспозвоночных, что отмечались и ранее (Долгопольская, Дегтярев 1968; Горбенко, 1977; Брайко, 1985; Таможняя и др., 1988; Николаенко, Смирнова, 1996; Полтаруха, 2000; Гринцов, Полтаруха, 2004; Марикультура..., 2007): усоногие раки *Amphibalanus improvisus* Darwin (синоним *Balanus improvisus* Darwin); двухстворчатые моллюски *M. galloprovincialis*; полихеты семейств

Serpulidae и Spionidae, доминирует *Polydora ciliate* Johnston; корковые мшанки *Conopeum seurati*, *Cryptosula pallasiana* Moll (синоним *Lepralia pallasiana* Moll); нитчатая мшанка *B. gracilis*; колонизальная асцидия *B. schlosseri*; оболочник *M. euprocta*; кишечнополостной гидроид *O. lavine*. Кроме перечисленных видов на антропогенных поверхностях встречается немногочисленная группа подвижных, неприкрепленных к субстрату червей (олигохеты, турбеллярии, нематоды), которые относятся к второстепенным организмам-обрастателям (Горбенко, 1977; Гринцов, Полтаруха, 2004). Их жизнедеятельность проходит среди прикрепленных обрастателей, но они вносят лишь небольшой вклад в биомассу и негативное влияние обрастания подводной части судов и различных гидротехнических сооружений (Зевина, 1994; Полтаруха, 2000; Александров, 2008; Раилкин и др., 2015).

Важнейшим фактором, влияющим на экологию, биологию беспозвоночных и таксономический состав сообществ обрастания является температура воды, которая определяет начало и продолжительность оседания гидробионтов-обрастателей, а также развитие всех прикрепившихся личинок (Горбенко, 1977; Раилкин, 2008; Лисицкая, 2017). Температура воды регулирует потребление кислорода, пищевые потоки и скорости роста осевших отдельных особей и колоний гидробионтов-обрастателей (Долгопольская, Дегтярев, 1968; Брайко, 1985; Александров, 2008; Звягинцев, 2005; Рябушко и др., 2019).

В зимний и осенний периоды 2019 г. в районе испытательного стенда зарегистрирована аномально высокая температура воды. В феврале, самом холодном месяце, она не опускалась ниже 8.5–8.0°C и в марте быстро прогревалась до 12.0°C. В сентябре температура воды сохранялась на уровне 22.8–20.0°C, медленно охлаждаясь до 16.3–15.6°C к октябрю, что на 1.5–2.5°C выше, по сравнению с наблюдениями 80–90-х гг. XX в. (Таможняя и др., 1988; Николаенко, Смирнова, 1996).

Анализ ценозов обрастания после месячных экспозиций пластин, проведенных с февраля по декабрь 2019 г., показал, что мшанки *C. pallasiana* и *A. improvisus* первыми появляются на поверхности образцов, оседание и рост колоний мшанок и домиков усоногих раков начинается с февраля и продолжается в течение 9 мес (рис. 5). Оседание ботриллюсов наблюдается весной при быстром прогревании морской воды до 17.0–19.0°C и осенью, пока температура воды сохраняется на этом же уровне (рис. 5г, 5к, 5л). Зарегистрировано летнее оседание полихет, их домики в течение месяца разрастались до 10 мм (рис. 5и). В летний период при температуре воды 23.6–25.8°C (табл. 1) в течение месяца сообщества обрастания формировались на 40–55% поверхности образцов, а раз-

мер гидробионтов достигал максимальных значений (рис. 5д–5и). Следует отметить, что моллюски не оседали на чистую поверхность экспериментальных пластин в период их массового появления в меропланктоне – весенний сезон, начало осеннего сезона (Лисицкая, 2017; Рябушко и др., 2019). Появление моллюды *Bivalvia* в результате роста личинок наблюдали в сентябре 2019 г. только в многослойных 4-месячных сообществах (рис. 4з, 4и).

При сравнении полученных результатов с аналогичными наблюдениями в 80–90-х годах XX в. (Таможняя и др., 1988; Николаенко, Смирнова, 1998) выявлен ряд отличий в динамике оседания гидробионтов на антропогенные поверхности. В последние годы усонogie раки *Amphibalanus improvisus* (синоним *Balanus improvisus*) начинают оседать на месяц раньше – с февраля. Массовое оседание личинок моллюсков происходит в сентябре–октябре в отличие от летнего пика оседания, отмечавшегося ранее.

По результатам наблюдений авторов, мшанка *Cryptosula pallasiana* (синоним *Lepralia pallasiana*) одновременно с усоногим раком *A. improvisus* остаются доминирующими гидробионтами-обрастателями, но их численность возросла и в летне-осенних многослойных сообществах достигает 53.2 и 43.4% общей численности обрастателей соответственно. В 70–90 годах XX в. в таких сообществах численность доминантов *Cryptosula pallasiana* (синоним *Lepralia pallasiana*) не превышала 40%, *Amphibalanus improvisus* (синоним *Balanus improvisus*) 30–40% и характеризовалась межгодовой изменчивостью (Брайко, 1985; Таможняя и др., 1988).

Отмеченные изменения, в первую очередь, можно связать с влиянием климатического фактора – постепенным повышением на северо-восточном взморье среднегодовой температуры воды на 1.5°C в течение последних 20 лет (Chelydina et al., 2017). В результате этого в прибрежных акваториях бухты Севастопольская период с февраля по ноябрь по температурному режиму характеризуется благоприятными условиями для оседания и развития на антропогенных поверхностях основных групп черноморских макрообрастателей.

Выводы. В прибрежных акваториях бухты Севастопольская с февраля по ноябрь происходит интенсивное оседание на различные антропогенные поверхности основных представителей черноморского обрастания. В 2-месячных ценозах микримальный оброст отмечен на органических материалах, максимальный (до 80% поверхности) – на Ст3, алюминии и технической резине. Многослойное и разнообразное по видовому составу обрастание антропогенных поверхностей формируется в летне-осенний сезон. Личинки усоногого

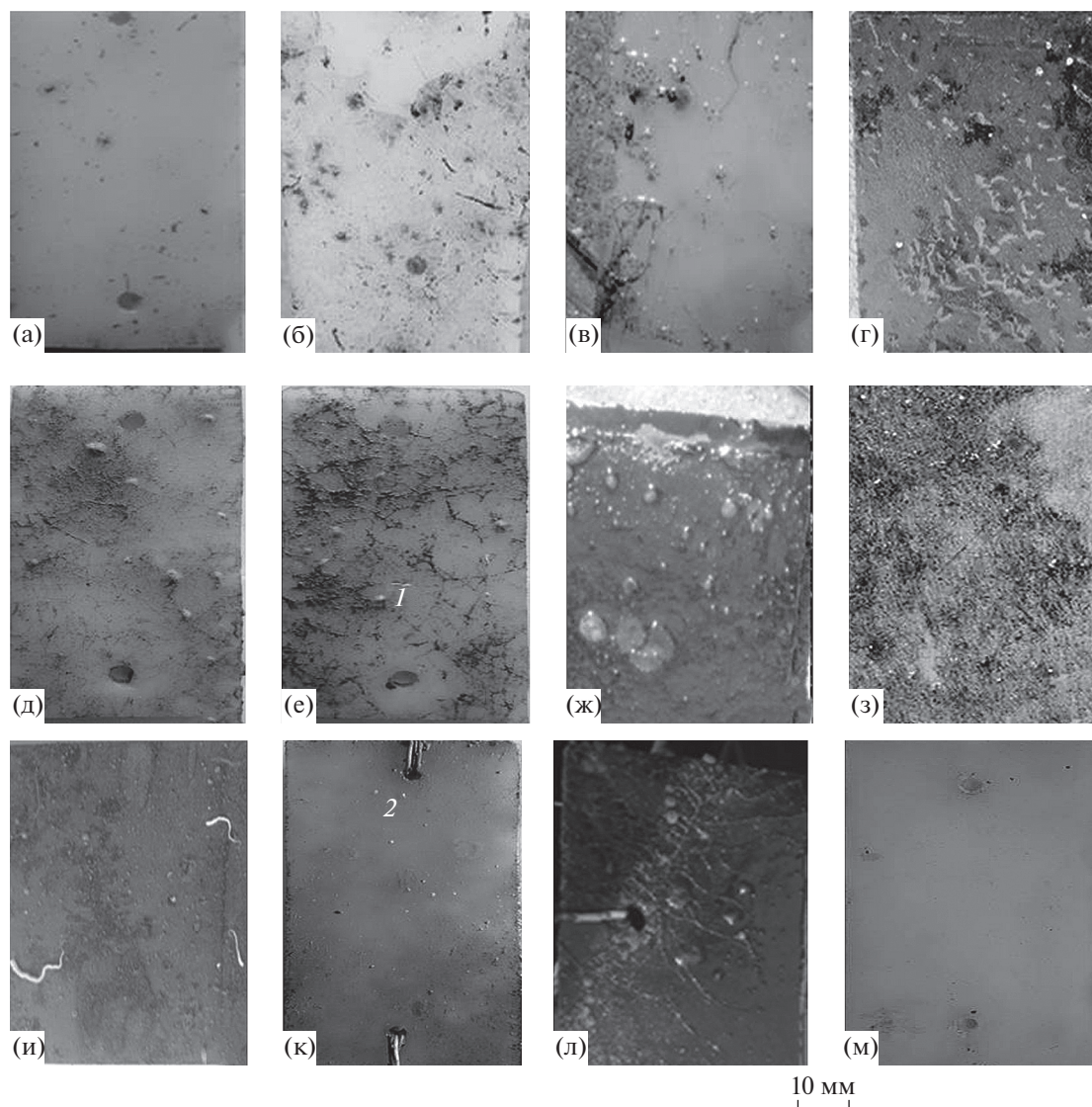


Рис. 5. Месячные ценозы обрастания на антропогенных поверхностях, 2019 г.: а – февраль; б – март; в – апрель; г – май; д – июнь; е–з – июль; и – август; к – сентябрь; л – октябрь; м – ноябрь. (1) – нитчатая мшанка *Bowerbankia gracilis*; (2) – колониальная асцидия *Botryllus schlosseri*.

рака *A. improvisus* начинают оседать на месяц раньше, в феврале, когда температура воды достигает 9–10°C. Оседание личинок двустворчатых моллюсков *M. galloprovincialis* и *M. lineatus* и их развитие преобладают в осенние месяцы (сентябрь–октябрь), что не наблюдалось в исследованиях 80–90-х гг. XX в. В многомесячных сообществах обрастания мшанки *C. pallasiana* одновременно с *A. improvisus* являются эдификаторами ценозов и формируют первый ярус оброста, в котором по численности (до 53.2% всех осевших гидробионтов) доминируют мшанки. В течение года их оседание продолжается 8–9 мес, с февраля по ноябрь. Изменения в динамике и продолжительности оседания гидробионтов, наблюдаемые в последние годы, можно связать с влиянием

климатического фактора – постепенным повышением на севастопольском взморье среднегодовой температуры воды на 1.5–2.0°C в результате глобального потепления. Изучение особенностей формирования сообществ обрастания в прибрежных акваториях бухты Севастопольская позволяет определить сезоны, благоприятные для испытания и селективного отбора наиболее перспективных противообрастающих состав и современных средств защиты от обрастания.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках Госзадания Института природно-технических систем (номер госрегистрации АААА-А18-118020790176-4).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Александров Б.Г. 2008. Гидробиологические основы управления состоянием прибрежных экосистем Черного моря. Киев: Наук. думка.
- Белокопытов В.Н., Никольский Н.В. 2015. Устойчивые антициклонические вихри у южного и северного побережья Крыма // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. Севастополь: Морской гидрофизический институт. Вып. 1. С. 47.
- Брайко В.Д. 1985. Обрастание в Черном море. Киев: Наук. думка.
- Гонтарь В.И. 2016. Мшанки Черного моря // Бюл. науки и практики. Науч. журн. № 10. С. 29. <https://doi.org/10.5281/zenodo.160913>
- Горбенко Ю.А. Экология морских организмов перифитона. Киев: Наук. думка. 1977.
- Гринцов В.А., Полтаруха О.П. 2004. Функциональные группы видов в архитектуре сообщества обрастания // Океанология. Т. 44. № 4. С. 583.
- Долгопольская М.А., Дегтярев П.Ф. 1968. Биологическое обоснование для стендовых испытаний сравнительной эффективности средств защиты от обрастания // Биологические исследования Черного моря и его промысловых ресурсов. Москва: Наука. С. 132.
- Звягинцев А.Ю. 2005. Морское обрастание в северо-западной части Тихого океана. Владивосток: Дальнаука.
- Зевина Г.Б. 1994. Биология морского обрастания. Москва: Изд-во Москов. ун-та.
- Казанкова И.И. 2016. Поведенческие реакции оседающих педивелигеров *Mytilus galloprovincialis* (Lam.) при различных режимах движения воды // Системы контроля окружающей среды. Вып. 3(23). С. 119.
- Ковальчук Ю.Л., Неврова Е.Л., Шалаева Е.А. 2008. Диатомовые обрастания твердых субстратов. Москва: Товарищество науч. изданий КМК.
- Лебедовская М.В., Филиппов Н.А., Сорокин А.Н. и др. 2018. Формирование сообщества обрастания искусственных субстратов в условиях бухты Казачья (Черное море) // Матер. Юбилейной XX Международной науч. конф. "Биологическое разнообразие Кавказа и юга России". Махачкала: Типография ИПЭ РД. С. 630.
- Лисицкая Е.В. 2017. Таксономический состав и сезонная динамика меропланктона в районе мидийно-устричной фермы (Севастополь, Черное море) // Морской биол. журн. Т. 2. № 4. С. 38. <https://doi.org/10.21072/mbj.2017.02.4.04>
- Марикультура на Черном море. 2007. Севастополь: НПЦ ЭКОСИ-Гидрофизика.
- Николаенко Т.В., Смирнова Л.Л. 1996. Об эффективности противообрастающих покрытий с различным механизмом действия на личинки беспозвоночных // Диагноз состояния среды прибрежных и шельфовых зон Черного моря. Севастополь: НПЦ ЭКОСИ-Гидрофизика. С. 180.
- Полтаруха О.П. 2000. Об изучении сукцессии сообщества обрастания на противообрастающих покрытиях // Экология моря. Вып. 52. С. 39.
- Раилкин А.И. 2008. Колонизация твердых тел бентосными организмами. Санкт-Петербург: Изд-во Санкт-Петербург. ун-та.
- Раилкин А.И., Твердов А.И., Отвалко Ж.А. и др. 2015. Оценка противообрастающих свойств материалов по показателям обилия многовидовых сообществ обрастания // Вода: Химия и экология. № 7. С. 52.
- Раилкин А.И., Отвалко Ж.А., Коротков С.И. и др. 2017. Концепция экологически безопасной защиты от морского обрастания и ее разработка с использованием каучук-эпоксидных покрытий // Морской биол. журн. Т. 2. № 3. С. 40. <https://doi.org/10.21072/mbj.2017.02.3.04>
- Рябинин А.И., Шibaева С.А. 2002. Физико-химические методы в гидрохимии. Севастополь: НПЦ ЭКОСИ-Гидрофизика.
- Рябушко В.И., Шууров С.В., Коврыгина Н.П. и др. 2019. Комплексные экологические исследования прибрежной зоны западного Крыма с целью выбора места размещения морской фермы (Черное море) // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. Вып. 2. С. 67. <https://doi.org/10.22449/2413-5577-2019-2-67-77>
- Рябушко Л.И., Бондаренко А.В., Мирошниченко Е.С. и др. 2020. Диатомовые водоросли и цианобактерии перифитона экспериментальных синтетических полимерных материалов в карантинной бухте Черного моря // Биология внутр. вод. № 4. С. 355. <https://doi.org/10.31857/S0320965220030158>
- Серавин Л.Н., Миничев Ю.С., Раилкин А.И. 1985. Изучение обрастания и биоповреждений антропогенных объектов (некоторые итоги и перспективы) // Экология обрастания в Белом море. Ленинград: Зоол. ин-т АН СССР. С. 5.
- Таможняя В.А., Гормосова С.А., Шапиро А.З. и др. 1988. Метаболизм сообщества обрастаний. Сообщение 1. Динамика видового состава, биомассы, микрогетеротрофов и РОВ в среде с сообществом на разных стадиях его формирования // Экология моря. Вып. 30. С. 36.
- Chambers L.D., Stokes K.R., Walsh F.C. et al. 2006. Modern approaches to marine antifouling coatings // Surface & Coatings Technology. V. 201. Iss. 6. P. 3642. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2006.08.129>
- Chelyadina N.S., Popov M.A., Lisitskaya E.A. et al. 2017. The ecological condition of coastal waters off the Heracles Peninsula (Crimea, the Black Sea) // Ecologica Montenegrina. V. 14. Ecologica Montenegrina. V. 14. Spec. Iss. P. 39. <https://doi.org/10.37828/em.2017.14.5>
- Kazankova I.I. 2014. Peculiarities of Seasonal Dynamics of *Mytilus galloprovincialis* Larvae Numbers in the Coastal Zone of the Crimea (based on long-term data) // Hydrobiol. J. V. 50. № 3. P. 13. <https://doi.org/10.1615/HydroBJ.v50.i3.20>

Formation of Fouling Communities on Anthropogenic Surfaces in the Coastal Waters of Black Sea

L. L. Smirnova^{1,*}, A. A. Koshkarov¹, and O. S. Sizova¹

¹*Institute of Natural & Technical Systems, Sevastopol, Russia*

**e-mail: inik48@inbox.ru*

Seasonal development of a fouling community on anthropogenic surfaces in the marine coastal waters at a depth of 1.5–2.0 m is shown. In the autumn-winter period (October–February). *Cryptosula pallasiana* (Moll), and the colonial ascidia *Botrillus schlosseri* (Pallas), and the attached ciliates of the genera *Zoothamnium*, *Vorticella*, *Ephelota*, *Dendrosoma*, and *Folliculina* form a layer of incomplete fouling on the surface. A multi-species fouling communities develop during the summer-autumn season (July–November). *C. pallasiana*, *Conopeum seurati* (Canu) and *Amphibalanus improvises* (Darwin), which settle simultaneously, form the first tier of fouling. The filamentous bryozoans *Bowerbankia gracilis* (Leidy) and the polychaetes of the *Serpulidae* and *Spionidae* families settle in July–August and form a second fouling tier. *Molgula euprocta* (Drasche), the hydroid *Obelia loveni* (Allman), and the mollusks *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck), *Mytilaster lineatus* (Gmelin) larvae which settle in September, continue the fouling succession during the autumn period. The results show both the biodiversity in the southwestern coastal water of the Crimea, and the impact on the fouling succession of the climatic factor – the temperature of sea water, increasing as a result of global warming.

Keywords: southwestern coast of Crimean Peninsula, coastal water, sea water temperature, colonization processes, fouling community