

УДК 620.193.8

*Е.А. Варченко¹, Е.Ю. Ветрова¹***ИССЛЕДОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ И КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ ОБРАЗЦОВ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА ПОСЛЕ НАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ В ГЕЛЕНДЖИКСКОЙ БУХТЕ. Часть 1**

DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-67-91-100

Основная цель работы – исследование влияния биологических и физико-химических факторов морской воды на изменение свойств металлических и неметаллических материалов в прибрежной зоне акватории Геленджикской бухты. В данной части статьи рассматривается биологическая составляющая исследования, дается качественная и количественная оценка биообрастателей материалов после сезонной (летней) экспозиции. Отдельно акцентируется внимание на отсутствии на сегодняшний день достоверных, простых и, главное, надежных экспериментальных методик, позволяющих однозначно выделить биологическую составляющую из общего коррозионного фона.

Ключевые слова: обрастание, натурная экспозиция, биологическая стойкость материалов, морские испытания.

*Е.А. Varchenko¹, E.Yu. Vetrova¹***RESEARCH OF THE BIOLOGICAL AND CORROSION RESISTANCE OF SAMPLES OF ALUMINUM ALLOY AFTER NATURAL TESTS IN THE GELENJIK BAY. Part 1**

The main goal in the formulation of this work was to study the influence of biological and physico-chemical factors of sea water on the change in the properties of metallic and nonmetallic materials in the coastal zone of the Gelendzhik Bay. In this part of the article, the biological component of this work is considered, a qualitative and quantitative assessment of biofouling materials after a seasonal (summer) exposure is given. Separately, attention is focused on the lack of reliable, simple and, most importantly, reliable experimental techniques to unambiguously distinguish the biological component from the general corrosion background.

Keywords: fouling, field exposure, biological stability of materials, marine tests.

¹Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Государственный научный центр Российской Федерации [Federal State Unitary Enterprise «All-Russian Scientific Research Institute of Aviation Materials» State Research Center of the Russian Federation]; e-mail: admin@viam.ru

Введение

Черное море на сегодняшний день достаточно изучено [1], однако до сих пор тема исследования процессов коррозии и биообрастания сооружений и объектов, эксплуатирующихся в данной акватории, не раскрыта. Все большее значение приобретает проблема обрастания фиксированных морских сооружений: платформ, причалов, эстакад, буев и пр.

Черное море имеет особое значение в стратегических планах России, реализация которых невозможна без «работоспособных» металлоконструкций судов, портовых и гидротехнических сооружений, оборудования, эксплуатирующихся в морской воде. Все эти объекты подвергаются биологическому обрастанию, что, в свою очередь, становится

причиной усиления коррозионных процессов металла в водной агрессивной среде [2, 3]. Решение проблем защиты от морского обрастания и коррозии требует комплексного, системного подхода, исследований, проводимых как в лабораторных, так и, что особенно важно, в натуральных условиях [4–8].

В большинстве источников научно-технической литературы внимание акцентируется либо на анализе видового состава, количественных характеристик, пространственного распределения обрастателей, либо, наоборот, на оценке изменения характеристик материала после экспозиции в морской воде без учета влияния биологической составляющей. При проведении коррозионных исследований в такой многофакторной системе, как море, невозможно и неправильно рассматривать по отдельности традиционные факторы, имеющие физико-химическую природу, и не учитывать при этом существенный вклад, который вносит в коррозионные процессы биофактор. Но в настоящее время простых и надежных экспериментальных методик, позволяющих однозначно выделить биологическую составляющую из общего коррозионного фона, просто не существует [9]. Как следствие – результаты различных экспериментов не поддаются однозначному истолкованию и не могут быть сопоставлены.

Основной целью работы является исследование влияния биологических и физико-химических факторов морской воды на изменение свойств металлических и неметаллических материалов в прибрежной зоне акватории Геленджикской бухты (Черное море).

В данной части статьи рассматривается биологическая составляющая исследования, дается качественная и количественная оценка биообрастателей материалов после сезонной (летней) экспозиции в шести мониторинговых точках прибрежной зоны г. Геленджика. Во второй части статьи будет рассмотрено влияние биотических и абиотических факторов среды на обрастание и коррозию, проведен сравнительный анализ влияния биологических и физико-химических факторов на показатели скорости коррозии металлических образцов и их прочностные характеристики.

Под обрастанием обычно понимают совокупность микро- и макроорганизмов (в основном прикрепленных), поселившихся на поверхности твердых субстратов, находящихся достаточно длительное время в морских и пресных водах [10]. Некоторые ученые [11–14] рассматривают обрастание как поселение организмов только на субстратах антропогенного происхождения (гидротехнические сооружения, суда и т. д.). Соответствующее же поселение на естественных субстратах (скалы, камни и т. д.) – это бентос, и, по их мнению, принципиально отличается от обрастания. С экологической точки зрения такое деление совершенно необоснованно. Наблюдаемые различия обусловлены не происхождением субстратов, а условиями внешней среды, включая физико-химические характеристики этих субстратов.

В состав биоценозов на твердых субстратах входят как прикрепленные (обрастатели), так и подвижные формы, которые живут среди них и находят там убежище, пищу, место для нереста и т. д. Наиболее часто встречаемыми обрастателями являются двустворчатые моллюски, усоногие ракообразные, мшанки, гидроиды, полихеты, асцидии, кораллы, губки, водоросли, микроорганизмы. Подвижные виды обрастания представлены преимущественно моллюсками, полихетами, ракообразными, рыбами [15–17]. Биоценозы обрастания естественных и антропогенных субстратов служат источником расселительных стадий обрастателей для объектов, находящихся на расстоянии десятков, а нередко и сотен километров от этих субстратов.

Обычно морское обрастание делят на прибрежное и океаническое, которое в свою очередь можно разделить на пелагическое и глубоководное [10]. Однако изучение

именно прибрежного обрастания имеет наибольший практический смысл, так как большинство гидротехнических объектов размещено именно в данной зоне, и к тому же оно характеризуется наибольшим видовым разнообразием и возможностью образовывать огромную биомассу, количество которой в благоприятных условиях может превышать 300 кг на 1 м² субстрата [18].

На интенсивность процесса обрастания, помимо глубины погружения, влияют и другие факторы: географический район, время года, степень насыщенности кислородом среды обрастания, наличие в воде питательных веществ, соленость и pH воды, ее температура, загрязненность морского района, освещенность участков воды и т. д. Так, например, в Балтийском море за март–декабрь величина обрастания достигает всего 0,3 кг/м², в Каспийском море 30 кг/м², а в Атлантическом океане 100 кг/м² и более [19].

Хорошо известно [2], что обрастание ухудшает эксплуатационные характеристики судов (уменьшается скорость, возрастает мощность энергетической установки для сохранения первоначальной скорости), судовые и океанические приборы и аппаратура, подвергшиеся обрастанию, преждевременно выходят из строя или дают неверные показания. Однако очевидно, что явление обрастания проявляет себя не только как внешний поверхностный фактор, существенно уменьшающий скорость движения судна и повышающий расход топлива, но и прежде всего как внутренний глубинный фактор, способствующий многократному усилению коррозионных процессов на поверхности обшивки судна и гидротехнических сооружений, в свою очередь приводящих к активному снижению усталостной прочности конструкции [2].

В большинстве случаев на определенном этапе обрастание способствует интенсивности коррозионных процессов, так как неравномерное распределение обрастателей на металлической поверхности приводит к неоднородности поверхности металла, различной концентрации кислорода и, следовательно, возникновению электрохимической коррозии. Однако, например, обрастание объекта организмами с твердой оболочкой уменьшает коррозию [10], и только лишь после отмирания они стимулируют местное разрушение в виде оспин. Со временем площадь пораженных участков увеличивается и коррозионный процесс протекает быстрее. Коррозионные разрушения приобретают язвенный (питтинговый) характер [20].

Наиболее сильное обрастание происходит во время стоянки судов в портах либо на стационарных неподвижных гидротехнических сооружениях. На ходу обрастание незначительное, так как личинки многих организмов не могут прикрепляться к подводной поверхности, если скорость воды, омывающей эту поверхность, превышает один узел [20].

Материалы и методы

Для испытаний использовали образцы алюминиевого сплава АМг6 размером 180×180×2 мм и образцы бетонной плитки (тип цемента – портландцемент) в качестве контроля сравнения – образцы, максимально приближенные к природному субстрату. Металлические образцы фиксировали в кассетах в вертикальном положении, образцы бетонной плитки также экспонировались в вертикальном положении на глубине 1,0–1,5 м от поверхности воды.

Экспонирование проводили в течение трех летних месяцев. Испытательные стенды с образцами были размещены в четырех мониторинговых точках Геленджикской бухты и в двух точках прибрежной части открытого моря (рис. 1, точки 1–6).



Рис. 1. Мониторинговые точки 1–6

Во время проведения испытаний в определенных точках контролировались гидрологические (соленость, температура) и гидрохимические (рН, ионный состав) параметры морской воды. Результаты данных замеров приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Значения солености, температуры и рН морской воды в точках экспонирования (средние за период экспозиции образцов)

Условный номер точки экспонирования	Соленость, ‰	Температура, °С	рН
1	18,0	24,7	8,1
2	18,5	24,7	8,2
3	18,1	24,9	8,2
4	18,2	25,0	8,1
5	18,3	25,0	8,2
6	18,5	25,3	8,1

Таблица 2

Ионный состав морской воды в точках экспонирования (средние значения и диапазоны полученных значений за период экспозиции образцов)

Условный номер точки экспонирования	Концентрация, мг/л				
	катионов			анионов	
	K ⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
1	82–169	2181–4899	241–647	5203–10650	764–1419
	131	3990	469	8787	1201
2	65–170	2608–5058	282–622	5918–10890	856–1487
	130	4052	500	9396	1277
3	59–174	2113–4639	224–620	4866–10650	743–1491
	137	3866	478	9112	1238
4	115–163	3076–4618	365–615	8057–9971	1166–1479
	146	4024	500	9280	1319
5	113–160	3110–4730	417–613	6614–10090	947–1495
	141	4008	491	9147	1281
6	109–152	3711–4139	399–850	7842–12660	1104–1616
	133	4000	499	9363	1305

Согласно данным научно-технической литературы [1], средняя соленость по всему объему Черного моря равна 21,96‰, в слое 0–300 м 20,26‰, в слое 400–2000 м

увеличивается до 22,26%. Результаты измерений, проводимых в ходе исследования, показали, что параметры солености в шести мониторинговых точках в акватории проведения испытаний оказались относительно стабильными и составили ~18,3‰.

Отдельно следует отметить немаловажную роль в осаждении, возможности закрепления на поверхности подводных объектов и развитии обрастателей такого параметра, как скорость течений. Во время проведения испытаний данный параметр отдельно не измерялся, однако, согласно Лоции Черного моря, а также данным научно-технической литературы [20–22], выделяют три характерные области с различным режимом течений:

- прибрежную область: очень изменчивый характер течений, скорость до 20–30 см/с;
- зону основного Черноморского течения: имеет струйный характер, ширина до 40–80 км, скорость 40–50 см/с, достигает значений 1–1,5 м/с;
- область открытого моря: скорости течений монотонно уменьшаются от периферии к центру, не превышая 5–15 см/с.

На основе данных измерений на автономных буйковых станциях (АБС) у побережья, по оценкам сезонного хода скорости течения, сезонный минимум относят к началу лета (май–июнь), а максимум – к декабрю–январю [23]. Ввиду того, что экспонирование образцов проводилось в прибрежной зоне, можно сделать вывод, что во время испытаний скорость прибрежного течения была незначительной, что способствовало осаждению и закреплению биообрастателей на поверхности образцов.

Количественную оценку результатов испытаний материалов проводили по развитию процессов обрастания. Степень обрастания оценивали по измерению площади оброста, определяемой при помощи трафарета, наложенного на образец, и подсчетом обросших квадратов. Массу оброста оценивали гравиметрическим методом.

Результаты и обсуждения

Результаты исследований образцов после трех месяцев экспонирования в шести мониторинговых точках показали, что наибольшая масса биообрастателей на единицу площади отмечается на образцах обоих материалов, экспонировавшихся в районе мониторинговой точки 4, и составляет 529,01 и 1607,00 г/м² соответственно, степень биообрастания обоих образцов – 100% (рис. 2).

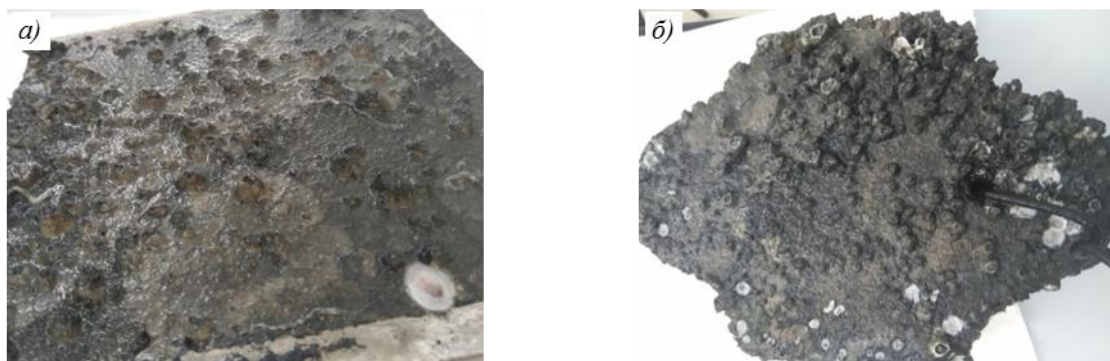


Рис. 2. Образцы металлической пластины (а) и бетонной плиты (б) после трех месяцев экспонирования в районе мониторинговой точки 4

В мониторинговых точках 2 и 3 масса биообрастателей металлических пластин превышает массу обрастателей, снятых с бетонных плит, в 3,1 и 1,5 раза соответственно (рис. 3). Степень обрастания обоих видов образцов после экспозиции в точке 2 одинаковая и составляет 85%, после экспозиции в точке 3 степень обрастания металлического образца составляет 100%, бетонного – 80%.

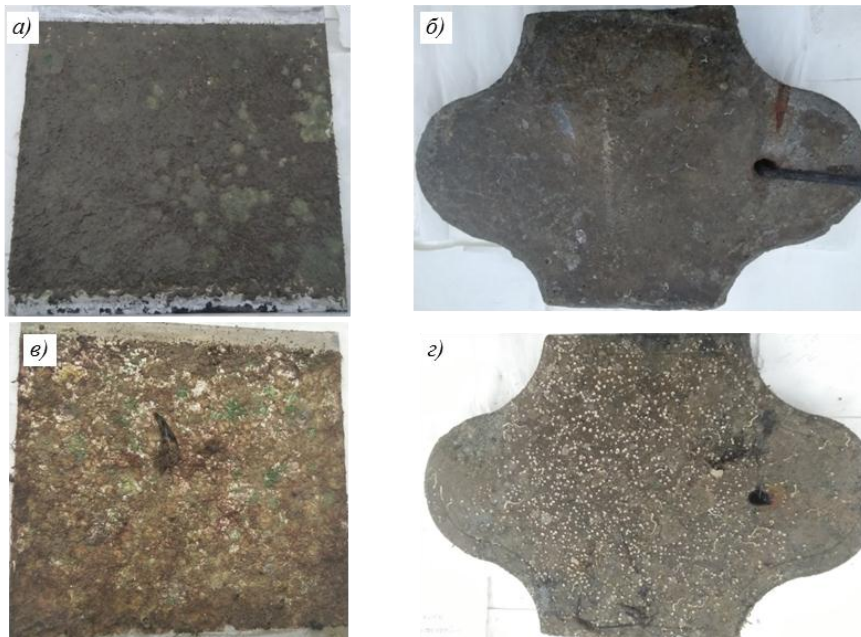


Рис. 3. Образцы металлической пластины (а, в) и бетонной плиты (б, г) после трех месяцев экспонирования в районе мониторинговых точек 3 (а, б) и 2 (в, г)

В точке экспонирования 5 и масса, и степень обрастания металлических и бетонных образцов оказались одинаковыми и составили $116,44 \text{ г/м}^2$ (металлическая пластина) и $115,37 \text{ г/м}^2$ (бетонная плита) со 100% обрастанием поверхности (рис. 4).

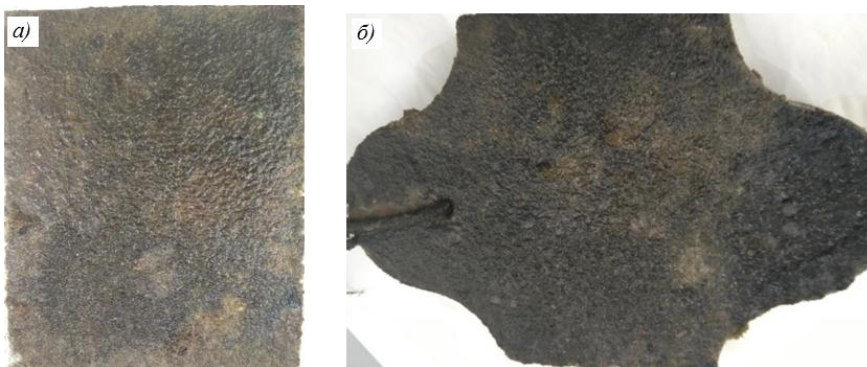


Рис. 4. Образцы металлической пластины (а) и бетонной плиты (б) после трех месяцев экспонирования в районе мониторинговой точки 5

При оценке образцов после экспозиции в открытом море (точки б и 1) установлено, что масса биообрастателей бетонных плит превышает массу обрастателей, снятых с металлических пластин, в 1,3 и 1,5 раза соответственно, в то время как площадь обрастания бетонных плит меньше и составляет 85%, металлической пластины – 100%. Однако объективная оценка степени и массы обрастателей металлической пластины, экспонировавшейся в акватории мониторинговой точки б, затруднена, так как с одной стороны образца около 40% поверхности стесано (предположительно, при ударе о пирс во время шторма) (рис. 5).

В результате микроскопического анализа выявлено, что наибольшее видовое разнообразие обрастателей представлено на образцах обоих типов, экспонировавшихся в районе точки 5. Обнаружены зообентосные организмы типа *Bryozoa*, а также представители рода усонюгих раков *Balanus improvises*; на мшанках молодь двустворчатых моллюсков из семейства *Mytilidae* – мидии *Mytilus galloprovincialis*; рачки отряда

Amphipoda; известковые домики представителей семейства *Serpulidae*, а также представители семейства *Nereidae*. Среди фитобентосных организмов, выделенных с образцов в данной точке, наиболее широко представлены водоросли *Cystoseira sp.*, *Gelidium sp.*, *Ulva intestinalis*, *Zostera sp.*, *Cladophora sp.* (рис. 6).

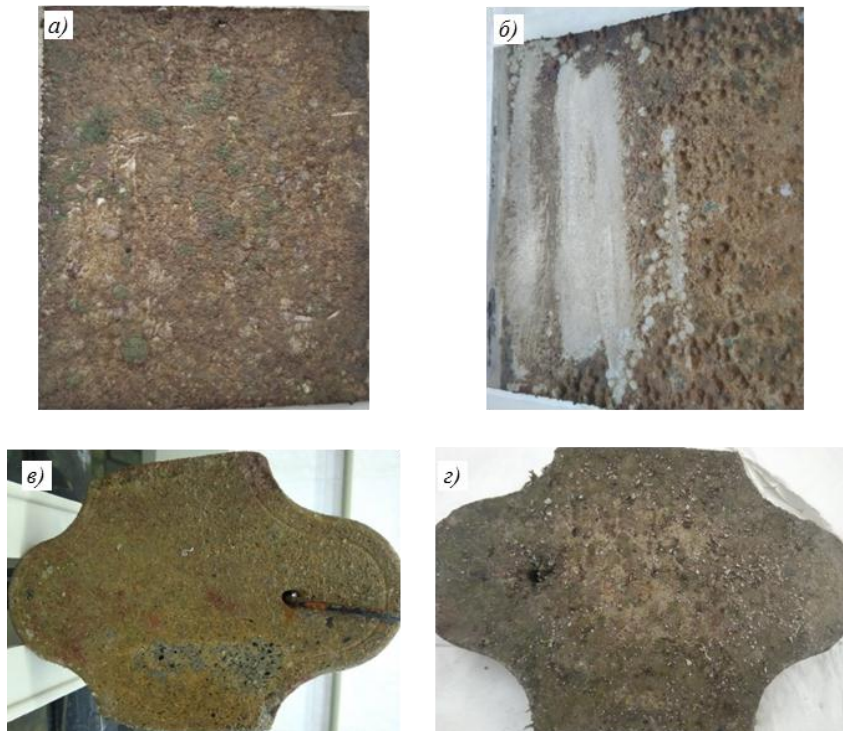


Рис. 5. Образцы после трех месяцев экспонирования: металлической пластины в мониторинговой точке 6 (а, б) и бетонных плит в районе мониторинговых точек 6 (в) и 1 (з)

На образцах после экспонирования в районе мониторинговой точки 4 идентификация фитобентосных организмов крайне затруднена ввиду покрытия образцов плотным черным налетом, обладающим резким запахом (предположительно, осаждение горючесмазочных материалов – данный район является местом пристани теплоходов и катеров).

Отдельно следует отметить так называемые косвенные индикаторы загрязнения воды, например *Balanus improvises*, которые играют важную роль биофильтра и выполняют функцию очистки воды от взвесей [25], и представителей типа *Bryozoa*, которые развиваются преимущественно в чистой теплой воде, обогащенной растворенным кислородом [26]. Так, наибольшее развитие *Balanus improvises* на образцах (и на металлических пластинах, и на бетонных плитах), по сравнению с образцами с других мест экспозиции, зафиксировано в точке 4, что вполне закономерно свидетельствует о загрязнении воды ввиду близости морского порта и места швартовки кораблей. Отмечено доминирование мшанок (тип *Bryozoa*) на металлических образцах после экспозиции в точке 2, а также значительное развитие данных организмов на образцах, экспонировавшихся в открытом море (мониторинговые точки 1 и 6).

Примерно одинаковое видовое разнообразие представлено на образцах, экспонировавшихся в точках 1, 3, 5 и 6: доминирующий зообентос представлен типом *Bryozoa*, также встречаются молодь мидий *Mytilus galloprovincialis*, рачки отряда *Amphipoda*, известковые домики представителей семейства *Serpulidae*. Среди фитобентосных организмов наиболее широко представлены *Cystoseira sp.*, *Gelidium sp.* и *Cladophora sp.* (рис. 7).

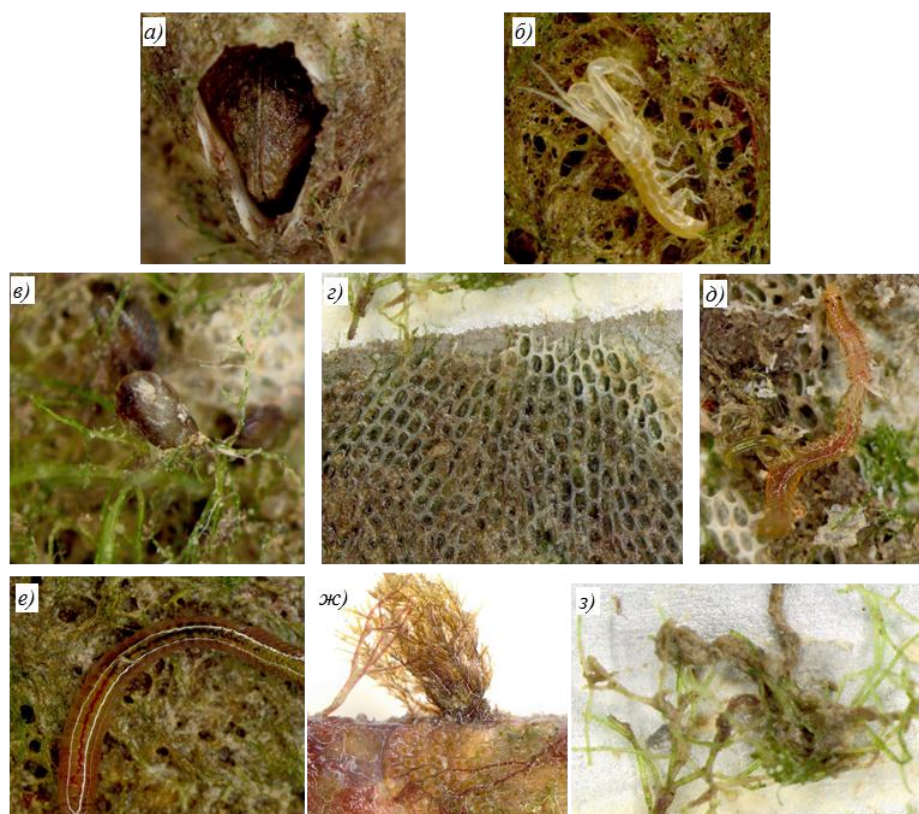


Рис. 6. Зообентосные организмы, выделенные с образцов, экспонирующихся три месяца в районе точки 5:

a – *Balanus improvises*; *б* – рачки отряда *Amphipoda*; *в* – *Mytilus galloprovincialis*; *г* – мшанки (тип *Bryozoa*); *д*, *е* – представители семейства *Nereidae*; *ж* – *Gelidium sp.*; *з* – *Cladophora sp.*

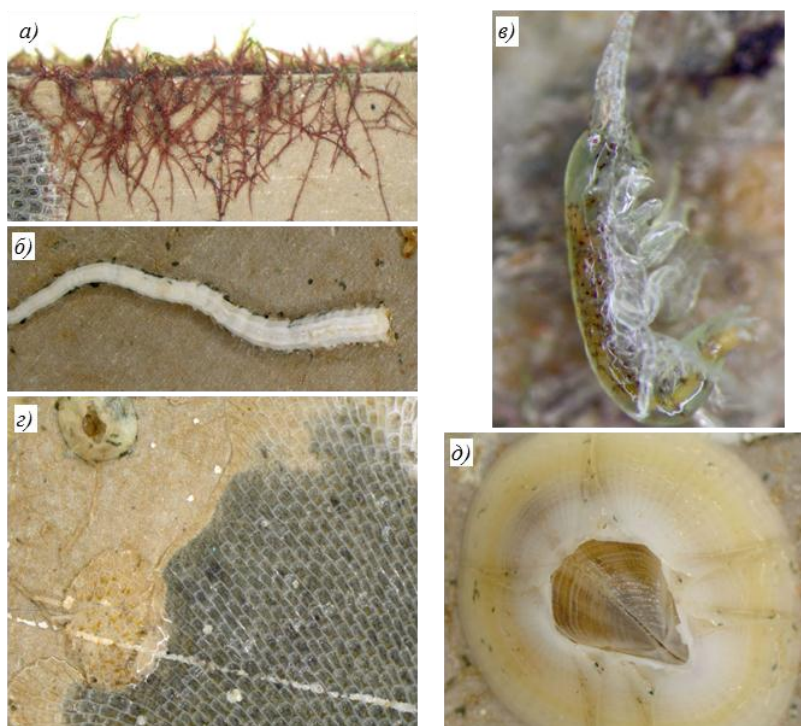


Рис. 7. Наиболее широко представленные обрастатели образцов металлических пластин и бетонных плит в точках экспонирования 1, 3, 5 и 6:

a – *Gelidium sp.*; *б* – известковые домики представителей семейства *Serpulidae*; *в* – рачки отряда *Amphipoda*; *г* – мшанки (тип *Bryozoa*); *д* – *Balanus improvises*

Заключения

В результате проведенной количественной и качественной оценки биообрастателей образцов двух типов материала (алюминиевого сплава и бетонной плиты) в течение трех летних месяцев в шести мониторинговых точках Геленджикской бухты (две точки – открытое море) установлено:

– наибольшая масса биообрастателей на единицу площади отмечается на образцах обоих материалов, экспонировавшихся в районе мониторинговой точки 4 и составляет 529,01 и 1607,00 г/м² соответственно, степень биообращения обоих образцов – 100%; наименьшая масса обрастания отмечена в точке 2 и составляет для металлического и бетонного образцов 89,2 и 59,2 г/м² соответственно, степень биообращения при этом – 85%;

– среди организмов, выделенных с образцов, наиболее широко представлены следующие: зообентосные организмы типа *Bryozoa*, представители рода усонюгих раков *Balanus improvises*, на мшанках молодь двустворчатых моллюсков из семейства *Mytilidae* – мидии *Mytilus galloprovincialis*; рачки отряда *Amphipoda*; известковые домики представителей семейства *Serpulidae*, а также представители семейства *Nereidae*; среди фитобентосных организмов – *Cystoseira sp.*, *Gelidium sp.*, *Ulva intestinalis*, *Zostera sp.*, *Cladophora sp.*

По результатам развития так называемых косвенных индикаторов загрязнения *Balanus improvises* (индикаторы грязной воды) и организмов типа *Bryozoa* (индикаторы чистой воды) можно сделать вывод о наиболее загрязненной точке бухты в период исследования (точка 4) и выделить точки с наибольшей чистотой воды (точки 1, 2 и 6).

Анализ гидрологических и гидрохимических (соленость, температура, pH, ионный состав) параметров морской воды в точках проведения испытаний показал, что существенных различий в значениях, способных оказать влияние на развитие биоорганизмов, не выявлено.

Библиографический список

1. Иванов В.А., Белокопытов В.Н. Океанография Черного моря / НАН Украины, Морской гидрофизический институт. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2011. 212 с.
2. Михеев А.И. Влияние обрастания и низких температур на безопасную эксплуатацию судов // Водный транспорт. 2013. Вып. 3. С. 56–61.
3. Шкабара Н.А. Эколого-технологическое изучение покрытия барьерного типа для защиты от коррозии и морского обрастания нефтегазопроводов, плавучих средств и портовых сооружений (на примере Геленджикской бухты): автореф. дис. ... канд. техн. наук. Краснодар, 2015. 113 с.
4. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» // Авиационные материалы и технологии. 2015. №1 (34). С. 3–33. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.
5. Каблов Е.Н. Ключевая проблема – материалы // Тенденции и ориентиры инновационного развития России. М.: ВИАМ, 2015. С. 458–464.
6. Каблов Е.Н., Старцев О.В. Фундаментальные и прикладные исследования коррозии и старения материалов в климатических условиях (обзор) // Авиационные материалы и технологии. 2015. №4 (37). С. 38–52. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-4-38-52.
7. Каблов Е.Н., Старцев В.О. Системный анализ влияния климата на механические свойства полимерных композиционных материалов по данным отечественных и зарубежных источников (обзор) // Авиационные материалы и технологии. 2018. №2 (51). С. 47–58. DOI: 10.18577/2071-9140-2018-0-2-47-58.
8. Лаптев А.Б., Барботько С.Л., Николаев Е.В. Основные направления исследований сохранности свойств материалов под воздействием климатических и эксплуатационных факторов // Авиационные материалы и технологии. 2017. №S. С. 547–561. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-547-561.

9. Леонов В.В., Денисова О.А. Электрохимический метод исследования процессов микробной коррозии // *Электротехнические и информационные комплексы и системы*. 2016. Т. 12. №4. С. 111–118.
10. Карпов В., Ковальчук Ю., Ильин И., Полтаруха О. Комплексный подход к защите от морского обрастания и коррозии. М.: Т-во науч. изданий КМК, 2007. 152 с.
11. Резниченко О.Г., Солдатова И.Н., Цихон-Луканина Е.А. Обрастание в Мировом океане // *Зоология беспозвоночных. Итоги науки и техники*. М.: ВИНТИ, 1976. Т. 4. 120 с.
12. Ошурков В.В. Динамика и структуры некоторых сообществ обрастания и бентоса Белого моря // *Экология обрастания в Белом море*. Л.: Зоол. ин-т АН СССР, 1985. С. 44–59.
13. Люблинский Е.Я., Якубенко А.Р. Стратегия и тактика защиты от морского обрастания // *Доклады Всесоюз. науч.-техн. конф. «Защита судов и технических средств от обрастания»*. Л.: Судостроение, 1990. С. 5–16.
14. Звягинцев А.Ю. Морское обрастание в северо-западной части Тихого океана. Владивосток: Дальнаука, 2005. 432 с.
15. Морское обрастание и борьба с ним / пер. с англ. Е.В. Александровой и др.; под ред. В.Н. Никитина, Н.И. Тарасова. М.: Воениздат, 1957. 502 с.
16. Зевина Г.Б. Биология морского обрастания. М.: МГУ, 1994. 134 с.
17. Ильин И.Н. Экология океанического обрастания в пелагиали. М.: Т-во научных изданий КМК, 2007. С. 42–68.
18. Бочаров Б.В., Зевина Г.Б., Ильин И.Н. и др. Обрастание в южной части Вьетнама // *Биоповреждения, обрастание и защита от него*. М.: Наука, 1996. С. 37–39.
19. Григорьева Н.Д., Даниловская Л.П., Таланова Э.И. Коррозия металлов и судовых конструкций: метод. указания. СПб.: ИЦ СПбГМТУ, 2005. С. 32.
20. Петрова Н.Е., Баева Л.С. Биокоррозия корпусов судов // *Вестник МГТУ*. 2006. Т. 9. №5. С. 890–892.
21. Филиппов Д.М. Циркуляция и структура вод Черного моря. М.: Наука, 1968. 136 с.
22. Блатов А.С., Булгаков Н.П., Иванов В.А. и др. Изменчивость гидрофизических полей Черного моря. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 239 с.
23. Блатов А.С., Косарев А.Н., Тужилкин В.С. Изменчивость гидрологической структуры вод Черного моря и ее связь с внешними факторами // *Водные ресурсы*. 1980. №6. С. 71–82.
24. Овчинников И.М., Титов В.Б., Кривошея В.Г. Новые данные о временной изменчивости течений по результатам многолетних измерений со стабилизированного буя на шельфе Черного моря // *Доклады АН СССР*. 1986. Т. 286. №5. С. 1250–1254.
25. Петров К.М. Фитобентос как индикатор состояния акватории Апшеронского архипелага (Каспийское море) // *Advances in Biology & Earth Sciences*. 2018. Vol. 3. No. 2. P. 140–151.
26. Гонтарь В.И. Жизненные стратегии мшанок в сообществах перифитона // *Материалы Всерос. конф. с междунар. участием «Физиологические, биохимические и молекулярно-генетические механизмы адаптаций гидробионтов»*. Борок, 2012. С. 105–110.