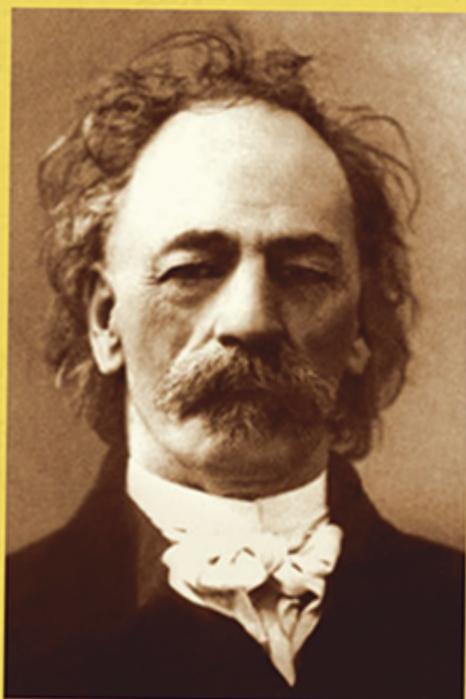


ISSN 2712-9586



**ТРУДЫ  
КАРАДАГСКОЙ  
НАУЧНОЙ СТАНЦИИ  
им. Т.И. ВЯЗЕМСКОГО –  
ПРИРОДНОГО  
ЗАПОВЕДНИКА РАН**

**Выпуск 1(21)**

**2022**

# ТРУДЫ КАРАДАГСКОЙ НАУЧНОЙ СТАНЦИИ им. Т.И. ВЯЗЕМСКОГО – ПРИРОДНОГО ЗАПОВЕДНИКА РАН

*включён в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК Российской Федерации.*

*Журнал реферируется Всероссийским институтом научно-технической информации (ВИНИТИ),  
а также Российским индексом научного цитирования (РИНЦ) на базе Научной электронной библиотеки elibrary.ru.*

*Все материалы проходят двойное независимое слепое рецензирование.*

**Главный редактор:** Р. В. Горбунов, канд. геогр. наук, ФИЦ ИнБЮМ  
**Заместитель главного редактора:** В. И. Мальцев, канд. биол. наук, ФИЦ ИнБЮМ  
**Технический редактор:** О. А. Миронюк, ФИЦ ИнБЮМ

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

П. Н. Баранов, д-р геол.-минерал. наук, д-р геол. наук, ФГБОУ ВО «КГМТУ»  
М. М. Бескаравайный, канд. биол. наук, ФИЦ ИнБЮМ  
В. А. Боков, д-р геогр. наук, ФГАОУ ВО «КФУ им В.И. Вернадского»  
Ю. И. Будашкин, канд. биол. наук, ФИЦ ИнБЮМ  
Б. А. Вахрушев, д-р геогр. наук, ФГАОУ ВО «КФУ им В.И. Вернадского»  
Ю. В. Глибин, Карадагская научно-исследовательская геофизическая обсерватория ФГБУ «Крымское УГМС»  
Н. А. Давидович, д-р биол. наук, ФИЦ ИнБЮМ  
А. В. Ена, д-р биол. наук, ФГАОУ ВО «КФУ им В.И. Вернадского»  
Е. И. Ергина, д-р геогр. наук, ФГАОУ ВО «КФУ им В.И. Вернадского»  
С. П. Иванов, д-р биол. наук, ФГАОУ ВО «КФУ им В.И. Вернадского»  
В. В. Майко, д-р ист. наук, Институт археологии Крыма РАН  
В. А. Миноранский, д-р с.-х. наук, ЮФУ  
Е. Л. Неврова, д-р биол. наук, ФИЦ ИнБЮМ  
Э. Б. Петрова, д-р ист. наук, ФГАОУ ВО «КФУ им В.И. Вернадского»  
Ю. В. Плугатарь, чл.-корр. РАН, д-р с.-х. наук, НБС-ННЦ  
Е. А. Позаченюк, д-р геогр. наук, ФГАОУ ВО «КФУ им В.И. Вернадского»  
М. А. Поляков, канд. биол. наук, ФИЦ ИнБЮМ  
В. В. Рожнов, академик РАН, д-р биол. наук, ИПЭЭ РАН  
А. А. Родионов, канд. ист. наук, МБУК Феодосийский музей древностей  
И. И. Руднева, д-р биол. наук, ФИЦ ИнБЮМ  
Ю. А. Силкин, канд. биол. наук, ФИЦ ИнБЮМ  
Т. Н. Смекалова, д-р ист. наук, ФГАОУ ВО «КФУ им В.И. Вернадского»  
А. А. Солдатов, д-р биол. наук, ФИЦ ИнБЮМ  
А. В. Фатерыга, канд. биол. наук, ФИЦ ИнБЮМ  
В. В. Фатерыга, канд. биол. наук, ФИЦ ИнБЮМ  
И. В. Флоринский, д-р техн. наук, ФИЦ ИнБЮМ  
А. Л. Чепалыга, д-р геогр. наук, Институт географии РАН

## Адрес учредителя, издателя и редакции

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Федеральный исследовательский центр  
«Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН»  
299011, г. Севастополь, пр-кт Нахимова, д. 2.  
Телефон +7 (8692) 54-41-10  
E-mail: karadag.trudy@yandex.ru  
Сайт журнала: <https://eco-ibss.ru>

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Федеральный исследовательский центр  
«ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ ЮЖНЫХ МОРЕЙ имени А.О. КОВАЛЕВСКОГО РАН»  
КАРАДАГСКАЯ НАУЧНАЯ СТАНЦИЯ им. Т.И.ВЯЗЕМСКОГО – ПРИРОДНЫЙ ЗАПОВЕДНИК РАН

# ТРУДЫ КАРАДАГСКОЙ НАУЧНОЙ СТАНЦИИ им. Т.И. ВЯЗЕМСКОГО – ПРИРОДНОГО ЗАПОВЕДНИКА РАН

Выпуск 1(21)  
2022

---

Основан в мае 2016 г.

Научный журнал

Выходит 4 раза в год

---

## СОДЕРЖАНИЕ

---

### Изучение биоразнообразия и экологический мониторинг

---

*Ломакин П. Д., Чельженко А. И., Чельженко А. А.* Структура полей океанологических величин у северного берега Севастопольского взморья (Чёрное море) в феврале 2020 года ..... 3–10

*Макаров М. В., Бондаренко Л. В., Копий В. Г.* Донная фауна бухты Круглой (Чёрное море, Крым). Сообщение 1. Эпифитон макрофитов ..... 11–26

*Сизачева Т. Б.* Половые особенности прооксидантно-антиоксидантной системы крови бычка-кругляка *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814) из Чёрного и Азовского морей ..... 27–32

*Скуратовская Е. Н.* Возрастные особенности показателей прооксидантно-антиоксидантной системы крови морского ерша *Scorpaena porcus* L., 1758 из прибрежной акватории г. Севастополя (Чёрное море) ..... 33–39

---

### Экспериментальная гидробиология

---

*Клочкова В. С., Лелеков А. С.* Исследование влияния температуры на удельную скорость роста культуры *Arthrospira platensis* ..... 40–50

---

### Географические, геологические и палеонтологические исследования

---

*Панкеева Т. В., Миронова Н. В.* Ландшафтная структура береговой зоны памятника природы «Прибрежный аквальный комплекс у мыса Сарыч» ..... 51–60

Federal State Budget Scientific Institution  
Federal Research Center  
«A.O. KOVALEVSKY INSTITUTE OF BIOLOGY OF THE SOUTHERN SEAS OF RAS»  
T.I. VYAZEMSKY KARADAG SCIENTIFIC STATION – NATURE RESERVE OF THE RAS

# PROCEEDINGS OF T.I. VYAZEMSKY KARADAG SCIENTIFIC STATION – NATURE RESERVE OF THE RAS

Issue 1(21)

2022

---

Established in May 2016

Periodical

Issued 4 times a year

---

## CONTENT

---

### Study of biodiversity and environmental monitoring

---

*Lomakin P. D., Chepyzhenko A. I., Chepyzhenko A. A. Oceanological values fields structure around the northern coast of Sevastopol seaside (the Black sea) in february 2020* ..... 3–10

*Makarov M. V., Bondarenko L. V., Kopy V. G. Fauna of the Kruglaya bay (the Black sea, Crimea). Part 1. Epiphyton of macrophytes* ..... 11–26

*Sigacheva T. B. Sex features of prooxidant-antioxidant blood system of round goby *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814) from the Black sea and the sea of Azov* ..... 27–32

*Skuratovskaya E. N. Age-related features of the prooxidant-antioxidant system parameters in blood of black scorpionfish *Scorpaena porcus* L., 1758 from Sevastopol coastal area (the Black sea)* ..... 33–39

---

### Experimental hydrobiology

---

*Klochkova V. S., Lelekov A. S. Study of the temperature effect on the specific growth rate of *Arthrospira platensis* culture* ..... 40–50

---

### Geographic, geological and paleontological studies

---

*Pankeeva T. V, Mironova N. V. Landscape researches coastal zone natural monument «Costal marine protected areas at cape Sarych»* ..... 51–60

---

ИЗУЧЕНИЕ БИОРАЗНООБРАЗИЯ  
И ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

---

УДК 551.463/.465:502.175

DOI: [10.21072/eco.2022.21.01](https://doi.org/10.21072/eco.2022.21.01)

**СТРУКТУРА ПОЛЕЙ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН У СЕВЕРНОГО БЕРЕГА  
СЕВАСТОПОЛЬСКОГО ВЗМОРЬЯ (ЧЁРНОЕ МОРЕ)  
В ФЕВРАЛЕ 2020 ГОДА\***

**Ломакин П. Д., Чепыженко А. И., Чепыженко А. А.**

*Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь, Российская Федерация,  
e-mail: [p\\_lomakin@mail.ru](mailto:p_lomakin@mail.ru), [ecodevice@yandex.ru](mailto:ecodevice@yandex.ru), [annachep87@yandex.ru](mailto:annachep87@yandex.ru)*

**Аннотация:** На основе данных экспедиции, проведённой Морским гидрофизическим институтом (МГИ) в феврале 2020 г., проанализированы особенности динамики вод, их термохалинной структуры, структуры полей содержания общего взвешенного вещества и окрашенного растворённого органического вещества в районе северного берега Севастопольского взморья. Показано, что в условиях слабовыраженной динамики в исследуемой акватории взаимодействовали воды открытого моря с распреснённым речным стоком и выхоложенными прибрежными водами. В районе устья р. Качи обнаружен локальный максимум концентрации общего взвешенного вещества антропогенного происхождения. На исследуемой акватории в поле концентрации окрашенного растворённого органического вещества присутствовала антропогенная составляющая, а на трёх участках (в районе посёлка Любимовка и устья р. Бельбек, устья р. Качи, у посёлка Андреевка) обнаружены локальные максимумы концентрации этой величины. Выявлены источники загрязнения рассмотренной акватории.

**Ключевые слова:** температура, солёность, общее взвешенное вещество, окрашенное растворённое органическое вещество, Севастополь, Чёрное море.

### Введение

Исследуемая акватория — прибрежная зона Чёрного моря протяжённостью около 11 миль вдоль меридионально ориентированного северного берега Севастопольского взморья, от мыса Толстого до мыса Лукулл (рис. 1).

Северная часть Севастопольского взморья — прибрежный регион, не изученный с точки зрения океанических процессов. В литературе отсутствуют сведения о состоянии вод в бухтах и на открытых участках взморья в течение последних двадцати лет [Атлас океанографических ... , 2010; Гидролого-гидрохимический режим ... , 2006; Грузинов и др., 2019; Дулов, Юровская, Козлов, 2015; Иванов, Фомин, 2016].

Исследования рассматриваемой прибрежной акватории были начаты Институтом биологии южных морей им. А. О. Ковалевского в 2018 г. Тогда в ходе двух экспедиций были выполнены комплексные — гидробиологические, гидрохимические и океанографические (гидрологические и гидродинамические) — наблюдения. В рамках океанографического блока этих исследований были получены данные о вертикальной термохалинной структуре и распространении трансформированных речных вод в море [Рябушко и др., 2020].

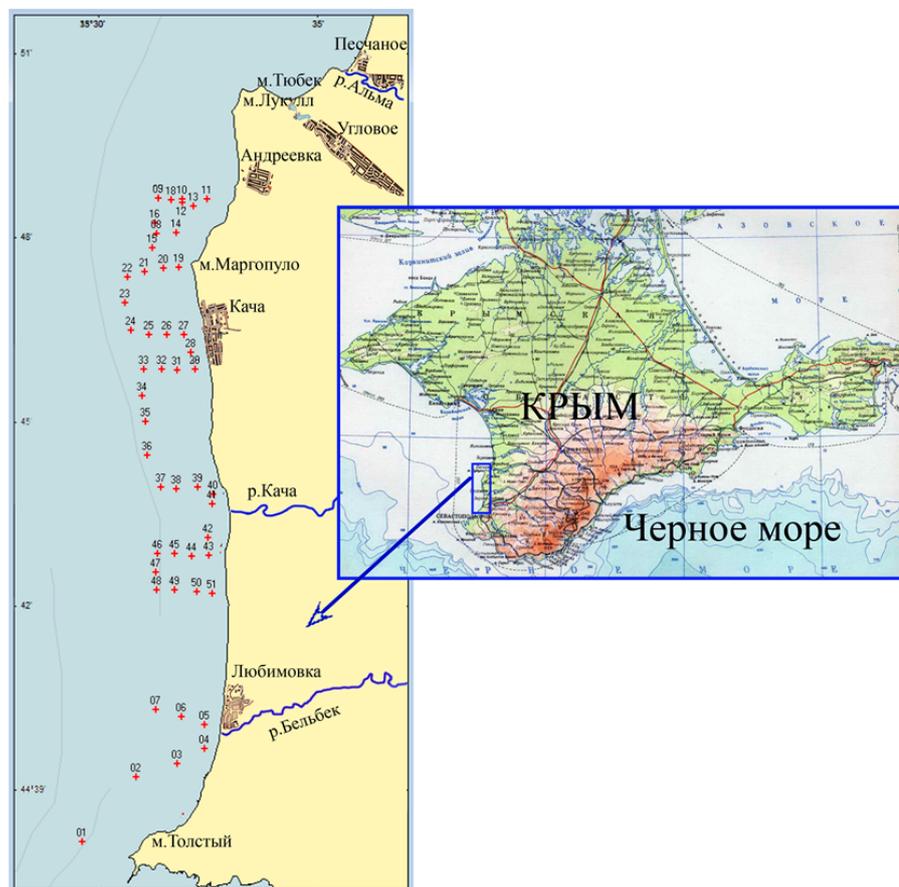
В предлагаемой статье соответствующие сведения дополнены и расширены. Её цель — на основе материалов экспедиции МГИ проанализировать особенности локальной циркуляции вод, структуры термохалинного поля, полей концентрации общего взвешенного (ОВВ) и окрашенного растворённого органического веществ (ОРОВ), а также выявить источники и траектории распространения этих веществ в районе северной части Севастопольского взморья в феврале 2020 г.

---

\* Работа выполнена в рамках государственных заданий ФГБУН ФИЦ МГИ № 0555-2021-0003 и № 0555-2021-0005.

## Материалы и методы исследования

Анализ выполнен на основе данных экспедиции, проведённой МГИ. Съёмка рассматриваемой акватории была реализована 16 февраля 2020 г. по схеме (всего 51 дрейфовая станция), которая изображена на рис. 1.



**Рис. 1.** Географическое положение исследуемой акватории и схема станций съёмки, выполненной 16 февраля 2020 года

Координаты станций определялись при помощи навигатора GPS. Заборные работы проведены с борта маломерного судна. Диапазон глубин на полигоне — 4–37 м.

Массив исходной информации получен при помощи оптического биофизического зондирующего комплекса «Кондор» (НПП «Аквастандарт», ТУ 431230-006-00241904-2015; код ТН ВЭД ЕАЭС 9027 50 000 0. ДС ЕАЭС N RU Д-RU.ЭМ03.А.00096/19) [Комплекс гидробиофизический ...]. Температура, солёность, концентрация ОВВ и ОРОВ синхронно фиксировались в водной толще в зондирующем режиме *in situ* с шагом по глубине 0.1 м.

Данные о синоптической атмосферной ситуации и о погодных условиях, сопровождавших океанологическую съёмку и предшествовавших ей, взяты с сайтов Туристер.Ру и Wetterzentrale [Погода в Севастополе ...; Wetterzentrale].

Отметим, что общее взвешенное вещество и особенно растворённое органическое вещество, определяемое флуоресцентным методом, относят к числу наиболее информативных показателей загрязнения природных вод, в том числе и бактериального [Boss et al., 2001; Karlsson et al., 2019; Tedetti et al., 2012].

До настоящего времени не существует предельно допустимых норм концентрации данных веществ. Поэтому для выявления прибрежных акваторий с содержанием исследуемых веществ антропогенного происхождения мы определили концентрацию ОВВ и ОРОВ, характерную для прибрежных вод Крыма в целом и Севастопольского региона в частности, которые не испытывают антропогенного влияния.

По материалам серии экспедиций, проведённых МГИ в 2003–2019 гг. [Ломакин, Чепыженко, Гидрофизические условия ... , 2019; Ломакин, Чепыженко, Течения и поля ... , 2019; Ломакин, Чепыженко, Гребнева, 2020], на основе элементарных статистических расчётов нами установлено, что в прибрежных «чистых» водах у Крымского полуострова, не подверженных антропогенному воздействию, наиболее часто фиксируемый уровень содержания этих веществ равен 0.8 мг/л для ОВВ и 2.0 мг/л для ОРОВ.

Эти значения, условно принятые нами в качестве природной нормы, используются для сопоставления с фактическими полями концентрации рассматриваемых величин с целью выявления антропогенной составляющей, оценки степени антропогенной нагрузки, источников загрязнения водной среды.

### Обсуждение результатов

Рассмотрим некоторые физико-географические и морфометрические особенности исследуемого региона, а также сведения об атмосферной синоптической ситуации и погодных условиях, которые использованы при интерпретации данных экспедиционных исследований.

*Физико-географические и морфометрические особенности.* В геологическом отношении берега анализируемой прибрежной акватории Чёрного моря сложены красно-бурыми плиоценовыми и четвертичными глинами с подчинёнными им слоями песчаников и конгломератов древнеаллювиального происхождения. Глинистые породы по устойчивости легко размываемы и практически не формируют при разрушении пляжеобразующий материал [Агаркова-Лях, 2007]. Здесь находятся три масштабных мыса: мыс Толстый — на юге и два, расположенных рядом, — мыс Маргопуло и мыс Лукулл — на севере.

В рассматриваемую акваторию впадают крымские реки Бельбек и Кача, которые традиционно считаются загрязнёнными [Грузинов и др., 2019]. Устье Бельбека расположено в двух милях севернее мыса Толстого, у посёлка Любимовка, устье Качи — в четырёх милях севернее устья р. Бельбек. Далее к северу находятся посёлки Кача и Андреевка (рис. 1).

*Синоптическая ситуация и погодные условия.* 15 и 16 февраля 2020 г. в западной части Чёрного моря наблюдалось изменение атмосферной синоптической ситуации. На месте заполнявшейся ложбины, которая была ориентирована от Эгейского моря на западную часть Чёрного моря, образовался гребень. В течение указанных двух суток преобладал слабый ветер переменных направлений. Температура воздуха во время съёмки составила 7–8 °С, волнение моря — 2 балла [Погода в Севастополе ... ; Wetterzentrale].

*Течения.* Соответственно полю ветра, течения, которые, согласно [Шапиро, Ющенко, 1999], в Севастопольском регионе имеют ветровую природу, на рассматриваемом прибрежном участке были слабыми. Это также подтверждалось косвенными признаками, в частности отсутствием заметного сноса судна при выполнении дрейфовых станций.

*Термохалинное поле.* Анализ термохалинной структуры свидетельствует о взаимодействии на рассматриваемом участке высокосолёных и тёплых вод открытого моря с распреснённым речным стоком и выхолаженными на мелководье прибрежными водами. Вертикальная стратификация термохалинного поля была слабовыраженной, типичной для зимнего сезона года. Преобладающую часть акватории полигона занимали более тёплые и солёные воды открытого моря, которые, вероятно, распространялись от севера — северо-запада (рис. 2).

Локальные минимумы температуры и солёности (7.2–7.4 °С и 18.08–18.12 ЕПС) наблюдались на мелководных участках, примыкающих к речным устьям, максимальные значения Т- и S-индексов (8.4–8.6 °С и 18.25–18.32 ЕПС) — в глубоководной части рассматриваемой акватории (рис. 2).

*Поле концентрации ОВВ.* В поле этой величины отчётливо видна граница, разделявшая воды открытого моря с низким содержанием взвеси (0.2–0.4 мг/л) и насыщенные ОВВ прибрежные воды, где в прибрежной полосе шириной от нескольких сотен метров до мили его концентрация изменялась в интервале 1.5–3.7 мг/л, что в 2.0–4.6 раза превосходило природную норму (рис. 3а, 3б).

Отметим, что столь низкая концентрация ОВВ в прибрежной зоне Крыма, равная 0.2 мг/л, наблюдается крайне редко, согласно [Хайлов, 1971] такое содержание ОВВ типично для вод центральной части Чёрного моря.

Локальный максимум концентрации ОВВ явно антропогенного происхождения (2.6–2.8 мг/л на поверхности моря и 3.5–3.7 мг/л у дна) отмечен в районе устья р. Качи (рис. 3а, 3б).

*Поле концентрации ОРОВ.* Диапазон абсолютной изменчивости концентрации ОРОВ (2.3–2.9 мг/л), превышавший природную норму в 1.2–1.4 раза, свидетельствует о том, что в поле этой величины на всей исследуемой акватории присутствовала антропогенная составляющая.

Три отчётливо выраженных локальных максимума содержания ОРОВ (2.9 мг/л), зафиксированные на поверхности моря в районах посёлка Любимовка и устья р. Бельбек, устья р. Качи и у посёлка Андреевка (рис. 3в), указывают на наличие источников загрязнения, влияние которых в поле ОРОВ распространялось на всю рассматриваемую акваторию. В придонном слое были зафиксированы только два максимума концентрации ОРОВ — в устье р. Качи и у посёлка Андреевка (рис. 3г).

Сточные воды указанных населённых пунктов и стоки речек, поставляющие в море антропогенные ОВВ и ОРОВ, могут оказывать негативное влияние на экологическое состояние региона.

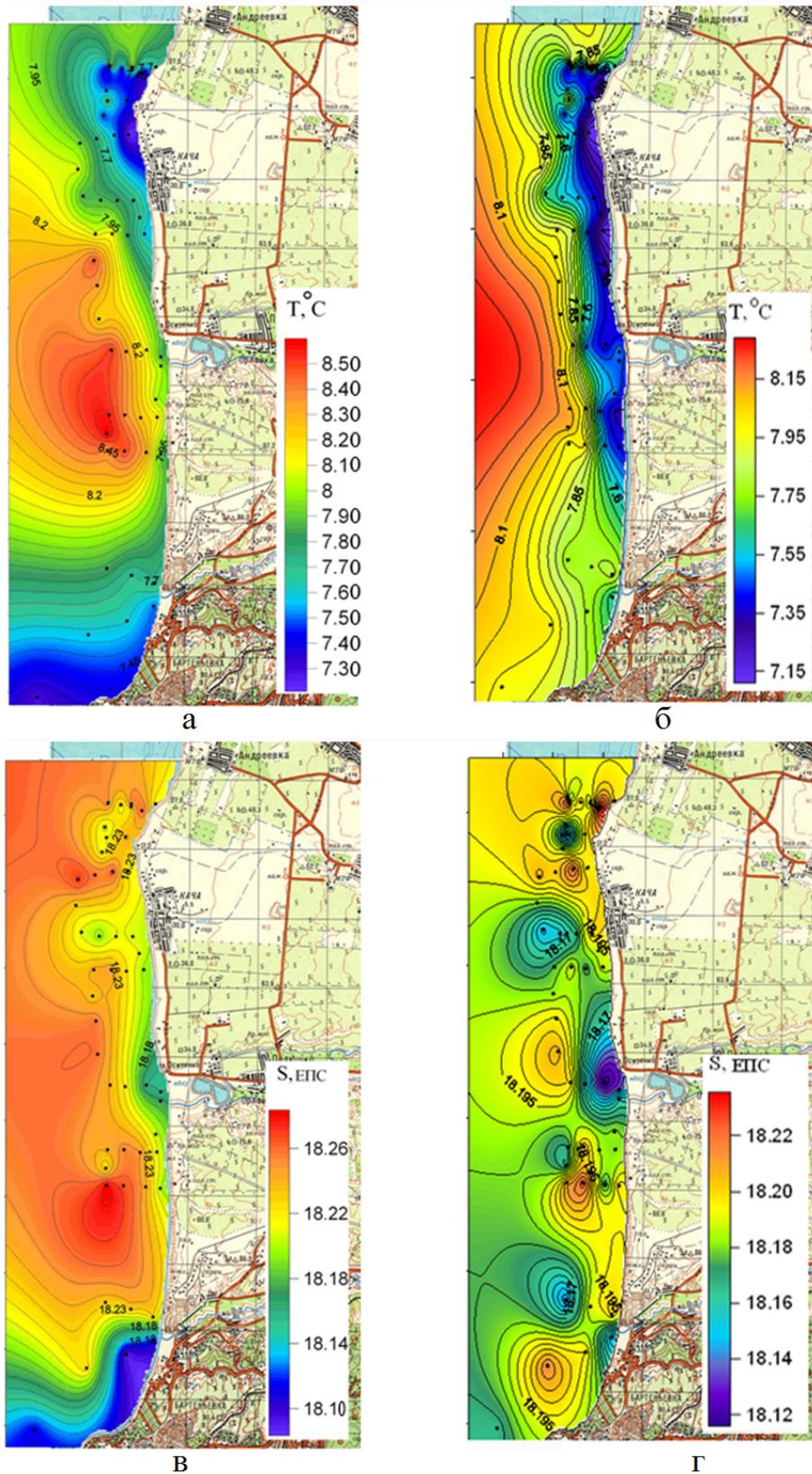
### Заключение

На основе данных экспедиции, проведённой МГИ в феврале 2020 г., рассмотрены особенности динамики вод, их термохалинной структуры, структуры полей содержания ОВВ и ОРОВ в районе северного берега Севастопольского взморья. Выявлены источники ОВВ и ОРОВ антропогенной природы.

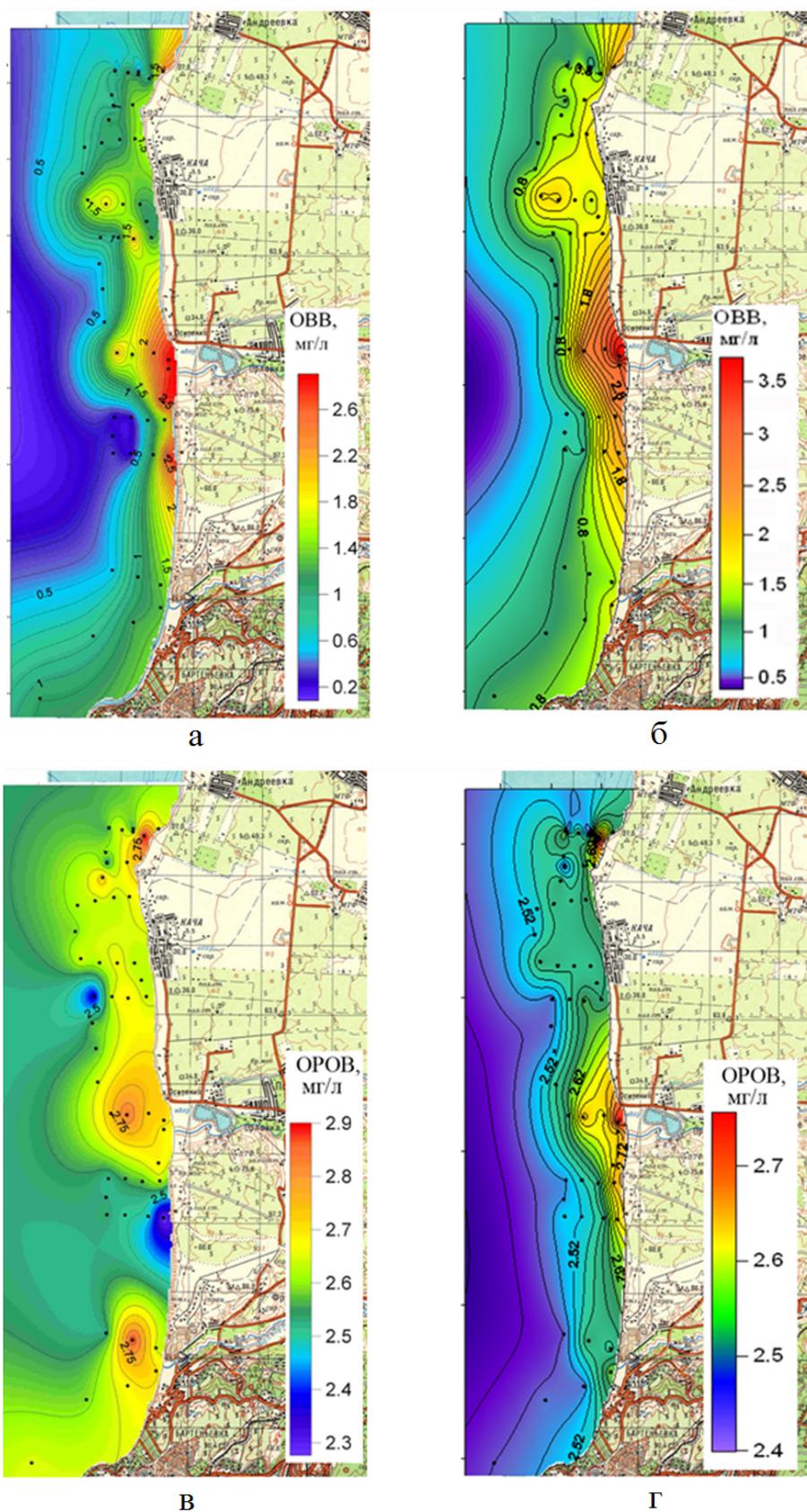
Показано, что в условиях слабовыраженной динамики на исследуемой акватории взаимодействовали высокосолёные и тёплые воды открытого моря с распреснённым речным стоком и выхоложенными на мелководье прибрежными водами. Преобладающую часть акватории занимали воды открытого моря, которые распространялись от севера — северо-запада. Стратификация термохалинного поля отсутствовала.

В прибрежных водах концентрация ОВВ изменялась в интервале 1.5–3.7 мг/л, что в 2.0–4.6 раза превышало природную норму. Локальный максимум концентрации ОВВ антропогенного происхождения (2.6–2.8 мг/л на поверхности моря и 3.5–3.7 мг/л у дна) отмечен в районе устья р. Качи.

На исследуемой акватории в поле ОРОВ присутствовала антропогенная составляющая, а на трёх участках (в районе посёлка Любимовка и устья Бельбека, устья Качи, у посёлка Андреевка) обнаружены локальные максимумы концентрации этой величины.



**Рис. 2.** Температура ( $^{\circ}\text{C}$ ) на поверхности (а) и у дна (б), солёность (ЕПС) на поверхности (в) и у дна (г) 16 февраля 2020 г.



**Рис. 3.** Концентрация общего взвешенного вещества (мг/л) на поверхности (а) и у дна (б), концентрация окрашенного растворённого органического вещества (мг/л) на поверхности (в) и у дна (г) 16 февраля 2020 г.

### Список литературы

1. *Агаркова-Лях И. В.* Современное состояние береговой зоны Севастопольского региона и особенности её антропогенного преобразования // *Культура народов Причерноморья*. – 2007. – № 118. – С. 7–13. – URL: <http://dspace.nbu.gov.ua/handle/123456789/107849> (дата обращения: 17.02.2022).
2. Атлас океанографических характеристик Севастопольской бухты / НАН Украины, Мор. гидрофиз. ин-т ; отв. ред. В. А. Иванов. – Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2010. – 320 с.
3. Гидролого-гидрохимический режим Севастопольской бухты и его изменения под воздействием климатических и антропогенных факторов / НАН Украины, Мор. гидрофиз. ин-т ; В. А. Иванов [и др.]. – Севастополь : МГИ, 2006. – 90 с. – URL: [http://mhi-ras.ru/assets/files/gidrologo-gidrohimicheskij\\_rezhim\\_sevastopolskoj\\_buhty\\_2006.pdf](http://mhi-ras.ru/assets/files/gidrologo-gidrohimicheskij_rezhim_sevastopolskoj_buhty_2006.pdf) (дата обращения: 16.02.2022).
4. *Грузинов В. М., Дьяков Н. Н., Мезенцева И. В., Мальченко Ю. А., Жохова Н. В., Коршенко А. Н.* Источники загрязнения прибрежных вод Севастопольского района // *Океанология*. – 2019. – Т. 59, № 4. – С. 579–590. – <https://doi.org/10.31857/S0030-1574594579-590>
5. *Дулов В. А., Юровская М. В., Козлов И. Е.* Прибрежная зона Севастополя на спутниковых снимках высокого разрешения // *Морской гидрофизический журнал*. – 2015. – № 6. – С. 43–60. – <https://doi.org/10.22449/1573-160X-2015-6-39-54>
6. *Иванов В. А., Фомин В. В.* Численное моделирование распространения заглубленного стока в прибрежной зоне Гераклеийского полуострова // *Морской гидрофизический журнал*. – 2016. – № 6. – С. 89–103. – <https://doi.org/10.22449/0233-7584-2016-6-89-103>
7. Комплекс гидробиофизический мультипараметрический погружной автономный «КОНДОР» [Электронный ресурс] // *Ecodevice. Development creation research* : [сайт]. – URL: <http://ecodevice.com.ru/ecodevice-catalogue/multiturbidimeter-kondor> (дата обращения: 17.02.2022).
8. *Ломакин П. Д., Чепыженко А. А.* Гидрофизические условия и характеристика загрязнения вод бухты Казачья (Крым) в сентябре 2018 года // *Системы контроля окружающей среды*. – 2019. – Вып. 1 (35). – С. 48–54. – <https://doi.org/10.33075/2220-5861-2019-1-48-54>
9. *Ломакин П. Д., Чепыженко А. И.* Течения и поля содержания общего взвешенного и растворённого органического веществ в водах Севастопольского взморья в августе 2019 года // *Системы контроля окружающей среды*. – 2019. – Вып. 4 (38). – С. 60–65. – <https://doi.org/10.33075/2220-5861-2019-4-60-65>
10. *Ломакин П. Д., Чепыженко А. И., Гребнева Е. А.* Поля океанологических характеристик в Абрамовой бухте (Севастополь) в ноябре 2019 года // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря*. – 2020. – Вып. 2. – С. 68–79. – <https://doi.org/10.22449/2413-5577-2020-2-68-79>
11. Погода в Севастополе, Россия [Электронный ресурс] // *Туристер.Ру* : [сайт]. – [2009]. – URL: <https://pogoda.tourister.ru/russia/sevastopol/february> (дата обращения: 17.02.2022).
12. *Рябушко В. И., Щуров С. В., Ковригина Н. П., Лисицкая Е. В., Поспелова Н. В.* Комплексные исследования экологического состояния прибрежной акватории Севастополя (Западный Крым, Чёрное море) // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря*. – 2020. – № 1. – С. 103–118. – <https://doi.org/10.22449/2413-5577-2020-1-103-118>
13. *Хайлов К. М.* Экологический метаболизм в море. – Киев : Наук. думка, 1971. – 250 с.
14. *Шатирио Н. Б., Ющенко С. А.* Моделирование ветровых течений в севастопольских бухтах // *Морской гидрофизический журнал*. – 1999. – № 1. – С. 42–57.

15. Boss E. S., Pegau W. S., Zaneveld J. R., Barnard A. H. Spatial and temporal variability of absorption by dissolved material at a continental shelf // *Journal of Geophysical Research: Oceans*. – 2001. – Vol. 106, iss. C5. – P. 9499–9507. – <https://doi.org/10.1029/2000JC900008>
16. Karlsson C. M. G., Cerro-Galvez E., Lundin D., Karlsson C., Vila-Costa M., Pinhassi J. Direct effects of organic pollutants on the growth and gene expression of the Baltic Sea model bacterium *Rheinheimera* sp. BAL341 // *Microbial Biotechnology*. – 2019. – Vol. 12, iss. 5. – P. 892–906. – <https://doi.org/10.1111/1751-7915.13441>
17. Tedetti M., Longhitano R., Garcia N., Guigue C., Ferretto N., Goutx M. Fluorescence properties of dissolved organic matter in coastal Mediterranean waters influenced by a municipal sewage effluent (Bay of Marseilles, France) // *Environmental Chemistry*. – 2012. – Vol. 9, iss. 5. – P. 438–449. – <https://doi.org/10.1071/EN12081>
18. Wetterzentrale : [website]. – URL: <http://wetterzentrale.de/topkarten/> (date of application: 17.02.2022).

## OCEANOLOGICAL VALUES FIELDS STRUCTURE AROUND THE NORTHERN COAST OF SEVASTOPOL SEASIDE (THE BLACK SEA) IN FEBRUARY 2020

Lomakin P. D., Chepyzhenko A. I., Chepyzhenko A. A.

*Marine Hydrophysical Institute RAS, Sevastopol, Russian Federation,*

e-mail: [p\\_lomakin@mail.ru](mailto:p_lomakin@mail.ru), [ecodevice@yandex.ru](mailto:ecodevice@yandex.ru), [annachep87@yandex.ru](mailto:annachep87@yandex.ru)

**Abstract:** Based on the survey data conducted by Marine Hydrophysical Institute in February 2020, the water dynamics peculiarities, thermohaline structure, total suspended and colored dissolved organic matter fields' structures in the northern coast of the Sevastopol seaside region were analyzed. It is shown that under conditions of weakly expressed dynamics in the studied water area, the open sea waters interacted with the freshened and cooled by the river runoff coastal waters. In the area of the Kacha river mouth, the total suspended matter of anthropogenic origin concentration local maximum was found. An anthropogenic component was presented throughout the entire water area in the field of the colored dissolved organic matter concentration. The local maxima of this value concentration were found in three areas (near the Lyubimovka village and the Belbek river mouth, the Kacha river mouth, near Andreevka village). The pollution sources of considered water area have been identified.

**Keywords:** temperature, salinity, total suspended matter, colored dissolved organic matter, Sevastopol, the Black Sea.

### Сведения об авторах

Ломакин Павел Демьянович	доктор географических наук, профессор, ведущий научный сотрудник отдела океанографии, ФГБУН ФИЦ «Морской гидрофизический институт РАН», <a href="mailto:p_lomakin@mail.ru">p_lomakin@mail.ru</a>
Чепыженко Алексей Ильич	кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела гидрофизики шельфа, ФГБУН ФИЦ «Морской гидрофизический институт РАН», <a href="mailto:ecodevice@yandex.ru">ecodevice@yandex.ru</a>
Чепыженко Анна Алексеевна	младший научный сотрудник отдела дистанционных методов исследования, ФГБУН ФИЦ «Морской гидрофизический институт РАН», <a href="mailto:annachep87@yandex.ru">annachep87@yandex.ru</a>

*Поступила в редакцию 27.08.2021 г.*

*Принята к публикации 25.02.2022 г.*

**ДОННАЯ ФАУНА БУХТЫ КРУГЛОЙ (ЧЁРНОЕ МОРЕ, КРЫМ).  
СООБЩЕНИЕ 1. ЭПИФИТОН МАКРОФИТОВ\***

**Макаров М. В., Бондаренко Л. В., Копий В. Г.**

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», г. Севастополь,  
Российская Федерация,  
e-mail: [mihaliksevast@inbox.ru](mailto:mihaliksevast@inbox.ru)

**Аннотация:** Проведено исследование макрозооэпифитона в зарослях макрофитов различных родов: *Cystoseira* sp.; *Ulva rigida* C. Agardh, 1823; *Padina pavonica* (Linnaeus) Thivy, 1960; *Spermatochnus paradoxus* (Roth), Kützing 1843; *Phyllophora* sp. + *Corallina* sp.; *Cladostephus spongiosus* (Hudson) C. Agardh, 1817; *Cladophora* sp. и *Zostera* sp. Эпифитон макрофитов акватории бухты Круглой представлен семью таксономическими группами: Polyplacophora, Gastropoda, Bivalvia, Crustacea, Polychaeta, Platyhelminthes, Chironomidae. Недостаточно изученные ранее эпифитонные сообщества водорослей *P. pavonica*, *U. rigida*, *Cladophora* sp., *S. paradoxus* и *C. spongiosus* представлены богатым видовым составом и количественным развитием обитающих в них животных. В ассоциациях макрофитов акватории б. Круглой обнаружены 48 видов донной макрофауны. Численность макрозооэпифитона варьировала от 1204 до 11588 экз./кг, биомасса — от 4,9 до 26,4 г/кг. Максимальная численность донных животных отмечена на водоросли *C. spongiosus*, биомасса — на *Cystoseira* sp. Трофическая структура сообществ макрофитов представлена фитофагами, детритофагами, полифагами, плотоядными и эктопаразитами, а также видами с неизвестным спектром питания. По количеству видов и численности преобладают детритофаги, по биомассе — фитофаги.

**Ключевые слова:** зооэпифитон, численность, биомасса, сообщества, трофическая структура.

### Введение

Бухта Круглая — одна из многочисленных бухт, расположенных в Юго-Западном Крыму, в пределах Севастополя. Она находится в 5 км от устья Севастопольской бухты. У входных мысов бухты располагаются подводные каменистые гряды, к которым приурочены заросли цистозир [Колесникова, Мазлумян, 1999].

Прибрежная полоса зарослеобразующих макрофитов играет значительную роль в продуктивности донных сообществ. Донная растительность б. Круглой занимает около 1/3 поверхности дна. Более 80 % её общих запасов сосредоточено в высокопродуктивной зоне, на глубине от 0,5 до 5 м. В 2008 г. общие запасы макрофитобентоса на глубинах 1, 3, 5 и 13 м сохранились на уровне 1989 г. В 1989 и 2008 гг. тренды общего распределения макрофитобентоса по глубине также не изменились [Ковардаков, Празукин, 2012]. На глубине 3 м биомасса *Cystoseira crinita* составляет 68,5 % от общей биомассы фитоценозов [Мильчакова, 2003].

Макрофиты — один из основных источников органического вещества в прибрежной зоне. Их заросли служат укрытием, местом размножения и питания многих животных и растений. Субстрат-макрофит гораздо сложнее субстрата-грунта, так как это живой организм, подверженный суточным, сезонным, многолетним и индивидуальным изменениям, связанным с его биологией и воздействием внешних факторов. Давая приют разнообразному населению — животным

\*Статья подготовлена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ «Закономерности формирования и антропогенная трансформация биоразнообразия и биоресурсов Азово-Черноморского бассейна и других районов Мирового океана», № 121030100028-0.

и растениям, макрофит одновременно является компонентом зарослевого сообщества, нередко включаясь в пищевые цепи эпибионтов и выделяя в окружающую среду растворённые органические вещества [Хайлов, 1971].

Население макрофитов побережья Крыма, в том числе бухты Круглой, достаточно хорошо изучено. Первый количественный анализ животного населения цистозеры провёл В. А. Водяницкий [Водяницкий, 1949]. Зернов С. А. выделил в самостоятельные биоценозы макрозообентос в зарослях зостеры и филлофоры, а население цистозеры включил в биоценоз скал, поскольку места произрастания этих водорослей ограничиваются твёрдым субстратом [Зернов, 1913]. Однако в основном это касается лишь зарослей цистозеры, филлофоры и зостеры [Резниченко, 1957; Маккавеева, 1979; Маккавеева, 1992; Киселёва и др., 2009; Киселёва, Заклецкий, Ширинская, 2014; Киселёва, 2015; Макаров и др., 2020]. Эпифитон макрофитов других родов исследован недостаточно, а макрозообентос, обитающий на талломах водорослей *Spermatochnus paradoxus* и *Cladostephus spongiosus* в акватории б. Круглой, описан нами впервые.

Проводя сравнительный анализ видового состава и количественных параметров представителей зооэпифитона, обитающих в зарослях макрофитов акватории бухты Круглой, мы рассматриваем их как часть местообитания гидробионтов, то есть стацию [Реймерс, 1988].

Целью данной работы является изучение видового состава и количественного развития макрозообентоса в эпифитоне представителей различных родов макрофитов акватории бухты Круглой.

### Материалы и методы

Пробы брали в высокопродуктивной зоне, в районе мыса Восточного на глубине 3 м, в летний период 2009–2010 гг. В этой части акватории фитоценоз представлен цистозирой [Панкеева, Миронова, Новиков, 2019]. В данном сообществе нами обнаружены также *Zostera* sp., *Padina pavonica*, *Phyllophora* sp., *Corallina* sp., *Cladostephus spongiosus*, *Cladophora* sp., *Ulva rigida* и *Spermatochnus paradoxus*. Обычно исследованные водоросли поселяются на твёрдых субстратах. Большинство видов, за исключением *U. rigida* и *P. pavonica*, имеют разветвлённое слоевище, что создаёт дополнительную поверхность для прикрепления зооэпифитона и пищи для его представителей. Являясь эпифитами цистозеры, *C. spongiosus* и *Corallina* sp. [Зинова, 1967] также могут служить пищей гидробионтов. Всего взято 18 проб.

Отбор исследуемого материала осуществляли с помощью мешка из мельничного газа. Пробы фиксировали 4%-ным раствором формальдегида, в лабораторных условиях промывали через сито с размером ячеек 0,5 мм, разбирали по крупным таксономическим группам и далее по возможности идентифицировали до вида [Определитель ... , 1968–1972; Чухчин, 1984; Киселёва, 2004; Grintsov, Sezgin, 2011]. Таксономическая принадлежность приведена в соответствии с базой данных WoRMS [WoRMS. World Register of Marine Species]. Взвешивали водоросли на весах Sortorius с точностью до 0,1 г. При описании количественного развития фауны использованы показатели численности (N, экз./кг) и биомассы (B, г/кг). Для выделения сообществ использовали индекс функционального обилия (ИФО), который определяли по формуле [Мальцев, 1990]:

$$\text{ИФО} = N^{0,25} \times B^{0,75}, \quad (1)$$

где N — численность вида, B — биомасса вида.

Для определения фаунистического сходства использовался индекс Чекановского — Сёренсена [Сёмкин, Горшков, 2010]:

$$i = 2c / (a + b), \quad (2)$$

где  $a$  и  $b$  — число видов в сравниваемых списках,  $c$  — число общих видов.

Трофическую принадлежность зооэпифитона определяли, используя данные литературных источников [Грезе, 1977; Чухчин, 1984; Киселёва, 2004].

Бухта Круглая отличается биологическим разнообразием, обилием уникальных местообитаний донной растительности, где представлены сообщества морских трав и водорослей [Панкеева, Миронова, Новиков, 2019].

Акватория бухты Круглой мелководна и является районом рекреационного назначения с местами отдыха, городским пляжем и развлекательными центрами. При этом в неё выходит аварийный сток канализационных вод, в связи с чем в летний период санитарно-эпидемиологические показатели часто не соответствуют нормам [Санитарно-биологические исследования ... , 2018].

В 2017–2018 гг. в бухте Круглой отмечено сохранение тенденции негативной трансформации донной растительности, которое свидетельствовало об увеличении степени заиления донных осадков и, вероятно, было связано с повышением уровня органического загрязнения акватории и возрастанием объёма береговых стоков [Миронова, Панкеева, 2019]. Несмотря на то что источники промышленного загрязнения в бухте отсутствуют, ливневый сток, сброс бытовых сточных вод и интенсивное новообразование органического вещества в тёплый период года, а также высокая рекреационная нагрузка периодически приводят к ярко выраженному дефициту кислорода на поверхности и в глубине донных осадков. Известно, что даже эпизодическая гипоксия может оказывать большое влияние как на обитателей поверхности дна (эпифауна), так и на представителей бентоса, погружённых в толщу грунта (инфауна) [Заика, Коновалов, Сергеева, 2011].

## Результаты и обсуждение

*Качественный состав.* На всех исследованных в данном районе макрофитах отмечены представители семи крупных таксонов: Polyplacophora, Gastropoda, Bivalvia, Crustacea, Polychaeta, Platyhelminthes, Chironomidae. Наиболее массовыми и многочисленными являются брюхоногие моллюски и ракообразные.

Всего обнаружено 44 вида макрозооэпифитона (табл. 1). Максимальное количество — на *Cystoseira* sp. (32), далее следуют *Zostera* sp. (20), *P. pavonica* и *Phyllophora* sp. + *Corallina* sp. (по 19), *C. spongiosus* (17), *Cladophora* sp. (16), *U. rigida* (13) и *S. paradoxus* (10).

Показано, что недостаточно изученные ранее эпифитонные сообщества *P. pavonica*, *U. rigida*, *Cladophora* sp., *S. paradoxus* и *C. spongiosus* представлены богатым составом и количественным развитием обитающих в них животных. Наибольшее количество видов (80 %) обнаружены на цистозире. Сформирован этот показатель видовым многообразием Crustacea, далее следуют Mollusca и Polychaeta.

Mollusca представлены 12 видами: Gastropoda — 9, Bivalvia — 2, Polyplacophora — 1. Наибольшее количество видов отмечено в эпифитоне бурых водорослей (11 видов).

Впервые у побережья Крыма найдены: на водоросли *S. paradoxus* — моллюски *Bittium reticulatum*, *Rissoa parva*, *Rissoa splendida*, *Rissoa venusta* и *Tricolia pullus*, на *C. spongiosus* — *B. reticulatum*, *Steromphala adriatica*, *R. splendida* и *T. pullus*, на *P. pavonica* — *S. adriatica*.

Обнаружение большого количества видов на этих макрофитах, вероятно, связано с их малой изученностью. На макрофитах родов *Cystoseira*, *Cladophora* и *Zostera* обнаружен относительно редкий вид брюхоногих моллюсков — *S. turriculata*. Брюхоногий моллюск *T. pullus* встречается на всех макрофитах. Это массовый и эврибионтный вид в Чёрном море [Чухчин, 1984]. Моллюски *R. splendida*, *B. reticulatum*, *S. adriatica* и *R. parva* обнаружены более чем на 50 % видов макрофитов. Редкими оказались *R. membranacea* и *M. galloprovincialis*. Мидия не характерна для зарослей макрофитов и представлена на них в основном молодью, так как крупным особям трудно удерживаться на талломах водорослей и они преимущественно являются эпифауной твёрдых субстратов [Маккавеева, 1979; Макаров, Ковалёва, 2017]. Эпифитон морской травы рода *Zostera* представлен девятью видами Mollusca, среди которых наибольшие показатели численности и биомассы отмечены у хитона *L. cinerea*. В Чёрном море этот моллюск распространён вдоль всего побережья на глубине до 30 м, в основном на поверхности камней и скал [Определитель ... , 1968–1972], а также в зарослях зостеры [Маккавеева, 1979].

Malacostraca представлены 21 видом: Amphipoda — 13, Isopoda — 2, Cumacea — 3 и по одному виду Tanaidacea, Decapoda, Mysida (табл. 1). В зарослях бурых водорослей обитают 17 видов Malacostraca, зелёных — 9, в сообществах красных водорослей и *Zostera* — по 11 видов. Амфипода *C. acanthifera ferox* и танаидовый рак *Ch. savignyi* обнаружены на всех видах макрофитов. Известно [Грезе, 1985], что капрелла в Чёрном море населяет заросли цистозир. Нами этот рак обнаружен на талломах других видов водорослей. Более чем на 50 % видов макрофитов идентифицированы типичные обитатели этих зарослей: *A. ramondi*, *A. bispinosa*, *M. gryllotalpa*, *S. monoculoides*, *S. capito*, *N. euxinicus*, а также десятиногий рак *H. leptocerus*. Редкими оказались виды, предпочитающие заиленные грунты: *C. acanthifera acanthifera*, *I. elisae*; эврибионтный вид *A. diadema*; *P. phasma*, встречающийся в Чёрном море, на мелководье, в зарослях цистозир; представители рода *Orchestia*, населяющие супралиторальную зону, и литоральный литофильный вид *S. jaltensis*.

Класс Polychaeta в зарослях макрофитов бухты Круглой по количеству видов менее разнообразен, чем Mollusca и Crustacea. Annelida представлены восемью видами полихет. Platyhelminthes до вида не идентифицированы (табл. 1). Наибольшее количество видов (8) отмечено в сообществе бурых водорослей. Для всех видов зарегистрированных полихет свойственно обитание в обрастающих прибрежных скал, камней и на макрофитах.

В наших пробах представители типа Platyhelminthes встречаются в ассоциации ульвы. Полихеты семейства Nereididae обнаружены более чем на 50 % всех видов макрофитов. Редкими оказались *Nereiphylla* g. sp., *Ph. inornata*, *P. kefersteini*, *S. bulbosa* и *E. sanguinea* — вид, обычно не образующий массовых скоплений [Киселёва, 2004].

На всех видах макрофитов обнаружены: брюхоногий моллюск *T. pullus*, амфипода *C. acanthifera ferox* и танаидовый рак *Ch. savignyi*. Коэффициент сходства видов варьирует в пределах 0,33–0,83 (табл. 2).

Наиболее сходные фауны отмечены на талломах *C. spongiosus* — *Phyllophora* sp. + *Corallina* sp. (0,83), *P. pavonica* — *Phyllophora* sp. + *Corallina* sp. (0,76) и *P. pavonica* — *U. rigida* (0,71). Как и раньше [Маккавеева, 1979], видовой состав макроэпифитона зарослей цистозир и филлофоры более сходен (0,63), чем цистозир и зостеры (0,47). Наименее сходны по видовому составу зооэпифитона сообщества *Cladophora* sp. — *Zostera* sp. (0,33) и *Cystoseira* sp. — *S. paradoxus* (0,36).

Наибольшее сходство наблюдается в видовом составе моллюсков. Коэффициент общности на талломах *P. pavonica* — *C. spongiosus* и *C. spongiosus* — *Phyllophora* sp. + *Corallina* sp. у моллюсков составил 1,0. Более низкие значения этого коэффициента отмечены для ракообразных, обитающих на талломах *P. pavonica* — *U. rigida* (0,9) и *P. pavonica* — *Cystoseira* sp. (0,85). Коэффициент Чекановского — Сёренсена для аннелид варьировал в пределах 0–0,25.

**Таблица 1**  
**Средние значения численности (N, экз./кг) и биомассы (B, г/кг) макрозооэпифитона в сообществах макрофитов б. Круглой**

Таксон	Макрофиты							
	<i>Cystoseira</i> sp.	<i>Ulva rigida</i>	<i>Padina pavonica</i>	<i>Spermatocchnus paradoxus</i>	<i>Phyllophora</i> sp. + <i>Corallina</i> sp.	<i>Cladostephus spongiosus</i>	<i>Cladophora</i> sp.	<i>Zostera</i> sp.
ANNELIDA								
<i>Eumida sanguinea</i> (Ørsted, 1843)	$\frac{16}{0,001}$	–	–	–	–	–	–	–
<i>Nereiphylla</i> Blainville, 1828	–	–	–	–	–	–	$\frac{11}{0,005}$	–
<i>Nereis zonata</i> Malmgren, 1867	$\frac{7}{0,014}$	–	–	–	–	–	$\frac{43}{0,174}$	–
Nereididae g. sp.	$\frac{154}{0,02}$	$\frac{103}{0,052}$	$\frac{472}{0,039}$	–	$\frac{191}{0,08}$	–	$\frac{131}{0,033}$	–
<i>Pholoe inornata</i> Johnston, 1839	$\frac{3}{0,001}$	–	–	–	–	–	–	–
<i>Platynereis dumerilii</i> (Audouin & Milne Edwards, 1833)	–	–	$\frac{7}{0,007}$	–	$\frac{48}{0,303}$	–	–	–
<i>Polyophthalmus pictus</i> (Dujardin, 1839)	$\frac{21}{0,066}$	–	–	–	–	–	$\frac{98}{0,032}$	–
<i>Protodorvillea kefersteini</i> (McIntosh, 1869)	–	–	$\frac{50}{0,05}$	–	–	–	–	–
<i>Sphaerosyllis bulbosa</i> Southern, 1914	$\frac{54}{0,003}$	–	–	–	–	–	–	–
<b>Итого</b>	<b><math>\frac{255}{0,105}</math></b>	<b><math>\frac{103}{0,052}</math></b>	<b><math>\frac{529}{0,096}</math></b>	–	<b><math>\frac{239}{0,383}</math></b>	–	<b><math>\frac{283}{0,537}</math></b>	–
Platyhelminthes	–	$\frac{207}{0,031}$	–	–	–	–	–	–
MOLLUSCA								
<i>Lepidochitona cinerea</i> (Linnaeus, 1767)	$\frac{2}{0,01}$	–	–	–	$\frac{80}{0,08}$	$\frac{27}{0,03}$	–	$\frac{70}{2,2}$
<i>Bittium reticulatum</i> (da Costa, 1778)	$\frac{921}{7,64}$	–	$\frac{400}{11,86}$	$\frac{275}{1,71}$	$\frac{128}{0,97}$	$\frac{1616}{7,56}$	$\frac{3254}{15,18}$	–
<i>Rissoa membranacea</i> (J. Adams, 1800)	–	–	–	–	–	–	–	$\frac{9}{0,13}$

Продолжение на следующей странице...

Таксон	Макрофиты							
	<i>Cystoseira</i> sp.	<i>Ulva rigida</i>	<i>Padina pavonica</i>	<i>Spermatochnus paradoxus</i>	<i>Phyllophora</i> sp. + <i>Corallina</i> sp.	<i>Cladostephus spongiosus</i>	<i>Cladophora</i> sp.	<i>Zostera</i> sp.
<i>R. parva</i> (da Costa, 1778)	<u>2</u> 0,14	–	<u>15</u> 0,02	<u>61</u> 0,06	–	–	<u>22</u> 0,02	<u>17</u> 0,09
<i>R. splendida</i> Eichwald, 1830	<u>383</u> 8,5	<u>318</u> 8,55	<u>146</u> 1,27	<u>214</u> 4,16	<u>32</u> 0,03	<u>192</u> 3,23	–	<u>26</u> 0,43
<i>R. venusta</i> Philippi, 1844	–	–	–	<u>31</u> 0,21	–	–	–	<u>61</u> 0,07
<i>Tricolia pullus</i> (Linnaeus, 1758)	<u>168</u> 5,05	<u>45</u> 1,73	<u>87</u> 1,54	<u>31</u> 2,72	<u>96</u> 0,7	<u>685</u> 2,79	<u>65</u> 0,3	<u>52</u> 2,2
<i>Tritia pellucida</i> (Risso, 1826)	<u>7</u> 0,35	–	–	–	–	–	–	<u>9</u> 0,02
<i>Setia turriculata</i> Monterosato, 1844	<u>3</u> 0,01	–	–	–	–	–	<u>87</u> 0,09	–
<i>Steromphala adriatica</i> (Philippi, 1844)	<u>3</u> 0,03	–	<u>132</u> 4,7	–	<u>48</u> 0,62	<u>27</u> 0,22	–	<u>35</u> 0,5
<i>Mytilaster lineatus</i> (Gmelin, 1791)	<u>117</u> 3,18	–	–	–	<u>191</u> 0,67	<u>548</u> 0,55	<u>390</u> 0,39	<u>17</u> 0,32
<i>Mytilus galloprovincialis</i> Lamarck, 1819	<u>1</u> 0,01	–	–	–	–	–	–	–
<b>Итого</b>	<b><u>1607</u></b> <b>24,92</b>	<b><u>363</u></b> <b>10,28</b>	<b><u>780</u></b> <b>19,39</b>	<b><u>612</u></b> <b>8,86</b>	<b><u>575</u></b> <b>3,07</b>	<b><u>3095</u></b> <b>14,38</b>	<b><u>3818</u></b> <b>15,98</b>	<b><u>296</u></b> <b>5,96</b>
ARTHROPODA								
<i>Ampelisca diadema</i> (Costa, 1853)	–	–	–	–	–	–	–	<u>139</u> 0,041
<i>Ampithoe ramondi</i> Audouin, 1826	<u>703</u> 0,271	<u>250</u> 0,275	<u>1208</u> 0,45	–	–	–	<u>195</u> 0,204	<u>130</u> 0,076
<i>Apherusa bispinosa</i> (Bate, 1857)	<u>340</u> 0,075	<u>45</u> 0,018	<u>158</u> 0,038	–	<u>159</u> 0,049	<u>82</u> 0,025	–	<u>9</u> 0,002
<i>Caprella acanthifera ferox</i> <i>sensu Carausu &amp; Carausu, 1959</i>	<u>1762</u> 0,277	<u>68</u> 0,009	<u>1023</u> 0,059	<u>210</u> 0,015	<u>32</u> 0,002	<u>2301</u> 0,148	<u>3167</u> 0,354	<u>417</u> 0,071
<i>Caprella acanthifera acanthifera</i> Leach, 1814	–	–	–	–	–	–	–	<u>78</u> 0,011
<i>Chondrochelea savignyi</i> (Kroyer, 1842)	<u>994</u> 0,082	<u>114</u> 0,011	<u>287</u> 0,027	<u>65</u> 0,01	<u>223</u> 0,027	<u>1397</u> 0,233	<u>325</u> 0,059	<u>52</u> 0,003

Продолжение на следующей странице...

Таксон	Макрофиты							
	<i>Cystoseira</i> sp.	<i>Ulva rigida</i>	<i>Padina pavonica</i>	<i>Spermatochnus paradoxus</i>	<i>Phyllophora</i> sp. + <i>Corallina</i> sp.	<i>Cladostephus spongiosus</i>	<i>Cladophora</i> sp.	<i>Zostera</i> sp.
<i>Cumella (Cumella) limicola</i> Sars, 1879	–	–	–	–	–	<u>110</u> 0,0011	–	<u>104</u> 0,006
<i>Dexamine spinosa</i> (Montagu, 1813)	<u>352</u> 0,304	<u>28</u> 0,006	<u>343</u> 0,076	–	–	–	<u>282</u> 0,054	–
<i>Dynamene bidentata</i> (Adams, 1800)	<u>7</u> 0,001	–	<u>14</u> 0,021	–	<u>223</u> 0,27	<u>164</u> 0,058	–	–
<i>Echinogammarus foxi</i> (Schellenberg, 1928)	<u>2</u> 0,0005	–	<u>0</u> 0	–	<u>0</u> 0	<u>2329</u> 0,238	–	–
<i>Erichthonius difformis</i> M.-Edwards, 1830	<u>168</u> 0,009	<u>1045</u> 0,121	<u>173</u> 0,014	–	<u>1914</u> 0,573	–	–	–
<i>Hippolyte leptocerus</i> (Heller, 1863)	<u>25</u> 0,07	–	<u>36</u> 0,08	<u>15</u> 0,067	<u>16</u> 0,136	<u>55</u> 0,216	–	–
<i>Iphinoe elisae</i> Băcescu, 1950	–	–	–	–	–	–	–	<u>43</u> 0,006
<i>Plumulojassa ocia</i> (Spence Bate, 1862)	–	–	–	–	<u>80</u> 0,005	–	–	<u>26</u> 0,003
<i>Microdeutopus gryllotalpa</i> Costa, 1853	<u>3</u> 0,001	<u>194</u> 0,097	<u>584</u> 0,295	<u>287</u> 0,026	<u>558</u> 0,298	<u>1562</u> 0,504	<u>65</u> 0,02	–
<i>Nannastacus euxinicus</i> Băcescu, 1951	<u>21</u> 0,002	<u>45</u> 0,002	–	–	<u>32</u> 0,002	<u>82</u> 0,008	<u>65</u> 0,004	–
<i>Orchestia</i> sp.	–	–	–	<u>15</u> 0,214	–	–	–	–
<i>Pseudoprotella phasma</i> (Montagu, 1804)	<u>14</u> 0,003	–	–	–	–	–	–	–
<i>Siriella jaltensis</i> Czerniavsky, 1868	<u>2</u> 0,005	–	–	–	–	–	–	–
<i>Stenothoe monoculoides</i> (Montagu, 1813)	<u>632</u> 0,035	<u>23</u> 0,001	<u>57</u> 0,003	–	<u>144</u> 0,008	<u>110</u> 0,011	–	<u>9</u> 0,001
<i>Stenosoma capito</i> (Rathke, 1836)	<u>30</u> 0,061	–	<u>7</u> 0,008	–	<u>16</u> 0,065	<u>301</u> 0,562	–	<u>43</u> 0,097
<b>Итого</b>	<b><u>5055</u></b> <b>1,197</b>	<b><u>1812</u></b> <b>0,54</b>	<b><u>3890</u></b> <b>1,071</b>	<b><u>592</u></b> <b>0,332</b>	<b><u>3397</u></b> <b>1,435</b>	<b><u>8493</u></b> <b>2,004</b>	<b><u>4099</u></b> <b>0,695</b>	<b><u>1050</u></b> <b>0,317</b>
Chironomidae	<u>77</u> 0,129	–	–	–	–	–	<u>54</u> 0,011	–

Таблица 2

Коэффициент сходства видов макрозооэпифитона, обитающих на разных макрофитах акватории б. Круглой

Вид	<i>Cystoseira</i> sp.	<i>Padina pavonica</i>	<i>Spermatochnus paradoxus</i>	<i>Cladostephus spongiosus</i>
<i>Cystoseira</i> sp.	0	0,64	0,36	0,62
<i>Padina pavonica</i>	0,64	0	0,57	0,69
<i>Spermatochnus paradoxus</i>	0,36	0,57	0	0,52
<i>Cladostephus spongiosus</i>	0,62	0,69	0,52	0
<i>Ulva rigida</i>	0,5	0,71	0,43	0,47
<i>Cladophora</i> sp.	0,55	0,53	0,46	0,42
<i>Phyllophora</i> sp.+ <i>Corallina</i> sp.	0,63	0,76	0,48	0,83
<i>Zostera</i> sp.	0,47	0,53	0,47	0,59
Вид	<i>Ulva rigida</i>	<i>Cladophora</i> sp.	<i>Phyllophora</i> sp. + <i>Corallina</i> sp.	<i>Zostera</i> sp.
<i>Cystoseira</i> sp.	0,5	0,55	0,63	0,47
<i>Padina pavonica</i>	0,71	0,53	0,76	0,53
<i>Spermatochnus paradoxus</i>	0,43	0,46	0,48	0,47
<i>Cladostephus spongiosus</i>	0,47	0,42	0,83	0,59
<i>Ulva rigida</i>	0	0,55	0,69	0,48
<i>Cladophora</i> sp.	0,55	0	0,51	0,33
<i>Phyllophora</i> sp.+ <i>Corallina</i> sp.	0,69	0,51	0	0,51
<i>Zostera</i> sp.	0,48	0,33	0,51	0

*Количественное развитие.* Максимальная численность донных животных отмечена на водоросли *C. spongiosus* (11588 экз./кг), биомасса — на *Cystoseira* sp. (26 г/кг). По численности преобладают ракообразные (69 %), по биомассе — моллюски (89 %). Ранее основная часть биомассы также принадлежала моллюскам [Маккавеева, 1975].

Средняя численность Mollusca в сообществах макрофитов варьировала от 296 экз./кг (на зостере) до 3818 экз./кг (на кладофоре). Биомасса изменялась от 3,07 г/кг в ассоциации *Phyllophora* sp. + *Corallina* sp. до 24,92 г/кг цистозеры. Основной вклад в формирование этих показателей на всех макрофитах вносят Gastropoda (87 % общей численности и 93 % биомассы) с доминированием *B. reticulatum*. Максимальные значения количественных параметров Mollusca отмечены в зарослях бурых водорослей при численности 6094 экз./кг и биомассе 67,55 г/кг (рис. 1).

Плотность поселения и биомасса моллюсков, обнаруженных на зелёных водорослях, в 1,5 и 2,6 раза ниже по сравнению с количественными показателями моллюсков, обитающих на бурых водорослях. Ранжированный ряд как по численности, так и по биомассе возглавляет *B. reticulatum* (6594 экз./кг; 44,9 г/кг). Далее следуют *R. splendida* (1311 экз./кг; 26,2 г/кг), *T. pullus* (1229 экз./кг; 17,03 г/кг) и *M. lineatus* (1263 экз./кг; 5,1 г/кг).

Средняя численность Arthropoda в сообществах макрофитов варьировала от 592 экз./кг (на *S. paradoxus*) до 8493 экз./кг (на *C. spongiosus*). Биомасса изменялась от 0,317 г/кг в зарослях зостеры до 2,004 г/кг на *C. spongiosus*. Основной вклад в формирование этих показателей вносят Amphipoda: 83 % общей численности и 71 % биомассы Malacostraca. Наибольшие значения количественных параметров отмечены для высших ракообразных, обитающих на бурых водорослях (18030 экз./кг и 4,6 г/кг). Плотность поселения и биомасса Crustacea в биоценозах зелёных и красных водорослей в среднем в 3–4 раза ниже (рис. 1).

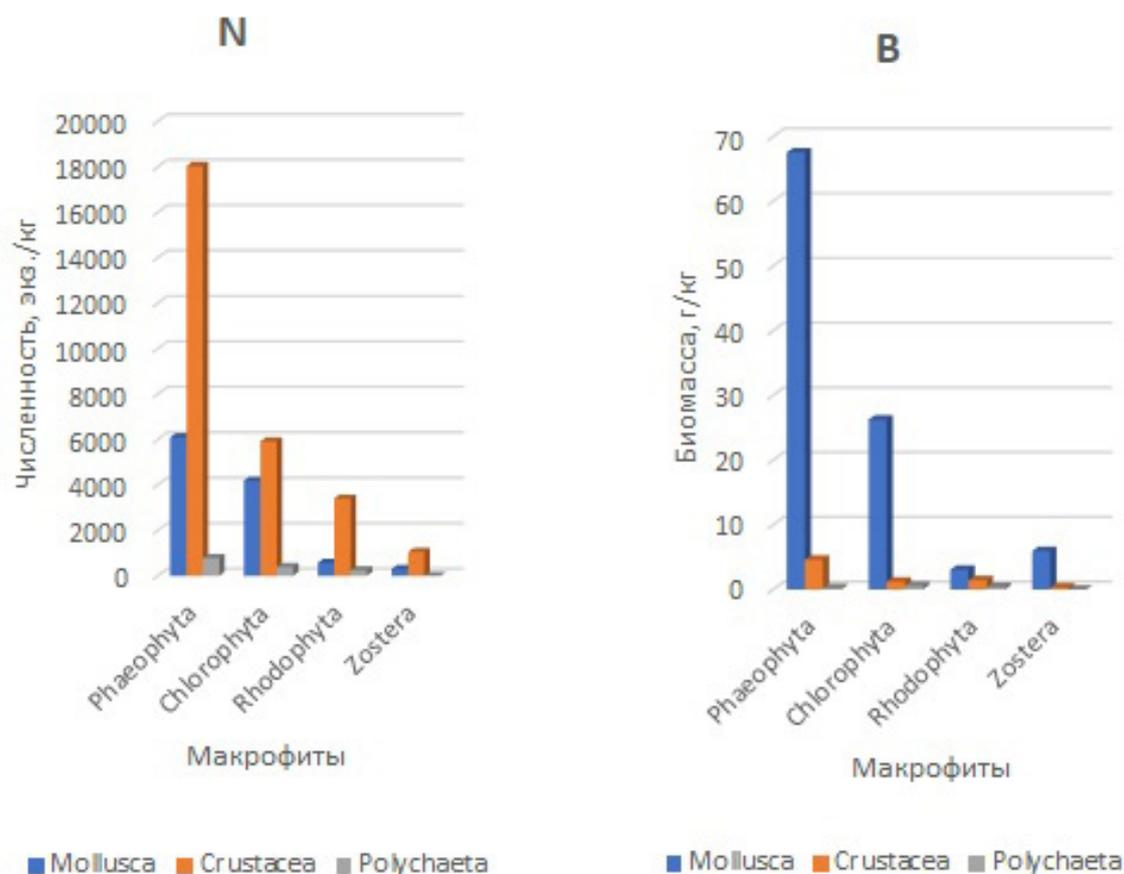


Рис. 1. Средние численность (N) и биомасса (B) макрозооэпифитона в зарослях макрофитов

Основную роль в формировании количественных показателей играет *C. acanthifera ferox* (8980 экз./кг). Интересно отметить, что эти показатели на талломах *C. spongiosus* и *Cladophora* sp. превосходили таковые в зарослях цистозеры в 1,5–2 раза. *C. acanthifera ferox* формирует 40 % общей численности Malacostraca, обнаруженных на зостере. Из всех ракообразных, обитающих на макрофитах, *Ch. savignyi* является также одним из самых многочисленных видов (3457 экз./кг). Численность его ранее достигала 20000 экз./кг цистозеры [Маккавеева, Нейферт, 1966]. В зарослях филлофоры и морских трав танаидовый рак тоже является массовым видом. В бентосных пробах 2010 г. наибольшая плотность поселения этого рака отмечена на *C. spongiosus* (1397 экз./кг), далее следуют *Cystoseira* sp. (994 экз./кг) и *Cladophora* sp. (325 экз./кг). Несмотря на высокую численность, биомасса *Ch. savignyi* невелика, поскольку они очень мелки (до 5 мм). Этот показатель изменяется в пределах от 0,003 г/кг зостеры до 0,23 г/кг в эпифитоне *C. spongiosus*. В ранжированном ряду по биомассе танаидового рака цистозира стоит на втором месте (0,08 г/кг). *E. difformis* доминирует (0,57 г/кг) в зарослях филлофоры и кораллины, *M. gryllotalpa* (0,5 г/кг) — в эпифитоне кладостефуса. Численность и биомасса ракообразных, обнаруженных на морской траве рода *Zostera*, на порядок ниже, чем в зарослях водорослей. По-видимому, одна из причин — степень разветвления талломов и различное содержание в них минеральных веществ, так как водоросли получают необходимые минеральные вещества из окружающей среды, а морские травы получают их из донных осадков, укореняясь в рыхлых субстратах [Маккавеева, 1979].

Средняя численность полихет в сообществах макрофитов варьировала от 103 экз./кг (на *U. rigida*) до 529 экз./кг (на *P. pavonica*). Биомасса изменялась от 0,052 г/кг в зарослях ульвы до 0,537 г/кг на кладофоре. Основной вклад в формирование численности вносят nereиды (1051 экз./кг), а биомассы — относительно крупный вид *P. pictus* (0,39 г/кг). Большое количество nereид связано с периодом их размножения, поэтому они представлены мелкими молодыми особями. Наибольший показатель плотности отмечен у полихет, обитающих в ассоциации бурых водорослей (784 экз./кг), а биомассы — у особей, обнаруженных в сообществе зелёных водорослей (0,589 г/кг) (рис. 1).

Наибольшая численность зооэпифитона отмечена в зарослях бурых водорослей, в частности на *C. spongiosus* (11588 экз./кг) (рис. 2).

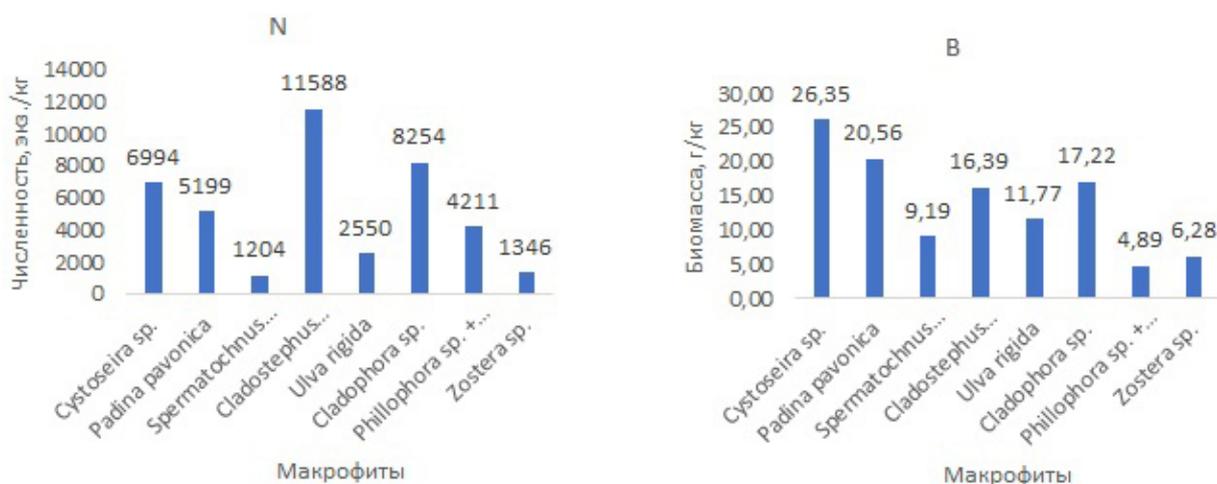


Рис. 2. Количественные показатели эпифитона (N — численность, B — биомасса), обитающего на разных видах макрофитов акватории б. Круглой

Самая высокая биомасса макрозооэпифитона также отмечена в сообществе бурых водорослей, но уже на представителях рода *Cystoseira* (26,35 г/кг). Сравнительный анализ показал, что наши данные по количественным показателям макроэпифитона цистозеры идентичны таковым, полученным в 70-х годах прошлого столетия. Так, среднегодовая численность варьировала от 6000 до 13000 экз./кг, биомасса достигала 20 г/кг [Макавеева, 1979], в наших пробах плотность поселения донной макрофауны составила 6994 экз./кг, биомасса — 26,35 г/кг.

На основании ИФО выделены следующие сообщества: в эпифитоне *Cystoseira sp.*, *P. pavonica*, *Phyllophora sp.* + *Corallina sp.*, *C. spongiosus*, *Cladophora sp.* — сообщество брюхоногого моллюска *B. reticulatum* (25,3; 28,6; 3,3; 28,9 и 58,1 соответственно), в эпифитоне *U. rigida*, *S. paradoxus* — сообщество гастроподы *R. splendida* (21,1 и 11,1 соответственно), в эпифитоне *Zostera sp.* — сообщество хитона *L. cinerea* (5,2).

В бентосных пробах, собранных в 2015 г., в эпифитоне водорослей *Cystoseira crinita* Duby, 1830 в акватории б. Круглой обнаружено 6 видов Mollusca, 3 вида Polychaeta и 9 видов Crustacea [Макаров и др., 2020]. Представленный выше список видов (табл. 1) можно дополнить полихетами *Alitta succinea* (Leuckart, 1847) и *Hediste diversicolor* (O.F. Müller, 1776), амфиподой *Biancolina algicola* Della Valle, 1893, брюхоногим моллюском *Parthenina interstincta* (J. Adams, 1797). Данный вид гастроподы в эпифитоне *Cystoseira sp.* крымского побережья отмечен впервые.

*Трофическая структура.* Население сообществ макрофитов обладает широким пищевым спектром: фитофаги, детритофаги, полифаги, плотоядные и эктопаразиты. Детрито- и фитофаги составляют 33 и 30 % соответственно, на долю полифагов приходится 24 % общего количества видов макрозооэпифитона (рис. 3).

Видовой состав зооэпифитона в зарослях цистозеры более чем на 60 % представлен фито- и детритофагами, тогда как в биоценозе *S. paradoxus* представители данной трофической группировки составляют всего лишь 18 % от общего количества видов, обнаруженных на исследованных макрофитах (рис. 4).

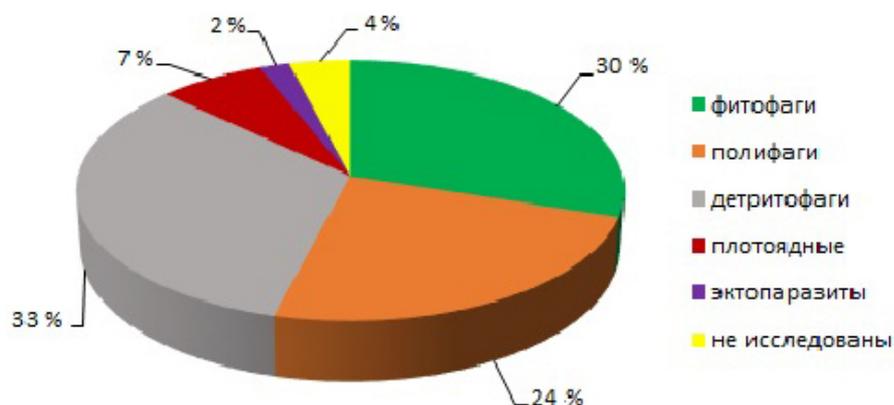


Рис. 3. Трофическая структура зооэпифитона сообществ макрофитов акватории б. Круглой

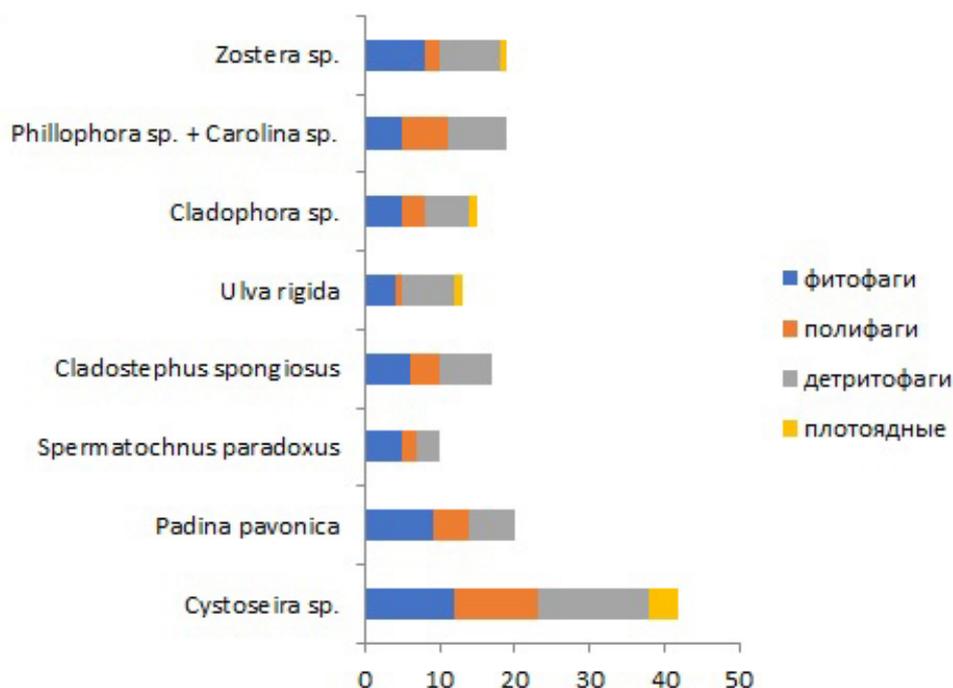
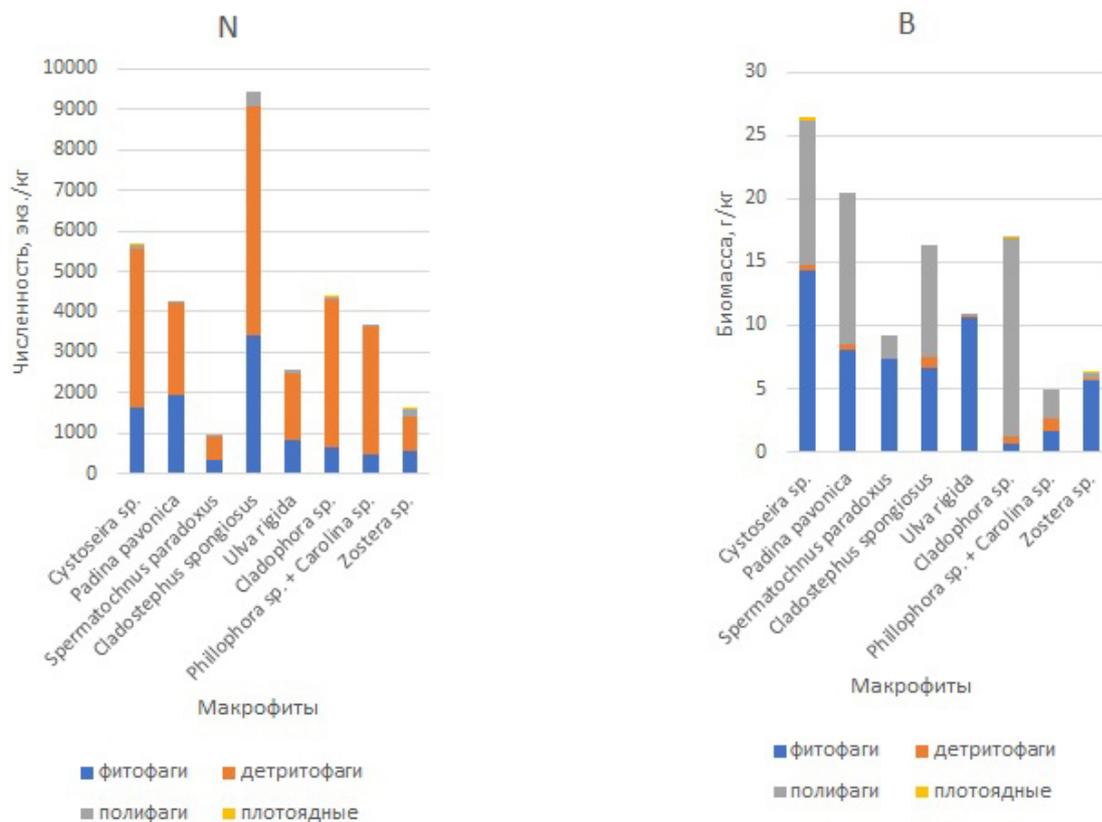


Рис. 4. Представленность трофических группировок в зарослях разных макрофитов акватории б. Круглой

Плотность поселения детритофагов была наивысшей в зарослях всех видов макрофитов (рис. 5) и составляла от 44 до 76 % их численности. Сформирован данный показатель ракообразными.



**Рис. 5.** Количественные показатели трофических группировок эпифитона (N — численность, B — биомасса) в зарослях макрофитов

По биомассе доминировали фито- и полифаги. Основная роль в формировании этого показателя принадлежит моллюскам.

Известно, что на распределение видов в сообществах макрофитов определённое действие оказывает их химический состав. Зелёные водоросли обладают высокой способностью продуцировать органические вещества, столь необходимые для жизнедеятельности животных: до 72 % сухой массы слоевища ульвы составляют углеводы [Бойко и др., 1978]. Наибольшее количество белка отмечено в талломах красных водорослей (до 27 % сухой массы). Но они накапливают полифенольные и фенольные вещества, многие из этих соединений ядовиты для животных [Титлянов, Титлянова, Белоус, Полезные вещества морских красных ... , 2011]. Видимо, поэтому численность макрозооэпифитона в зарослях этих водорослей не столь высока по сравнению с бурными и зелёными (рис. 2). Бурные водоросли также обогащены белками, углеводами, но характеризуются низким содержанием жиров [Титлянов, Титлянова, Белоус, Полезные вещества морских бурых ... , 2011]. Зостера по составу органических веществ близка к зелёным водорослям. Если учесть, что животные, обитающие на макрофитах, питаются в основном обростом и молодыми побегами растений, то сложно связывать химический состав макрофитов с видовым разнообразием и количественными параметрами обитающих в их зарослях животных. Представленность разных таксономических группировок макрозооэпифитона на талломах макрофитов, относящихся к одному

и тому же отделу и имеющих одинаковый химический состав, может быть разной. К примеру, в зарослях бурых водорослей представители Polychaeta присутствуют только на *Cystoseira* sp. и *P. pavonica*, тогда как на *S. paradoxus* и *C. spongiosus* они не были обнаружены.

По-видимому, существенную роль в распределении видов играет разветвлённость слоевища макрофитов, создавая для обитателей большое количество экологических ниш, дополнительную поверхность для прикрепления животных и их пищи [Маккавеева, 1979]. При равных условиях в зарослях более разветвлённых макрофитов не только видовое разнообразие больше, но и количественные показатели. Разветвлённость слоевища особое влияние оказывает на ту часть животных, которые питаются диатомовыми обрастаниями. Показано, что на прибрежной цистозире в Чёрном море среднегодовая биомасса диатомового оброста составляла 300 г/кг, а фитофагов — 50 г/кг, тогда как на менее разветвлённой филлофоре оброста в 4 раза, а фитофагов в 2,5 раза меньше [Маккавеева, 1979]. Степень разветвления талломов цистозир, которая определяется коэффициентом приведенной удельной поверхности, в среднем превышает таковую падины в 6 раз, а ульвы — почти в 3 раза [Оскольская, Бондаренко, Тимофеев, 2006]. Видимо, поэтому наибольшие количественные показатели отмечены в зарослях представителей рода *Cystoseira*.

### Выводы

Эпифитон макрофитов акватории бухты Круглой представлен семью таксономическими группами: Polyplacophora, Gastropoda, Bivalvia, Crustacea, Polychaeta, Platyhelminthes, Chironomidae. В целом в зарослях макрофитов акватории б. Круглой обнаружены 48 видов макрозооэпифитона. Наибольшее их количество идентифицировано на цистозире (32).

Коэффициент общности видов, обитающих на макрофитах разных родов, варьирует в пределах 0,33–0,83.

Численность макрозообентоса изменялась от 1204 до 11588 экз./кг, биомасса — от 4,9 до 26,4 г/кг. Максимальная численность донных животных отмечена на водоросли *C. spongiosus* (11588 экз./кг), биомасса — на *Cystoseira* sp. (26,4 г/кг). Значительный вклад в формирование численности вносят ракообразные (69 % общей численности макрозообентоса), биомассы — моллюски (89 % общей биомассы). Наибольшая численность и биомасса отмечены в зарослях бурых водорослей.

В эпифитоне *Cystoseira* sp., *P. pavonica*, *Phyllophora* sp. + *Corallina* sp., *C. spongiosus*, *Cladophora* sp. выделено сообщество брюхоногого моллюска *B. reticulatum*, в эпифитоне *U. rigida*, *S. paradoxus* — сообщество гастроподы *R. splendida*, в эпифитоне *Zostera* sp. — сообщество хитона *L. cinerea*.

Представители макрозообентоса обладают широким пищевым спектром: фитофаги, детритофаги, полифаги, плотоядные и эктопаразиты. Детрито- и фитофаги составляют 33 и 30 % соответственно, на долю полифагов приходится 24 % общего количества видов макрозооэпифитона. По численности доминируют детритофаги, по биомассе — фитофаги.

**Благодарность.** Авторы выражают благодарность кандидату биологических наук научному сотруднику отдела экологии бентоса ФГБУН ФИЦ ИнБЮМ В. А. Тимофееву за помощь в сборе материала и кандидату биологических наук научному сотруднику отдела биотехнологий и фиторесурсов ФГБУН ФИЦ ИнБЮМ В. В. Александрову за консультации в определении макрофитов.

### Список литературы

1. Бойко Л. И., Громов В. В., Калугина-Гутник А. А., Медведева Е. И., Панченко К. А., Петренко Е. Б. Сезонная динамика биомассы, продукции и биохимического состава водоросли *Ulva rigida* AG в Чёрном море // Растительные ресурсы. – 1978. – Т. 14. – С. 540–546.
2. Водяницкий В. А. О естественноисторическом районировании Чёрного моря и в частности у берегов Крыма // Труды Севастопольской биологической станции им. А. О. Ковалевского. – Москва ; Ленинград : Изд-во АН СССР, 1949. – Т. 7. – С. 249–255.
3. Грезе И. И. Амфиподы Чёрного моря и их биология. – Киев : Наук. думка, 1977. – 156 с.
4. Грезе И. И. Бокоплавы / ред. В. И. Монченко. – Киев : Наук. думка, 1985. – 172 с. – (Фауна Украины ; т. 26, вып. 5).
5. Заика В. Е., Коновалов С. К., Сергеева Н. Г. Локальные и сезонные явления гипоксии на дне севавтопольских бухт и их влияние на макробентос // Морской экологический журнал. – 2011. – Т. 10, № 3. – С. 15–25.
6. Зернов С. А. К вопросу об изучении жизни Чёрного моря. – Санкт-Петербург : тип. Акад. наук, 1913. – 299 с. – (Записки Академии наук по Физико-математическому отделению ; т. 32, № 1).
7. Зинова А. Д. Определитель зелёных, бурых и красных водорослей южных морей СССР / АН СССР, Ботан. ин-т им. В. Л. Комарова. – Москва ; Ленинград : Наука, 1967. – 399 с.
8. Киселёва Г. А., Коновалов В. С., Лапченко А. А., Колова К. А. Видовой состав и динамика макрозообентоса в ассоциациях водорослей Карадагского природного заповедника // Экосистемы, их оптимизация и охрана. – 2009. – Вып. 20. – С. 57–66.
9. Киселёва Г. А., Заклецкий А. А., Ширинская С. Э. Макрозообентос в ассоциациях цистозеры прибрежной сублиторали и островов Скалы-Корабли в Опукском природном заповеднике // Геополитика и экогеодинамика регионов. – 2014. – Т. 10, № 1. – С. 613–618.
10. Киселёва М. И. Многочетинковые черви (Polychaeta) Чёрного и Азовского морей. – Апатиты : Изд-во Кол. науч. центра РАН, 2004. – 409 с.
11. Киселёва Г. А. Современное состояние макрозообентоса в ассоциациях макрофитов Карадагского природного заповедника (2001–2012 гг.) // 100 лет Карадагской научной станции им. Т. И. Вяземского : сб. науч. тр. / Карадаг. природ. заповедник, Ин-т мор. биол. исслед. им. А. О. Ковалевского РАН ; под ред. А. В. Гаевской, А. Л. Морозовой. – Симферополь : Н. Оріанда, 2015. – С. 572–583.
12. Ковардаков С. А., Празукин А. В. Структурно-функциональные характеристики донного фитопланктона бухты Круглой (Севастополь) // Экосистемы, их оптимизация и охрана. – 2012. – Вып. 7 (26). – С. 138–148.
13. Колесникова Е. А., Мазлумян С. А. Динамика распределения эпифитона прибрежных зарослей цистозеры в бухте Омега (район Севастополя) // Акватория и берега Севастополя: экосистемные процессы и услуги обществу / НАН Украины, Ин-т биологии юж. морей им. А. О. Ковалевского ; отв. ред. Е. В. Павлова, Н. В. Шадрин. – Севастополь : Аквавита, 1999. – С. 221–228.
14. Макаров М. В., Копий В. Г., Бондаренко Л. В., Витер Т. В., Подзорова Д. В. Макрозообентос зарослей водорослей *Cystoseira crinita* Duby, 1830 у берегов Крыма и Кавказа (Чёрное море) // Учёные записки Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2020. – Т. 6 (72), № 3. – С. 97–116. – <https://doi.org/10.37279/2413-1725-2020-6-3-97-116>
15. Макаров М. В., Ковалёва М. А. Структура таксоцены Mollusca на естественных твёрдых субстратах в акваториях охраняемых районов Крыма // Экосистемы. – 2017. – Вып. 9. – С. 20–24.
16. Маккавеева Е. Б. Беспозвоночные зарослей макрофитов Чёрного моря. – Киев : Наук. думка, 1979. – 229 с.

17. *Маккавеева Е. Б.* Роль брюхоногих моллюсков в продукции биоценозов морских макрофитов // Моллюски, их система, эволюция и роль в природе : автореф. докл. / под ред. И. М. Лихарева. – Ленинград : Наука, 1975. – С. 106–107.
18. *Маккавеева Е. Б.* Экология клешненосных осликов (Anisopoda) и равноногих раков (Isopoda) в Чёрном море // Вестник зоологии. – 1992. – № 5. – С. 46–50.
19. *Маккавеева Е. Б., Нейферт А. В.* Экология Anisopoda в Чёрном море // Распределение бентоса и биология донных животных в южных морях : респ. межвед. сб. / редкол.: В. А. Водяницкий [и др.]. – Киев : Наук. думка, 1966. – С. 46–54.
20. *Мальцев В. И.* О возможности применения показателя функционального обилия для структурных исследований зооценозов // Гидробиологический журнал. – 1990. – Т. 26, № 1. – С. 87–89.
21. *Мильчакова Н. А.* Макрофитобентос // Современное состояние биоразнообразия прибрежных вод Крыма (черноморский сектор) / НАН Украины, Ин-т биологии юж. морей ; под ред. В. Н. Еремеева, А. В. Гаевской. – Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003. – С. 152–208.
22. *Миронова Н. В., Панкеева Т. В.* Пространственное распределение запасов макрофитов в бухте Круглой (Чёрное море) // Экосистемы. – 2019. – Вып. 19 (49). – С. 16–26.
23. Определитель фауны Чёрного и Азовского морей. Свободноживущие беспозвоночные : в 3 т. / АН УССР, Ин-т биологии юж. морей ; под общ. рук. Ф. Д. Мордухай-Болтовского. – Киев : Наук. думка, 1968–1972. – 3 т.
24. *Оскольская О. И., Бондаренко Л. В., Тимофеев В. А.* Морфофизиологический отклик представителей бентосного сообщества бухты Казачья (Западный Крым) на условия обитания // Проблемы устойчивого функционирования водных и наземных экосистем: материалы междунар. науч. конф., Ростов-на-Дону, 9–12 окт. 2006 г. / редкол.: С. И. Дудкин [и др.]. – Ростов-на-Дону : Ростиздат, 2006. – С. 306–309.
25. *Панкеева Т. В., Миронова Н. В., Новиков Б. А.* Картографирование донной растительности бухты Круглая (г. Севастополь, Чёрное море) // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. – 2019. – № 3. – С. 61–71. – <https://doi.org/10.22449/2413-5577-2019-3-61-71>
26. *Резниченко О. Г.* Фауна зарослей цистозиры Чёрного моря // Труды института океанологии / АН СССР, Ин-т океанологии им. П. П. Ширшова. – Москва : Изд-во Акад. наук, 1957. – Т. 23. – С. 185–194.
27. *Реймерс Н. Ф.* Основные биологические понятия и термины. – Москва : Просвещение, 1988. – 319 с.
28. Санитарно-биологические исследования прибрежных акваторий юго-западного Крыма в начале XXI века / Ин-т мор. биол. исслед. им. А. О. Ковалевского РАН ; отв. ред.: О. Г. Миронов, С. В. Алёмов. – Симферополь : АРИАЛ, 2018. – 276 с.
29. *Сёмкин Б. И., Гориков М. В.* Об оценке сходства и различия в серии флористических и фитоценологических описаний // Комаровские чтения. – 2010. – Вып. 57. – С. 203–220.
30. *Титлянов Э. А., Титлянова Т. В., Белоус О. С.* Полезные вещества морских бурых макроводорослей: химическое строение, физико-химические свойства, содержание, использование // Известия ТИНРО. – 2011. – Т. 164. – С. 416–431.
31. *Титлянов Э. А., Титлянова Т. В., Белоус О. С.* Полезные вещества морских красных водорослей (Rhodophyta): химическая структура и содержание // Известия ТИНРО. – 2011. – Т. 165. – С. 305–319.
32. *Хайлов К. М.* Экологический метаболизм в море. – Киев : Наук. думка, 1971. – 252 с.
33. *Чухчин В. Д.* Экология брюхоногих моллюсков Чёрного моря. – Киев : Наук. думка, 1984. – 176 с.

34. Grintsov V., Sezgin M. Manual for identification of Amphipoda from the Black Sea. – Sevastopol : Digit print, 2011. – 151 p.
35. WoRMS. World Register of Marine Species : [website]. – [20??] – URL: <http://www.marinespecies.org> (date of access: 12.05.2021).

## FAUNA OF THE KRUGLAYA BAY (THE BLACK SEA, CRIMEA).

### PART 1. EPIPHYTON OF MACROPHYTES

Makarov M. V., Bondarenko L. V., Kopyi V. G.

A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russian Federation,  
e-mail: [mihaliksevast@inbox.ru](mailto:mihaliksevast@inbox.ru)

**Abstract:** The study of macrozoobenthos in epiphyton of macrophytes of various genera was carried out: *Cystoseira* sp., *Ulva rigida* C. Agardh, 1823, *Padina pavonica* Linnaeus (Thivy), 1960, *Spermatochnus paradoxus* (Roth) Kutzig, 1843, *Phyllophora* sp. + *Corallina* sp., *Cladostephus spongiosus* (Hudson) C. Agardh, 1817, *Cladophora* sp. and *Zostera* sp. Epiphyton of macrophytes in the water area of Kruglaya bay is represented by 7 taxonomic groups: Polyplacophora, Gastropoda, Bivalvia, Crustacea, Polychaeta, Platyhelminthes, Chironomidae. The previously insufficiently studied epiphytic communities of *P. pavonica*, *U. rigida*, *Cladophora* sp., *S. paradoxus*, and *C. spongiosus* are represented by a rich species composition and quantitative characteristic of animals living in them. In the associations of macrophytes of the water area Kruglaya bay, 48 species of benthic macrofauna were found. The abundance of macrozoobenthos varied from 1204 to 11588 ind./kg, biomass — from 4,9 to 26,4 g/kg. The maximum abundance of benthic animals was recorded on the alga *C. spongiosus*, and the biomass on *Cystoseira* sp. The trophic structure of macrophyte communities is represented by phytophages, detritus, polyphages, carnivores and ectoparasites, as well as species with an unknown nutritional spectrum. By the number of species and abundance, detritivores predominate, but phytophages in terms of biomass.

**Keywords:** epiphyton, abundance, biomass, communities, trophic structure.

#### Сведения об авторах

Макаров Михаил Валериевич	кандидат биологических наук, научный сотрудник ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН», <a href="mailto:mihaliksevast@inbox.ru">mihaliksevast@inbox.ru</a>
Бондаренко Людмила Васильевна	младший научный сотрудник ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН», <a href="mailto:bondarenko.luda@gmail.com">bondarenko.luda@gmail.com</a>
Копий Вера Георгиевна	кандидат биологических наук, старший научный сотрудник ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН», <a href="mailto:verakopyi@gmail.com">verakopyi@gmail.com</a>

Поступила в редакцию 04.06.2021 г.

Принята к публикации 15.03.2022 г.

УДК [597.556.31-111.1:542.943](262.5+262.54)

DOI: [10.21072/ecco.2022.21.03](https://doi.org/10.21072/ecco.2022.21.03)

## ПОЛОВЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРООКСИДАНТНО-АНТИОКСИДАНТНОЙ СИСТЕМЫ КРОВИ БЫЧКА-КРУГЛЯКА *NEOGOBIOUS MELANOSTOMUS* (PALLAS, 1814) ИЗ ЧЁРНОГО И АЗОВСКОГО МОРЕЙ\*

Сигачева Т. Б.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», г. Севастополь,  
Российская Федерация,  
e-mail: [mtk.fam@mail.ru](mailto:mtk.fam@mail.ru)

**Аннотация:** Проведён анализ показателей прооксидантно-антиоксидантной системы (активности каталазы (КАТ), супероксиддисмутазы (СОД), пероксидазы (ПЕР), глутатионредуктазы (ГР), глутатион-трансферазы (ГТ) и содержания продуктов окислительной модификации белков (ОМБ)) крови разнополых особей бычка-кругляка *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814) из прибрежных районов Чёрного (г. Севастополь) и юго-западной части Азовского морей. Установлены снижение активности КАТ, СОД (в 1,3–2 раза) и увеличение содержания продуктов ОМБ в крови самцов из севастопольских акваторий по сравнению с аналогичными показателями самок. У рыб из Азовского моря межполовые различия были выражены слабо. Анализ биомаркеров крови однополых рыб из двух морей показал более высокий уровень ОМБ и низкую активность КАТ, СОД и ГТ в крови самцов бычка-кругляка из Чёрного моря. Полученные результаты позволяют рекомендовать проведение биоиндикационных исследований с применением показателей прооксидантно-антиоксидантной системы крови бычка-кругляка на особях одного пола, предпочтительно на самцах.

**Ключевые слова:** бычок-кругляк, кровь, активность антиоксидантных ферментов, уровень окислительной модификации белков, Чёрное море, Азовское море.

### Введение

Одним из перспективных направлений, позволяющих получить адекватную информацию о статусе морских акваторий, является оценка состояния рыб с использованием неспецифических параметров прооксидантно-антиоксидантной системы, реагирующих на действие любых достаточно сильных стресс-факторов. Необходимым условием проведения биоиндикационных исследований является унификация выборки, позволяющая исключить влияние физиологического состояния особей на анализируемые биомаркеры. Согласно литературным данным, соотношение прооксидантно-антиоксидантных реакций в тканях самок и самцов некоторых видов рыб могут в значительной степени отличаться [Руднева, 2000; Руднева, Скуратовская, 2009], что обусловлено особенностями строения половых гормонов — эстрогенов и тестостерона [Persky et al., 2000]. Таким образом, изучение особенностей прооксидантно-антиоксидантной системы крови самок и самцов бычка-кругляка позволяет определить особенности ответных реакций особей разного пола на действие неблагоприятных факторов среды, а также параметры унификации выборки для проведения биоиндикационных исследований с применением вышеперечисленных биомаркеров крови этого вида [Руднева, Скуратовская, 2009].

В связи с этим цель работы — изучить активность некоторых антиоксидантных (АО) ферментов и содержание продуктов окислительной модификации белков (ОМБ) в крови разнополых особей бычка-кругляка из прибрежных районов Чёрного (г. Севастополь) и юго-западной части Азовского морей.

---

\* Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме: «Закономерности формирования и антропогенная трансформация биоразнообразия и биоресурсов Азово-Черноморского бассейна и других районов Мирового океана», регистрационный № 121030100028-0.

## Материалы и методы

Ихтиологический материал — бычок-кругляк *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814), был получен в прибрежных районах Чёрного моря (г. Севастополь) (139 экз.) и юго-западной части Азовского моря (183 экз.) в 2003 г. В ходе биологического анализа определяли размерно-массовые характеристики рыб, пол и стадию зрелости гонад. Возраст рыб определяли по отолитам [Правдин, 1966]. Основная масса рыб была отобрана весной и летом, что соответствовало преднерестовой и нерестовой стадиям репродуктивного цикла. В уловах доминировали возрастные группы 1+ и 2+.

Материалом исследований служила кровь рыб, отобранная из хвостовой артерии. В гемолизатах крови определяли активность пяти АО-ферментов (каталазы (КАТ), супероксиддисмутазы (СОД), пероксидазы (ПЕР), глутатионредуктазы (ГР) и глутатионтрансферазы (ГТ)) методами, описанными нами ранее [Kovyrshina, Rudneva, 2018]. В сыворотке крови анализировали уровень ОМБ по реакции взаимодействия окисленных аминокислотных остатков белков с 2,4-динитрофенилгидразином. Оптическую плотность образовавшихся 2,4-динитрофенилгидразонов регистрировали при следующих длинах волн ( $\lambda$ ): при 356 и 370 нм — альдегидные ( $C_{356}$ ) и кетонные ( $C_{370}$ ) продукты нейтрального характера, при 430 и 530 нм — альдегидные ( $C_{430}$ ) и кетонные ( $C_{530}$ ) продукты основного характера [Дубинина и др., 1995]. Все биохимические показатели определяли на спектрофотометре Spocol-211 (Carl Zeiss, Jena, Germany).

Статистический анализ данных осуществляли с использованием t-критерия Стьюдента. Результаты считали достоверными в случае, если  $p \leq 0,05$  [Лакин, 1990].

## Результаты и обсуждение

Сравнительный анализ активности АО-ферментов крови разнополых особей бычка-кругляка из районов исследования в Чёрном и Азовском морях позволил установить более низкую активность отдельных ферментов в эритроцитах крови самцов бычка-кругляка по сравнению с таковой у самок. Активность КАТ ( $p \leq 0,01$ ) и СОД ( $p \leq 0,01$ ) была достоверно ниже в эритроцитах крови самцов из севастопольских акваторий, а ПЕР ( $p \leq 0,001$ ) — у самцов из юго-западной части Азовского моря (табл. 1).

Таблица 1

Активность антиоксидантных ферментов (мг гемоглобина / мин,  $M \pm m$ ) в крови разнополых особей бычка-кругляка из Чёрного и Азовского морей

пол	n	КАТ, мг $H_2O_2$	СОД, усл. ед.	ПЕР, опт. ед.	ГР, нмоль НАДФН	ГТ, нмоль конъюгата
<b>Чёрное море</b>						
самки	28	0,65 $\pm$ 0,06	320,20 $\pm$ 61,19	10,20 $\pm$ 1,44	8,21 $\pm$ 1,65	69,52 $\pm$ 44,43
самцы	130	0,49 $\pm$ 0,02*	148,80 $\pm$ 13,58*	11,83 $\pm$ 0,94	5,28 $\pm$ 0,71	19,24 $\pm$ 1,91
<b>Азовское море</b>						
самки	121	<b>0,84 <math>\pm</math> 0,03</b>	462,80 $\pm$ 65,01	<b>6,59 <math>\pm</math> 0,46</b>	7,71 $\pm$ 0,96	45,89 $\pm$ 5,93
самцы	48	<b>0,94 <math>\pm</math> 0,06</b>	<b>498,91 <math>\pm</math> 122,02</b>	<b>4,50 <math>\pm</math> 0,50*</b>	7,31 $\pm$ 1,27	<b>50,92 <math>\pm</math> 13,67</b>

Примечания: \* — достоверность различий между активностью ферментов у самок и самцов; **жирным** шрифтом обозначена достоверность различий у однополых особей из двух морей.

Сравнительный анализ активности АО-ферментов у однополых рыб из районов исследования позволил установить определённые отличия (табл. 1). Активность КАТ была достоверно ниже ( $p \leq 0,01$ ) в крови самок из севастопольских акваторий, а ПЕР — у самок из юго-западной части Азовского моря ( $p \leq 0,05$ ). Для других параметров достоверных различий не выявлено. В то же время активность КАТ ( $p \leq 0,001$ ), СОД ( $p \leq 0,01$ ) и ГТ ( $p \leq 0,05$ ) была достоверно ниже, а ПЕР — выше ( $p \leq 0,001$ ) в крови самцов рыб из Чёрного моря по сравнению с аналогичными показателями рыб из юго-западной части Азовского моря (табл. 1).

Согласно данным таблицы 2, содержание кетопроизводных нейтрального и альдегидопродуктов основного характера было достоверно выше ( $p \leq 0,05$ ) в эритроцитах крови самцов бычка-кругляка из Чёрного моря по сравнению с таковым у самок. Содержание продуктов ОМБ в сыворотке крови разнополых особей из Азовского моря достоверно не отличалось, за исключением кетопроизводных основного характера, содержание которых было достоверно выше у самцов ( $p \leq 0,05$ ) (табл. 2).

Таблица 2

Содержание продуктов окислительной модификации белков в сыворотке крови разнополых особей бычка-кругляка из Чёрного и Азовского морей (опт ед. / мл сыворотки,  $M \pm m$ )

пол	n	продукты нейтрального характера		продукты основного характера	
		альдегидные 346 нм	кетонные 370 нм	альдегидные 430 нм	кетонные 530 нм
<b>Чёрное море</b>					
самки	8	4,62 ± 0,74	6,33 ± 0,96	3,52 ± 0,62	0,57 ± 0,13
самцы	33	5,98 ± 0,51	8,89 ± 0,71*	5,28 ± 0,40*	0,83 ± 0,07
<b>Азовское море</b>					
самки	38	3,30 ± 0,18	4,45 ± 0,27	2,58 ± 0,17	<b>0,26 ± 0,02</b>
самцы	22	<b>3,38 ± 0,36</b>	<b>4,36 ± 0,42</b>	<b>2,98 ± 0,43</b>	<b>0,66 ± 0,16</b>

Примечания: обозначения те же, что в таблице 1.

Таким образом, исследование показателей прооксидантно-антиоксидантной системы крови разнополых особей бычка-кругляка из двух морей позволило выявить определённые особенности. Установлены снижение активности КАТ, СОД и увеличение содержания продуктов ОМБ в крови самцов рыб по сравнению с соответствующими показателями самок бычка-кругляка из севастопольских акваторий (табл. 1, 2). Согласованная работа КАТ и СОД обеспечивает поддержание концентрации активных форм кислорода на безопасном для организма уровне [Karadag, Firat, Firat, 2014]. Снижение их активности (КАТ, СОД) в эритроцитах крови самцов бычка-кругляка привело к усилению процессов свободикального окисления (СРО) белков сыворотки крови. Половые различия показателей прооксидантно-антиоксидантной системы были также показаны в гонадах шести видов рыб Чёрного моря: катрана (*Squalus acanthias*), ставриды (*Trachurus mediterraneus ponticus*), спикары (*Spicara flexuosa*), султанки (*Mullus barbatus ponticus*), бычка-кругляка и морского ерша (*Scorpaena porcus*) [Руднева, 2000]. Уровень перекисного окисления липидов (ПОЛ) был достоверно выше в семенниках акулы и спикары по сравнению с аналогичными показателями в яичниках рыб. Активность СОД и ПЕР была выше в гонадах самцов по сравнению с аналогичными показателями самок, тогда как активность КАТ и ГР имела противоположную зависимость. Таким образом, автором было установлено преобладание АО-реакций над процессами ПОЛ в яичниках всех исследуемых видов рыб по сравнению с таковыми в семенниках [Руднева, 2000]. Активность АО-ферментов (СОД, КАТ) в печени самок

кумжи (*Salmo trutta*) была также достоверно выше по сравнению с аналогичными показателями самцов этого вида [Parolini et al., 2019]. Выявленные закономерности, вероятно, зависят от особенностей структуры женских половых гормонов (эстрогенов), обладающих АО-свойствами. Являясь фенольными соединениями, эстрогены ингибируют СРО липопротеинов биологических мембран, защищают печень [Nuh et al., 1994], скелетную и сердечную мускулатуры [Persky et al., 2000]. В тканях мозга эту же функцию выполняет прогестерон [Pajović et al., 1999]. В то же время мужской половой гормон — тестостерон вызывает снижение активности СОД, КАТ и глутатионпероксидазы, приводя к усилению СРО в тканях [Chainy, Samantaray, Samanta, 1997].

Сравнительный анализ активности биомаркеров крови однополых рыб из двух морей показал более высокий уровень ОМБ и низкую активность большинства АО-ферментов в крови самцов бычка-кругляка из Чёрного моря (табл. 1, 2). Это свидетельствует о смещении прооксидантно-антиоксидантных реакций в сторону процессов СРО сывороточных белков и, соответственно, менее экологически благополучном состоянии севастопольских акваторий. Отсутствие выраженных отличий между анализируемыми показателями крови самок бычка-кругляка из двух морей (табл. 1, 2), вероятно, свидетельствует о большей их устойчивости к уровню комплексного загрязнения среды обитания. Большая чувствительность самцов к уровню комплексного загрязнения в среде обитания и отдельным токсикантам была также показана в работах других авторов [Суховская и др., 2020; Чеснокова, 2017].

Таким образом, результаты исследований показали более выраженные половые различия биомаркеров крови бычка-кругляка из севастопольских акваторий по сравнению с аналогичными показателями рыб из юго-западной части Азовского моря. Выявленные у черноморского бычка-кругляка межполовые различия могут быть связаны с избирательностью ответных реакций в тканях рыб разного пола и большей чувствительностью самцов к уровню комплексного загрязнения севастопольских акваторий. В связи с этим биоиндикационные исследования с применением показателей прооксидантно-антиоксидантной системы крови бычка-кругляка рекомендовано проводить на особях одного пола, предпочтительно на самцах.

### Список литературы

1. Дубинина Е. Е., Бурмистов С. О., Ходов Д. А., Поротов И. Г. Окислительная модификация белков сыворотки крови человека, метод её определения // Вопросы медицинской химии. – 1995. – № 1. – С. 24–26.
2. Лакин Г. Ф. Биометрия. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва : Высш. шк., 1990. – 352 с.
3. Правдин И. Ф. Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных) / под ред. П. А. Дрягина, В. В. Покровского. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва : Пищ. пром-сть, 1966. – 376 с.
4. Руднева И. И. Ответные реакции морских животных на антропогенное загрязнение Чёрного моря : дис. ... д-ра биол. наук : 03.00.29. – Севастополь, 2000. – 329 с.
5. Руднева И. И., Скуратовская Е. Н. Половые особенности активности антиоксидантных ферментов крови некоторых прибрежных видов рыб Чёрного моря // Вопросы ихтиологии. – 2009. – Т. 49, № 1. – С. 125–128. – <https://doi.org/10.1134/S0032945209010159>
6. Суховская И. В., Смирнов Л. П., Немова Н. Н., Комов В. Т. Влияние ртути на фракционный состав низкомолекулярных пептидов мускулатуры речного окуня *Perca fluviatilis* // Вопросы ихтиологии. – 2001. – Т. 41, № 5. – С. 699–703.

7. Чеснокова И. И. Биомаркеры черноморских рыб как показатели экологического состояния среды их обитания : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.02.10. – Севастополь, 2017. – 22 с.
8. Chainy G. B. N., Samantaray S., Samanta L. Testosterone-induced changes in testicular antioxidant system // *Andrologia*. – 1997. – Vol. 29, iss. 6. – P. 343–349. – <https://doi.org/10.1111/j.1439-0272.1997.tb00328.x>
9. Huh K., Shin U. S., Choi J. W., Lee S. I. Effect of sex hormones on lipid peroxidation in rat liver // *Archives of Pharmacal Research*. – 1994. – Vol. 17, iss. 2. – P. 109–114. – <https://doi.org/10.1007/BF02974233>
10. Karadag H., Firat Ö., Firat Ö. Use of oxidative stress biomarkers in *Cyprinus carpio* L. for the evaluation of water pollution in Ataturk Dam Lake (Adiyaman, Turkey) // *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. – 2014. – Vol. 92, iss. 3. – P. 289–293. – <https://doi.org/10.1007/s00128-013-1187-0>
11. Kovyrshina T. B., Rudneva I. I. The Response of blood biomarkers of the round goby *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814) (Perciformes: Gobiidae) to chronic coastal pollution in the Sea of Azov // *Russian Journal of Marine Biology*. – 2018. – Vol. 44, № 4. – P. 328–333. – <https://doi.org/10.1134/S1063074018040065>
12. Pajović S. B., Sačić Z. S., Spasić M. B., Petrović V. M., Martinović J. V. Effects of progesterone and estradiol benzoate on glutathione dependent antioxidant enzyme activities in the brain of female rats // *General Physiology and Biophysics*. – 1999. – Vol. 18, iss. 1. – P. 35–44.
13. Parolini M., Iacobuzio R., Felice B., Bassano B., Pennati R., Saino N. Age- and sex-dependent variation in the activity of antioxidant enzymes in the brown trout (*Salmo trutta*) // *Fish Physiology and Biochemistry*. – 2019. – Vol. 45, iss. 1. – P. 145–154. – <https://doi.org/10.1007/s10695-018-0545-6>
14. Persky A. M., Green P. S., Stublely L., Howell C. O., Zaulyanov L., Brazeau G. A., Simpkins J. W. Protective effect of estrogens against oxidative damage to heart and skeletal muscle in vivo and in vitro // *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine*. – 2000. – Vol. 223, iss. 1. – P. 59–66. – <https://doi.org/10.1046/j.1525-1373.2000.22308.x>
15. Winzer K., Winston G. W., Becker W., Van Noorden C. J. F., Köehler A. Sex-related responses to oxidative stress in primary cultured hepatocytes of European flounder (*Platichthys flesus* L.) // *Aquatic Toxicology*. – 2001. – Vol. 52, iss. 2. – P. 143–155. – [https://doi.org/10.1016/S0166-445X\(00\)00137-5](https://doi.org/10.1016/S0166-445X(00)00137-5)

**SEX FEATURES OF PROXIDANT-ANTIOXIDANT BLOOD SYSTEM OF ROUND GOBY  
*NEOGOBIOUS MELANOSTOMUS* (PALLAS, 1814) FROM THE BLACK SEA  
AND THE SEA OF AZOV**

**Sigacheva T. B.**

*A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russian Federation,  
e-mail: mtk.fam@mail.ru*

**Abstract:** The analysis of indicators of the prooxidant-antioxidant system parameters (activity of catalase (CAT), superoxide dismutase (SOD), peroxidase (PER), glutathione reductase (GR), glutathione-S-transferase (GST) and oxidized protein levels) in the blood of round goby *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814) specimens of different sexes from the coastal regions of the Black Sea (Sevastopol) and the Sea of Azov was carried out. A decrease in the activity of CAT, SOD (by 1.3–2 times) and an increase in the oxidized protein levels in the blood of males from the Sevastopol waters in comparison with similar indicators of females were found. In fish from the Sea

of Azov, the sex differences were weakly pronounced. Analysis of blood biomarkers in the fish specimens of different sexes from two seas showed a higher level of oxidized proteins and low activities of CAT, SOD and GST in the blood of round goby males from the Black Sea. The results obtained make it possible to recommend carrying out bioindication studies using prooxidant-antioxidant blood system parameters of round goby on the same sex specimens, preferably males.

**Keywords:** round goby, blood, antioxidant enzyme activities, oxidized protein levels, Black Sea, Sea of Azov.

#### Сведения об авторе

Сигачева  
Татьяна  
Борисовна

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела ихтиологии ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», mtk.fam@mail.ru

*Поступила в редакцию 31.01.2022 г.  
Принята к публикации 04.03.2022 г.*

УДК [597.556.31-111:576.32/.36](262.5)

DOI: [10.21072/ecc.2022.21.04](https://doi.org/10.21072/ecc.2022.21.04)

**ВОЗРАСТНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ  
ПРООКСИДАНТНО-АНТИОКСИДАНТНОЙ СИСТЕМЫ КРОВИ МОРСКОГО ЁРША  
*SCORPAENA PORCUS L., 1758* ИЗ ПРИБРЕЖНОЙ АКВАТОРИИ  
Г. СЕВАСТОПОЛЯ (ЧЁРНОЕ МОРЕ)\***

**Скуратовская Е. Н.**

*ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», г. Севастополь,  
Российская Федерация,  
e-mail: [skuratovskaya@ibss-ras.ru](mailto:skuratovskaya@ibss-ras.ru)*

**Аннотация:** Изучены возрастные особенности показателей прооксидантно-антиоксидантной системы (активность супероксиддисмутазы (СОД), каталазы (КАТ), пероксидазы (ПЕР), глутатионредуктазы (ГР), глутатион-S-трансферазы (GST) и уровень окислительной модификации белков (ОМБ)) крови морского ёрша *Scorpaena porcus* Linnaeus, 1758 из прибрежной акватории г. Севастополя (Чёрное море). Установлено снижение активности СОД, КАТ, GST в эритроцитах крови рыб старших возрастных групп (5+–6+) по сравнению с более молодыми экземплярами в возрасте 2+–3+. Уровень ОМБ (альдегидные и кетонные продукты нейтрального характера, альдегидопроизводные основного характера) в сыворотке крови рыб в возрасте 5+–6+ достоверно превышал соответствующие значения особей 2+–4+. Для корректного применения показателей прооксидантно-антиоксидантной системы крови морского ёрша в экотоксикологической оценке состояния морских прибрежных акваторий необходимо учитывать возраст рыб и проводить исследования на одной, предпочтительно доминирующей в уловах, возрастной группе.

**Ключевые слова:** морской ёрш, биомаркеры, активность антиоксидантных ферментов, уровень окислительной модификации белков, возраст, Чёрное море.

## Введение

Постоянное антропогенное воздействие на прибрежные акватории Крыма приводит к аккумуляции токсических веществ в донных отложениях, изменению физико-химических свойств воды и грунтов, сокращению видового разнообразия и истощению биологических ресурсов. Поэтому оценка состояния гидробионтов, контроль загрязнения водной среды и биоты остаются основными задачами экологического мониторинга Черноморского побережья Крыма. В связи с этим в настоящее время разрабатываются новые методы, основанные на определении чувствительных биомаркеров, позволяющих на ранних стадиях воздействия неблагоприятных факторов оценить состояние водных организмов и среды их обитания. В качестве таких биомаркеров используют параметры прооксидантно-антиоксидантной системы (ПАС) [Экотоксикологические исследования ... , 2016; Livingstone, 2003; Kroon, Streten, Harries, 2017; Luk'yanova, Korchagin, 2017].

ПАС включает генерацию активных форм кислорода (АФК), инициирующих свободно-радикальные процессы, и антиоксидантную (АО) защиту посредством низкомолекулярных соединений и ферментов, функции которых заключаются в восстановлении продуктов перекисного окисления и поддержании концентрации АФК на низком, оптимальном для организма, уровне. Соотношение процессов свободнорадикального окисления (СРО) и антиоксидантной защиты отражает адаптационные возможности и позволяет оценить ответные реакции организмов на неблагоприятные условия среды [Livingstone, 2003; Kroon, Streten, Harries, 2017; Luk'yanova, Korchagin, 2017]. Однако для корректного использования параметров ПАС

---

\* Работа выполнена в рамках темы государственного задания ФИЦ ИнБИОМ № 121030100028-0.

в качестве биомаркеров необходимо знать пределы их естественной вариабельности в популяциях изучаемых видов, зависящие от природных факторов и физиологического состояния особей [Алешко, Лукьянова, 2008; Экотоксикологические исследования ... , 2016; Ковыршина , 2010; Ihuř et al., 2020; Сигачева, 2021].

Известно, что соотношение прооксидантно-антиоксидантных реакций в тканях животных с возрастом изменяется в сторону усиления процессов СРО, накопления свободных радикалов и продуктов перекисного окисления в клетках, что приводит к развитию патологических состояний, нарушает нормальное протекание многих физиологических процессов и функционирование органов и тканей. В настоящее время эти процессы достаточно полно изучены в тканях млекопитающих, тогда как сведения о возрастных изменениях состояния ПАС в организме рыб ограничены [Скуратовская, 2009; Сигачева, 2021; Rudneva et al., 2010; Parolini et al., 2019]. В то же время изучение возрастных особенностей показателей ПАС тканей биоиндикаторных видов рыб является необходимым условием для их корректного применения в экотоксикологических исследованиях.

Цель настоящей работы заключалась в изучении возрастных особенностей активности антиоксидантных ферментов и уровня окислительной модификации белков крови морского ёрша *Scorpaena porcus* Linnaeus, 1758 из прибрежной акватории г. Севастополя (Чёрное море).

### Материалы и методы

Объектом исследований служил морской ёрш *Scorpaena porcus* Linnaeus, 1758 — типичный представитель донной ихтиофауны прибрежных акваторий Чёрного моря, биоиндикаторный вид, широко используемый в экотоксикологических исследованиях [Экотоксикологические исследования ... , 2016]. Рыб отлавливали в Карантинной бухте г. Севастополя в осенний период 2007 г., проводили полный биологический анализ. Возраст рыб определяли по отолитам. В уловах встречался морской ёрш пяти возрастных групп — от 2+ до 6+.

Материалом для исследования служили эритроциты и сыворотка крови рыб. Эритроциты отмывали путём смешивания с 10-кратным объёмом физиологического раствора (0,85 % NaCl) и последующего отделения эритроцитарной массы. Для получения гемолизата в основную массу эритроцитов добавляли дистиллированную воду в соотношении 1 : 4 (по объёму), выдерживали сутки при температуре 4 °С в холодильнике. Полученные гемолизаты разбавляли десятикратно дистиллированной водой и проводили дальнейшие исследования. В эритроцитах определяли активность пяти АО-ферментов: супероксиддисмутазы (СОД), каталазы (КАТ), пероксидазы (ПЕР), глутатионредуктазы (ГР) и глутатион-S-трансферазы (GST) — методами, описанными ранее [Rudneva et al., 2016]. В сыворотке крови анализировали уровень окислительной модификации белков (ОМБ) по реакции взаимодействия окисленных аминокислотных остатков белков с 2,4-динитрофенилгидразином. Оптическую плотность образовавшихся 2,4-динитрофенилгидразонов регистрировали при следующих длинах волн ( $\lambda$ ): 356 и 370 нм — альдегидные (С<sub>356</sub>) и кетонные (С<sub>370</sub>) продукты нейтрального характера, 430 и 530 нм — альдегидные (С<sub>430</sub>) и кетонные (С<sub>530</sub>) продукты основного характера [Дубинина и др., 1995]. Все измерения проводили на спектрофотометре Spescol 211 (Германия). Результаты обрабатывали статистически, вычисляли среднее арифметическое и стандартную ошибку средней. Достоверность различий между выборками оценивали с применением U-критерия Манна — Уитни. Различия считали достоверными при уровне значимости ( $p < 0,05$ ).

## Результаты и обсуждение

Результаты исследований позволили выявить определённые возрастные изменения параметров ферментной АО-системы и уровня ОМБ (табл. 1, 2). Активность СОД и КАТ была достоверно ниже у рыб в возрасте 5+–6+ по сравнению с особями 2+–3+ ( $p < 0,05$ ). Активность GST имела минимальные значения в возрасте 5+–6+ по сравнению с группой 2+–4+ ( $p < 0,05$ ). Активность ПЕР у рыб в возрасте 5+ превышала соответствующие значения экземпляров 2+–4+ ( $p < 0,05$ ). Для ГР достоверных возрастных отличий не установлено (табл. 1).

Таблица 1

Активность антиоксидантных ферментов (на мг гемоглобина / мин,  $M \pm m$ ) в эритроцитах крови морского ерша разного возраста

Возраст, годы	n	СОД, усл. ед.	КАТ, мг $H_2O_2$	ПЕР, опт. ед.	ГР, нмоль НАДФН	GST, нмоль конъюгата
2+	18	165,60 ± 15,41	0,46 ± 0,02	28,07 ± 1,62	1,53 ± 0,24	11,43 ± 1,29
3+	30	148,12 ± 7,89	0,46 ± 0,02	27,00 ± 1,19	2,37 ± 0,34	10,81 ± 1,08
4+	23	138,60 ± 11,00	0,42 ± 0,01	30,24 ± 1,44	2,55 ± 0,42	11,42 ± 1,29
5+	12	114,10 ± 9,81*	0,41 ± 0,01*	37,0 ± 2,6**	2,10 ± 0,44	7,37 ± 1,26**
6+	7	114,90 ± 15,02*	0,38 ± 0,03*	30,75 ± 3,74	2,31 ± 0,80	4,86 ± 1,38**

Примечание: \* — различия достоверны по сравнению с экземплярами 2+–3+; \*\* — различия достоверны по сравнению с экземплярами 4+ ( $p < 0,05$ ); n — количество особей

Уровень альдегидных ( $C_{356}$ ) и кетонных ( $C_{370}$ ) продуктов нейтрального характера, а также альдегидопроизводных ( $C_{430}$ ) основного характера у рыб в возрасте 5+–6+ превышал соответствующие показатели экземпляров 2+–4+ ( $p < 0,05$ ). Содержание кетонных продуктов основного характера в эритроцитах крови морского ерша с возрастом не изменялось (табл. 2).

Таблица 2

Уровень окислительной модификации белков (опт. ед. / мл сыворотки,  $M \pm m$ ) в сыворотке крови морского ерша разного возраста

Возраст, годы	n	продукты нейтрального характера		продукты основного характера	
		альдегидные 356 нм	кетонные 370 нм	альдегидные 430 нм	кетонные 530 нм
2+	12	2,75 ± 0,55	3,83 ± 0,68	2,11 ± 0,23	0,46 ± 0,06
3+	17	2,48 ± 0,55	3,53 ± 0,62	1,90 ± 0,41	0,32 ± 0,08
4+	10	2,75 ± 0,45	3,65 ± 0,50	1,70 ± 0,52	0,35 ± 0,04
5+	7	5,10 ± 0,80*	6,75 ± 0,78*	3,08 ± 0,37*	0,40 ± 0,10
6+	6	5,25 ± 0,54*	6,92 ± 0,63*	3,10 ± 0,25*	0,42 ± 0,07

Примечание: \* — различия достоверны по сравнению с экземплярами 2+–4+ ( $p < 0,05$ ); n — количество особей

Таким образом, обнаруженные возрастные особенности исследуемых параметров крови рыб характеризуются снижением активности ферментов СОД, КАТ, GST и увеличением уровня окислительной модификации белков (альдегидные и кетонные продукты нейтрального характера, альдегидопроизводные основного характера) у особей старших возрастных групп (5+–6+). Эти особенности характерны и для других организмов, в том числе гомойотермных, что согласуется со свободнорадикальной теорией старения и свидетельствует об универсальности динамики СРО и АО-системы в онтогенезе животных разных систематических групп [Harman, 1956; Yargicoğlu et al., 1999; Correia et al., 2003; Rudneva et al., 2010; Parolini et al., 2019].

Снижение АО-активности и повышение уровня ОМБ, вероятно, связаны как с накоплением токсичных веществ в тканях, приводящим к подавлению синтеза ферментов, так и с усилением процессов СРО в организме при старении. Известно, что аккумуляция модифицированных макромолекул с возрастом вызвана окислительным повреждением в тканях и потерей способности восстанавливать или утилизировать эти молекулы [Winston, Livingstone, Lips, 1990]. В процессе старения организма повышается чувствительность многих белков-ферментов к металлкализируемому окислению и в тканях накапливаются их окисленные неактивные формы [Дубинина, 1993]. Установлено, что в течение примерно последней трети жизни происходит существенное увеличение концентрации карбонильных групп белков, причём это не зависит ни от вида организма, ни от типа исследуемой ткани. Накопление с возрастом окисленных белков может быть обусловлено в том числе снижением активности протеаз, которые разрушают их модифицированные формы [Дубинина, 1989; Лихолат, Ананьева, Антонюк, 2000].

Известно также, что у рыб с длительным жизненным циклом в последние годы жизни наблюдается торможение белкового роста. Изучение азотистого баланса показывает, что с возрастом потребление, утилизация, эффективность использования и экскреция азота у рыб снижаются. Это связано, с одной стороны, с затуханием белкового обмена при старении, с другой — свидетельствует об увеличении удельного веса диссимилирующих процессов [Шульман, 1996], что в свою очередь может обуславливать снижение синтеза АО-ферментов у рыб старших возрастных групп.

Многими исследователями установлено, что АО-активность тканей молодых рыб выше, чем у особей более старшего возраста [Сигачева, 2021; Rudneva et al., 2010; Dong et al., 2017; Parolini et al., 2019]. Отмечено, что активность АО-ферментов крови биоиндикаторного вида бычка-кругляка *Neogobius melanostomus* из севастопольских акваторий Чёрного моря (КАТ, ГР) и юго-западной части Азовского моря (СОД, ГР) была в 1,5–2 раза ниже у рыб в возрасте 2+ по сравнению с группой 0+–1+ [Сигачева, 2021], тогда как содержание окисленных форм белков было выше в сыворотке крови рыб старших возрастных групп из прибрежной зоны Севастополя. Снижение ферментативной АО-активности в эритроцитах крови рыб с возрастом показано для налима *Gaidropsarus mediterraneus* (СОД, КАТ, ПЕР, GST), мерланга *Merlangius merlangus euxinus* (ГР, GST), султанки *Mullus barbatus ponticus* (СОД, КАТ, ГР), спикары *Spicara flexuosa* (КАТ, GST), ставриды *Trachurus mediterraneus* (КАТ, ПЕР), обитающих в прибрежных акваториях Чёрного моря [Скуратовская, 2009; Rudneva et al., 2010]. Повышение уровня ОМБ в крови особей старших возрастных групп выявлено для мерланга [Скуратовская, 2009].

Следует отметить, что возрастные изменения протекают неравномерно в различных органах и тканях, проявляя неоднородность, скорость и направленность процессов и отражая компенсаторную адаптацию развивающегося и стареющего организма [Dong et al., 2017; Parolini et al., 2019]. Возрастные изменения активности АО-ферментов и уровня перекисного окисления липидов (ПОЛ) обнаружены в жабрах и печени кумжи *Salmo trutta*, обитающей в реке Национального парка Гран-Парадизо (Италия). С возрастом наблюдалось снижение активности глутатионпероксидазы (ГП) и уровня перекисного окисления липидов (ПОЛ) в обоих органах, тогда как СОД — только в печени [Parolini et al., 2019]. В результате исследований, проведённых на самцах модельного вида — нотобранхиуса Гюнтера *Nothobranchius guentheri*, были установлены возрастные тканезависимые изменения уровня ОМБ и ПОЛ, а также активности КАТ, СОД и ГП, позволившие авторам сделать вывод о том, что старение является тканеспецифичным и асимметричным [Dong et al., 2017].

В наших исследованиях обращает на себя внимание повышение активности ПЕР в крови рыб в возрасте 5+ по сравнению с экземплярами 2+–4+ на фоне снижения активности КАТ, что может быть связано с взаимокompенсаторной функцией ферментов, разлагающих перекись

водорода (табл. 1). Снижение активности КАТ и повышение активности ГП в семенниках старых самцов, по сравнению с молодыми экземплярами, было выявлено для нотобранхиуса Гюнтера [Dong et al., 2017]. Компенсаторное повышение активности ПЕР при низких значениях КАТ также отмечено в крови спикары в возрасте 4+ по сравнению с возрастной группой 1+ [Скуратовская, 2009].

### Выводы

На основании полученных результатов можно заключить, что для показателей ПАС крови морского ерша, обитающего в прибрежных акваториях г. Севастополя, характерны существенные возрастные изменения.

Установлено снижение активности СОД, КАТ, GST в эритроцитах крови рыб старших возрастных групп (5+–6+) по сравнению с более молодыми экземплярами в возрасте 2+–3+.

Уровень ОМБ (альдегидные и кетонные продукты нейтрального характера, альдегидопродукты основного характера) в сыворотке крови рыб в возрасте 5+–6+ достоверно превышал соответствующие значения особей 2+–4+.

Для корректного применения показателей прооксидантно-антиоксидантной системы крови морского ерша в экотоксикологической оценке состояния морских прибрежных акваторий необходимо учитывать возраст рыб и проводить исследования на одной, предпочтительно доминирующей в уловах, возрастной группе особей.

**Благодарности.** Автор выражает глубокую благодарность Салеховой Лидии Павловне за помощь в определении возраста рыб.

### Список литературы

1. Аleshko С. А., Лукьянова О. Н. Сезонные изменения некоторых параметров биотрансформации и антиоксидантной системы в печени полосатой камбалы *Liopsetta pinnifasciata* из Амурского залива Японского моря // Биология моря. – 2008. – Т. 34, № 2. – С. 148–151.
2. Дубинина Е. Е. Биологическая роль супероксидного анион-радикала и супероксиддисмутазы в тканях организма // Успехи современной биологии. – 1989. – Т. 108, вып. 1 (4). – С. 3–18.
3. Дубинина Е. Е. Некоторые особенности функционирования ферментативной антиоксидантной защиты плазмы крови человека // Биохимия. – 1993. – Т. 58, вып. 2. – С. 268–273.
4. Дубинина Е. Е., Бурмистов С. О., Ходов Д. А., Поротов И. Г. Окислительная модификация белков сыворотки крови человека, метод её определения // Вопросы медицинской химии. – 1995. – Т. 41, № 1. – С. 24–26.
5. Ковыришина Т. Б. Особенности антиоксидантной ферментативной системы крови черноморского бычка-кругляка *Neogobius melanostomus* в нерестовый период // Современные проблемы физиологии и биохимии водных организмов : сб. науч. ст. / Рос. акад. наук, Отд-ние биол. наук РАН ; редкол.: Н. Н. Немова [и др.]. – Петрозаводск : Карел. науч. центр РАН, 2010. – Т. 1. – С. 80–83.
6. Лихолат Е. А., Ананьева Т. В., Антониук С. В. Пероксидное окисление липидов в лёгких при ингаляционном воздействии соли свинца в низких концентрациях // Украинский биохимический журнал. – 2000. – Т. 72, № 2. – С. 68–71.
7. Сигаичева Т. Б. Возрастные особенности прооксидантно-антиоксидантной системы крови бычка-кругляка *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814) из Чёрного и Азовского морей // Труды Карадагской научной станции им. Т. И. Вяземского – природного заповедника РАН. – 2021. – № 4 (20). – С. 10–15. – <https://doi.org/10.21072/eco.2021.20.02>

8. Скуратовская Е. Н. Состояние антиоксидатной ферментной системы крови черноморских рыб в условиях комплексного хронического загрязнения : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.00.04. – Одесса, 2009. – 20 с.
9. Шульман Г. Е. Физиолого-биохимические исследования гидробионтов // Экология моря : сб. науч. тр. / НАН Украины, Ин-т биологии юж. морей им. А. О. Ковалевского. – Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 1996. – Вып. 45. – С. 39–48.
10. Экотоксикологические исследования прибрежной черноморской ихтиофауны в районе Севастополя / Ин-т мор. биол. исслед. им. А. О. Ковалевского РАН, Рос. фонд фундам. исслед. ; под ред. И. И. Рудневой. – Москва : ГЕОС, 2016. – 360 с.
11. Correia A. D., Costa M. H., Luis O. J., Livingstone D. R. Age-related changes in antioxidant enzyme activities, fatty acid composition and lipid peroxidation in whole body *Gammarus locusta* (Crustacea: Amphipoda) // Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. – 2003. – Vol. 289, iss. 1. – P. 83–101. – [https://doi.org/10.1016/S0022-0981\(03\)00040-6](https://doi.org/10.1016/S0022-0981(03)00040-6)
12. Dong Y., Cui P., Li Z., Zhang S. Aging asymmetry: systematic survey of changes in age-related biomarkers in the annual fish *Nothobranchius guentheri* // Fish Physiology Biochemistry. – 2017. – Vol. 43, iss. 2. – P. 309–319. – <https://doi.org/10.1007/s10695-016-0288-1>
13. Harman D. Aging: a theory based on free radical and radiation chemistry // Journal of Gerontology. – 1956. – Vol. 11, iss. 3. – P. 298–300. – <https://doi.org/10.1093/geronj/11.3.298>
14. Ihuț A., Răducu C., Cocan D., Munteanu C., Luca I. T., Uiuu P., Lațiu C., Rus V., Mireșan V. Seasonal variation of blood biomarkers in huchen, *Hucho hucho* (Actinopterygii: Salmoniformes: Salmonidae) reared in captivity // Acta Ichthyologica Et Piscatoria. – 2020. – Vol. 50, iss. 4. – P. 381–390. – <https://doi.org/10.3750/AIEP/02836>
15. Kroon F., Streten C., Harries S. A protocol for identifying suitable biomarkers to assess fish health: a systematic review // PLOS ONE. – 2017. – Vol. 12, iss. 4. – e0174762. – <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0174762>
16. Livingstone D. R. Oxidative stress in aquatic organisms in relation to pollution and aquaculture // Revue De Medecine Veterinaire – 2003. – Vol. 154, iss. 6. – P. 427–430.
17. Luk'yanova O. N., Korchagin V. P. Integral biochemical index of the state of aquatic organisms under polluted conditions // Biology Bulletin. – 2017. – Vol. 44, iss. 2. – 203–209. – <https://doi.org/10.1134/S106235901702011X>
18. Parolini M., Iacobuzio R., Felice B., Bassano B., Pennati R., Saino N. Age- and sex-dependent variation in the activity of antioxidant enzymes in the brown trout (*Salmo trutta*) // Fish Physiology and Biochemistry. – 2019. – Vol. 45, iss. 1. – P. 145–154. – <https://doi.org/10.1007/s10695-018-0545-6>
19. Rudneva I. I., Skuratovskaya E. N., Chesnokova I. I., Shaida V. G., Kovyrshina T. B. Biomarker response of Black Sea scorpion fish *Scorpaena porcus* to anthropogenic impact // Advances in Marine Biology / eds.: A. Kovács, P. Nagy. – New York : Nova Publ., 2016. – Vol. 1. – P. 119–147.
20. Rudneva I. I., Skuratovskaya E. N., Kuzminova N. S., Kovyrshina T. B. Age composition and antioxidant enzyme activities in blood of Black Sea teleosts // Comparative Biochemistry and Physiology. Pt. C. Toxicology and Pharmacology. – 2010. – Vol. 151, iss. 2. – P. 229–239. – <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2009.11.001>
21. Winston G., Livingstone D., Lips F. Oxygen reduction metabolism by the digestive gland of the common mussel *Mytilus edulis* L. // Journal of Experimental Zoology. – 1990. – Vol. 255, iss. 3. – P. 296–308. – <https://doi.org/10.1002/JEZ.1402550307>
22. Yargıçođlu P., Ađar A., Gümüşlü S., Bilmen S., Ođuz Y. Age-related alterations in antioxidant enzymes, lipid peroxide levels, and somatosensory-evoked potentials: effect of sulfur dioxide // Archives of Environmental Contamination and Toxicology. – 1999. – Vol. 37, iss. 4. – P. 554–560. – <https://doi.org/10.1007/s002449900552>

**AGE-RELATED FEATURES OF THE PROOXIDANT-ANTIOXIDANT SYSTEM PARAMETERS IN BLOOD OF BLACK SCORPIONFISH *SCORPAENA PORCUS L.*, 1758 FROM SEVASTOPOL COASTAL AREA (THE BLACK SEA)**

**Skuratovskaya E. N.**

*A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russian Federation,*

*e-mail: [skuratovskaya@ibss-ras.ru](mailto:skuratovskaya@ibss-ras.ru)*

**Abstract:** Age-related features of the prooxidant-antioxidant system parameters (activities of superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), peroxidase (PER), glutathione reductase (GR), glutathione-S-transferase (GST) and oxidized protein levels) in blood of black scorpionfish *Scorpaena porcus* L., 1758 from Sevastopol coastal area (the Black Sea) were studied. A decrease in SOD, CAT, GST activities in fish blood erythrocytes of older age groups (5+–6+) compared to younger specimens aged 2+–3+ was found. Oxidized protein levels (neutral aldehydes and ketones, basic aldehydes) in the blood serum of fish aged 5+–6+ significantly exceeded the corresponding values of individuals aged 2+–4+. For the correct application of the blood prooxidant-antioxidant system parameters of black scorpionfish in the ecotoxicological assessment of the marine coastal water state, it is necessary to take into account fish age and conduct research on single age group of individuals, preferably dominant in catches.

**Keywords:** black scorpionfish, biomarkers, antioxidant enzyme activities, oxidized protein levels, age, Black Sea.

Сведения об авторе

Скुरатовская  
Екатерина  
Николаевна

кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник  
ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», [skuratovskaya@ibss-ras.ru](mailto:skuratovskaya@ibss-ras.ru)

*Поступила в редакцию 15.02.2022 г.*

*Принята к публикации 15.03.2022 г.*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ  
ГИДРОБИОЛОГИЯ

УДК 519.87:[582.232-114.328:57.04]

DOI: 10.21072/eco.2022.21.05

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА УДЕЛЬНУЮ СКОРОСТЬ  
РОСТА КУЛЬТУРЫ *ARTHROSPIRA PLATENSIS*\*

Клочкова В. С.<sup>1</sup>, Лелеков А. С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Севастопольский государственный университет, г. Севастополь, Российская Федерация,

<sup>2</sup>ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», г. Севастополь,  
Российская Федерация,  
e-mail: [a.lelekov@yandex.ru](mailto:a.lelekov@yandex.ru)

**Аннотация:** Работа посвящена моделированию влияния температуры на удельную скорость роста культуры микроводорослей. Проведён анализ классических моделей, которые описывают температурную кинетику роста микроводорослей. Получены накопительные кривые культуры цианопрокариоты *Arthrospira platensis* Gomont, 1892 при различных значениях температуры. На экспоненциальной фазе роста определена максимальная удельная скорость, которая при 17 °С была минимальной и составила 0,32 сут<sup>-1</sup>, а при 30 °С — максимальной и равнялась 0,85 сут<sup>-1</sup>. В области физиологической нормы показана возможность применения ломаной для описания зависимости удельной скорости роста от температуры для культур *A. platensis*, зелёных и диатомовых микроводорослей.

**Ключевые слова:** микроводоросли, накопительная культура, экспоненциальная фаза, удельная скорость роста, температура.

### Введение

Низшие фотоавтотрофы (цианопрокариоты и микроводоросли) — это организмы, способные преобразовывать солнечную энергию и углекислый газ в углеводы, белки, липиды и пигменты с использованием высокоэффективных процессов фотобиосинтеза [Ota et al., 2015]. В наши дни количество исследований микроводорослей для практического применения возросло, что объясняется их высокой скоростью размножения и быстрой адаптацией к изменяющимся условиям среды. Способность микроводорослей к росту до высокой концентрации клеток также может быть одним из их преимуществ, которые позволяют организовать эффективное производство биохимических компонентов биомассы [Ras, Steyer, Bernard, 2013; Ota et al., 2015]. Среди широких слоёв населения наибольшую известность получила *Arthrospira (Spirulina) platensis* Gomont, 1892, которая используется в ряде стран в продуктах здорового питания и в лечебных целях из-за её ценных составляющих, в частности белков и витаминов. Она стимулирует метаболические процессы в организме, является высокоэффективным радиопротектором, регулирует кровяное давление, нормализует работу нервной системы [Borowitzka M., Borowitzka L., 1998].

---

\*Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБИОМ по теме «Исследование механизмов управления продукционными процессами в биотехнологических комплексах с целью разработки научных основ получения биологически активных веществ и технических продуктов морского генезиса», № гос. регистрации 121030300149-0.

Известно, что на рост микроводорослей влияет множество экологических факторов, которые можно условно разделить на 3 группы. К первой группе относятся световые условия, ко второй группе — газовая составляющая, т. е. обеспеченность углекислым газом, отток кислорода и т. д., к третьей группе — концентрация минеральных компонентов питательной среды [Тренкеншу, Лелеков, 2017]. Помимо этих факторов, скорость роста микроводорослей также зависит от pH-среды и температуры, которые определяют поступление питательных веществ в клетку, конформацию макромолекул, кинетику биохимических реакций [Варфоломеев, Гуревич, 1999; Артюхов, Ковалева, Шмелев, 1994].

Метаболизм клеток представляет собой не линейную (с точки зрения последовательности реакций) цепь, а переплетённую сеть, которую принято называть Metabolic network [Минкевич, 2016]. Анализ работ по математическому моделированию роста микроорганизмов показывает, что попытки детального описания сложных биологических систем приводят к невозможности корректного построения математической модели из-за использования большого количества неточно определённых коэффициентов по сравнению с имеющейся экспериментальной информацией [Алексеев, Крышев, Сазыкина, 1992]. Выходом из сложившейся ситуации, который не противоречит современным подходам к моделированию кинетики роста микроорганизмов [Ильичев, Ильичева, 2021; Кулаков, Фрисман, 2019], является использование представлений о структурно организованных группах ферментов — метаболонах, функциональных образованиях, в которых осуществляется целый комплекс ферментативных реакций [Курганов, 1986]. Биохимические преобразования субстрата происходят в мультиферментных комплексах, состоящих из большого числа различных ферментов. Реакции в мультиферментном комплексе характеризуются упорядоченностью, которая определяется последовательным пространственным расположением ферментов и проявляется в строгой последовательности преобразования субстрата в продукт [Тренкеншу, 2005]. В середине двадцатого века Моно [Monod, 1949] ввёл в микробиологии понятие определяющего звена в цепи ферментативных реакций (узкое место метаболизма или ключевой мультиферментный комплекс). Принцип узкого места даёт возможность не только формально описать рост микроводорослей (в тех или иных внешних условиях среды), но и позволяет сделать это с помощью минимального числа относительно простых уравнений. Такой подход даёт возможность получить простые аналитические выражения, описывающие кинетику роста культуры. Например, в [Тренкеншу, Лелеков, 2017] предложена идеализированная зависимость удельной скорости синтеза биомассы  $\mu$  от энергетического или пластического потока, которая может быть записана в виде линейных сплайнов:

$$\mu = \mu_m \begin{cases} \lambda_5; & \lambda_5 \leq \lambda_i \\ \lambda_i; & \lambda_5 \geq \lambda_i \\ 1; & \lambda_i \geq 1, \quad \lambda_5 \geq 1 \end{cases}, \quad (1)$$

где  $\mu_m$  — максимальная удельная скорость синтеза биомассы,  $\lambda$  — приведённая плотность энергетического ( $i$ ) или пластического ( $s$ ) субстрата на ключевой мультиферментный комплекс.

В случае нелимитированного роста, когда приведённые плотности потока минерального и энергетического субстратов больше либо равны единице, удельная скорость синтеза биомассы будет максимальной. Для накопительной культуры микроводорослей максимальные скорости

синтеза биомассы могут быть реализованы только в экспоненциальной фазе роста. При небольших плотностях потока клетки микроводорослей не затевают друг друга, при этом собственно экспоненциальный рост наблюдается при постоянном биохимическом составе [Тренкеншу, 2019]. Выражение для максимальной удельной скорости синтеза биомассы может быть представлено в виде [Тренкеншу, Лелеков, 2017]:

$$\mu_m = \frac{\varphi_0}{\theta_0} \zeta f \mu_e, \quad (2)$$

где  $\varphi_0$  — максимальная эффективность преобразования энергии макроэргов в химическую энергию биомассы,  $\theta_0$  — калорийность биомассы,  $\zeta$  — свободная энергия одной молекулы макроэрга,  $f$  — относительное содержание ключевого фермента (ферментного комплекса),  $\mu_e$  — активность ключевого фермента.

Если рассматривать температурную зависимость удельной скорости, то, согласно последнему выражению, она определяется температурной кривой активности  $\mu_e$ . Постоянство биохимического состава клеток в экспоненциальной фазе роста позволяет считать остальные коэффициенты в (2) постоянными. Активность каталитического центра зависит от различных факторов (например, положение молекулы субстрата относительно каталитического центра в начальный момент взаимодействия, скорость молекулы, локальные физико-химические условия). Для того чтобы точно описать кинетику субстратзависимой биологической реакции, необходимо знать закон распределения активности. В некоторых случаях количественные закономерности, описывающие скорость субстратзависимых реакций, не зависят от вида распределения активности фермента, а определяются лишь математическим ожиданием этой величины. Формально при описании зависимости активности ключевого мультиферментного комплекса от температуры используют основополагающие законы химической кинетики. Нидерландский химик, один из основоположников биохимии и биохимической кинетики Вант-Гофф на основании многочисленных наблюдений установил, что при повышении температуры на 10 °С скорость гомогенной химической реакции увеличивается в 2–4 раза [Варфоломеев, Гуревич, 1999]. Это обобщение известно как правило Вант-Гоффа, которое является эмпирическим:

$$\mu = \mu_m \cdot Q_{10}^{\frac{T-T_{min}}{10}}. \quad (3)$$

Для параметризации зависимости скорости химической реакции от температуры используют коэффициент Вант-Гоффа  $Q_{10}$  — отношение константы скорости реакции при температуре  $T + 10$  к константе скорости при температуре  $T$ . Правило Вант-Гоффа носит приближённый характер, является монотонно возрастающей функцией, поэтому применимо для узкого диапазона температур и служит лишь для ориентировочной оценки влияния температуры на скорость реакции [Артюхов, Ковалева, Шмелев, 1994]. Более точную зависимость скорости ферментативной реакции от температуры даёт уравнение Аррениуса [Варфоломеев, Гуревич, 1999]:

$$\mu = A \cdot e^{\frac{-E_a}{RT}}, \quad (4)$$

где  $E_a$  — энергия активации,  $A$  — параметр, прямо пропорциональный числу столкновений молекул,  $\mu$  — константа скорости реакции.

Согласно (4) зависимость скорости реакции от температуры можно объяснить увеличением кинетической энергии молекул. Константа скорости  $\mu$  определяется двумя постоянными для данной реакции величинами — числом столкновений молекул и энергией активации  $E_a$ .

Применительно к культурам микроводорослей в литературе отсутствуют общепринятые подходы к моделированию температурной кинетики роста. Авторы используют выражения Вант-Гоффа, Аррениуса, их производные либо иные зависимости. Например, в [Ratkowsky et al., 1982] показано, что классические модели (3) и (4) не всегда хорошо описывают зависимость скорости роста микроорганизмов от температуры. В качестве альтернативы автором предложено эмпирическое выражение, которое с высокой точностью описывает экспериментальные данные для шести родов бактерий:

$$\sqrt{\mu} = b(T - T_0),$$

где  $b$  — угол наклона линии регрессии,  $T_0$  — температура остановки клеточного метаболизма.

В работах [Perez, Pina, Rodriguez, 2008; Ota et al., 2015] предложено выражение, аналогичное модели Аррениуса (4), которое учитывает деградацию клеточных структур при повышении температуры:

$$\mu = A_0 \cdot e^{\frac{-E_a}{RT} \frac{T-T_0}{T_0}} - B_0 \cdot e^{\frac{-E_b}{RT} \frac{T-T_0}{T_0}},$$

где  $A_0$ ,  $B_0$  — удельные скорости роста и эндогенного расхода биомассы при минимальной физиологической температуре  $T_0$ ;  $E_a$ ,  $E_b$  — энергии активации и деградации.

Таким образом, вопрос о моделировании температурной кинетики роста микроводорослей по-прежнему остаётся открытым. Функциональная зависимость максимальной удельной скорости роста от температуры позволит дополнить теоретический подход для описания субстратзависимого роста при помощи линейных сплайнов (1), что приведёт к расширению диапазона их применимости и, как следствие, к получению новых знаний о росте микроводорослей в культуре. На практике промышленное выращивание водорослей осуществляется в условиях естественного освещения при широком варьировании температуры [Ras, Steyer, Bernard, 2013]. Учёт температурной зависимости удельной скорости роста позволит прогнозировать величину урожая и продукции основных биохимических составляющих клеток.

Цель данной работы — показать возможность применения ломаной при моделировании влияния температуры на удельную скорость роста культуры микроводорослей.

## Материалы и методы

Экспериментальные работы проводились на базе отдела биотехнологий и фиторесурсов ФИЦ ИнБЮМ и кафедры физики СевГУ. В качестве объекта исследования была выбрана спирулина *Arthrospira platensis* Gomont, 1892 из коллекции ФИЦ ИнБЮМ. *A. platensis* выращивали в унифицированной лабораторной установке на питательной среде Zarrouk методом накопительной культуры [Тренкеншу и др., 2017]. Фотобиореактор плоскопараллельного типа толщиной 2 см с площадью освещаемой поверхности 0,05 м<sup>2</sup>. В качестве источника света использовали светодиодные лампы LCD Feron LB-213 мощностью 10 Вт. Освещённость рабочей поверхности фотобиореактора регистрировали люксметром Ю-116, во всех вариантах она составляла 5 клк. Эксперимент проводили в пяти опытных вариантах при 17, 21, 25, 27, 30 °С соответственно.

Для каждого варианта контролировали температуру, оптическую плотность и сухой вес биомассы. Температуру суспензии измеряли ртутным термометром непосредственно в фотобиореакторе, абсолютная погрешность измерений составляла 0,5 °С. Отбор проб для определения оптической плотности и сухого веса проводили из разных областей фотобиореактора: отбирали по 5 мл суспензии клеток, получая таким образом «среднюю» пробу, в которой после перемешивания определяли коэффициент пропускания. Оптическую плотность рассчитывали по формуле:  $D = -lg(T)$ , где  $T$  — величина пропускания, определяемая на фотометре КФК-2 при длине волны 750 нм. При пересчёте единиц оптической плотности на сухую биомассу (СВ) использовали коэффициент 0,8, который был определён в серии параллельных измерений СВ и оптической плотности. Максимальную удельную скорость роста у каждого опытного варианта определяли в экспоненциальной фазе роста накопительной культуры по уравнению:

$$\mu_m = \frac{\ln B_2 - \ln B_1}{t_2 - t_1},$$

где  $\mu_m$  — максимальная удельная скорость роста,  $B_2$  и  $B_1$  — биомасса *A. platensis* в момент времени  $t_2$  и  $t_1$  соответственно.

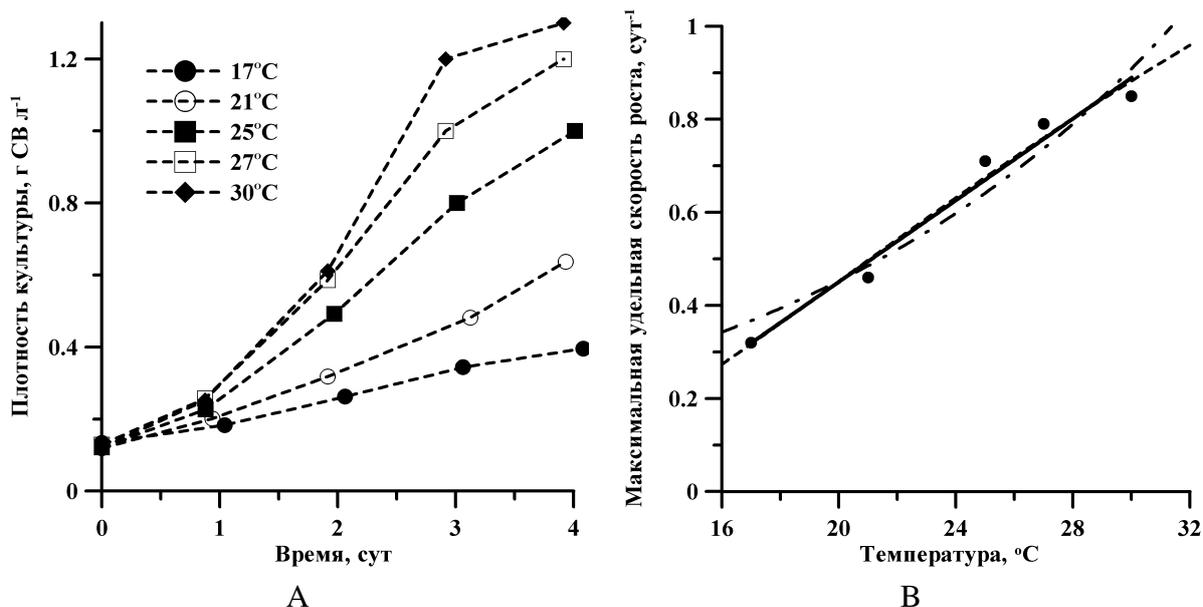
### Результаты и обсуждение

Оптимальный температурный диапазон, при котором выращивают *A. platensis*, находится в пределах 25–35 °С [Borowitzka M., Borowitzka L., 1998]. В работе [Kumar, Kulshreshtha, Singh, 2011] показано, что при низкой (20 °С) и высокой (40 °С) температурах у спирулины не наблюдалось экспоненциальной фазы. Следовательно, экстремальные температуры не обеспечивают реализацию максимальных скоростей роста. Кроме того, при температуре 45 °С наблюдалось отсутствие деления клеток с исчезновением их пигментации. Продуктивность культуры *A. platensis* увеличивалась с повышением температуры и была максимальной при 35 °С. Затем она снижалась при дальнейшем повышении температуры из-за уменьшения концентрации хлорофилла и других пигментов [Borowitzka M., Borowitzka L., 1998]. Процессы фотосинтеза, дыхания и роста в целом замедляются при превышении значений оптимальных температур в результате дисбаланса между потреблением энергии, производством АТФ и инактивации или денатурации белков, участвующих в фотосинтезе.

Для накопительной культуры удельная скорость роста зависит от множества факторов. На экспоненциальной фазе она постоянна и максимальна, затем уменьшается, достигая нуля в стационарной фазе. Поэтому корректно оценить влияние температуры на рост микроводорослей возможно только в экспоненциальной фазе или плотностате. Последующие фазы характеризуются лимитированием продуктивности культуры светом, биогенными элементами, метаболитами, которые, накапливаясь в среде, при определённой концентрации могут препятствовать нормальному протеканию биохимических процессов, в том числе обмену веществ, уменьшается число делений клеток [Варфоломеев, Калужный, 1990]. В связи с этим в контексте данной работы линейная и следующие далее фазы роста рассматриваться не будут.

На рисунке (1А) представлена динамика плотности культуры *A. platensis* в первые четверо суток. При увеличении температуры суспензии сохранялся экспоненциальный характер накопительной кривой, что говорит о постоянстве удельной скорости роста.

На рисунке (1В) представлена зависимость максимальной удельной скорости роста культуры *A. platensis* от температуры. Минимальная величина  $\mu_m = 0,32 \text{ сут}^{-1}$  наблюдалась при температуре суспензии 17 °С. С увеличением температуры до 30 °С значение удельной скорости роста также увеличивалось до  $0,85 \text{ сут}^{-1}$ .



**Рис. 1.** А — накопительные кривые роста культуры *A. platensis* при различной температуре, В — зависимость максимальной удельной скорости роста от температуры. Аппроксимация экспериментальных данных: уравнением Вант-Гоффа (3) — штрихпунктирная линия, уравнением Аррениуса (4) — пунктирная линия, линейной регрессией (5) — сплошная линия. Значения коэффициентов даны в тексте

Обычно температурная зависимость скорости роста моделируется с помощью классических выражений Вант-Гоффа (3) и Аррениуса (4). В качестве альтернативного подхода рассмотрим возможность применения ломаной для описания температурной кинетики роста. Для диапазона температур, относящихся к физиологической норме, используем выражение:

$$\mu_m = \begin{cases} \mu_{min} + \psi(t - t_{min}), & t_{min} \leq t \leq t_{opt} \\ \mu_{max}, & t_{opt} \leq t \leq t_{crit} \end{cases}, \quad (5)$$

где  $\mu_{min}$  — минимальное значение  $\mu_m$  при температуре  $t_{min}$ ,  $\mu_{max}$  — максимальное значение  $\mu_m$  при температуре  $t_{opt}$ ,  $\psi$  — температурный коэффициент роста  $\mu_m$ ,  $t_{crit}$  — критическая температура, при которой наблюдается снижение удельной скорости роста вследствие тепловой денатурации белков [Варфоломеев, Гуревич, 1999].

На рисунке (1) представлена аппроксимация экспериментальных данных зависимости  $\mu_m$  культуры *A. platensis* от температуры выражениями (3–5). Все модели с хорошей точностью описывают полученную температурную зависимость удельной скорости роста культуры *A. platensis*. При использовании модели Вант-Гоффа ( $R^2 = 0,89$ ) температурный коэффициент  $Q_{10}$  составил 2,1, при этом кривая описывается выражением:

$$\mu_m = 0,34 \cdot 2,1^{\frac{t-17}{10}}.$$

При аппроксимации экспериментальных данных моделью Аррениуса ( $R^2 = 0,91$ ) температурная кривая имеет вид:

$$\mu_m = 3,7e^{\frac{-359,72}{RT}}.$$

Уравнение линейной регрессии ( $R^2 = 0,91$ ), которое описывает полученную температурную кривую:

$$\mu_m = 0,3 + 0,04 \cdot (t - 17), 17 \leq t \leq 30. \quad (6)$$

Проведённые расчёты показывают, что применимость классических моделей вызывает множество вопросов. Например, модель Вант-Гоффа монотонно возрастает и удельная скорость никогда не достигнет насыщения. В противоположность модели Вант-Гоффа модель Аррениуса с рассчитанными значениями коэффициентов выходит на плато, но при этом температура составляет около 200 °С, что является невозможным.

Отметим, что в исследуемом диапазоне плотностей культуры мы наблюдали экспоненциальный (неограниченный) рост биомассы *A. platensis*. В таких условиях исключено влияние любого биогенного элемента на удельную скорость роста. Единственным лимитирующим фактором, который определяет величину  $\mu_m$ , является интенсивность света. Зависимость удельной скорости роста от освещённости исследована для многих видов микроводорослей, она имеет сложный нелинейный характер [Лелеков, Тренкеншу, 2021]. Максимальная величина удельной скорости роста полупоглощающей (экспоненциально растущей) культуры *A. platensis* составляет около 2,4 сут<sup>-1</sup> при поверхностной облучённости 100 Вт·м<sup>-2</sup> [Белянин, Сидько, Тренкеншу, 1980]. Полученные коэффициенты линейной регрессии (6) при бóльших (или меньших) значениях интенсивности света будут изменяться, однако прямая пропорциональность между  $\mu_m$  и температурой сохранится. В качестве доказательства проведём верификацию выражения (5) на других видах микроводорослей, относящихся к различным систематическим группам. Например, на рисунке (2) представлена температурная зависимость удельной скорости роста для двух зелёных видов, по данным [Rhee, Gotham, 1981; Ota et al., 2015]. Удельная скорость роста культуры *Scenedesmus sp.* увеличивается с ростом температуры и достигает максимального значения 1,36 сут<sup>-1</sup> при 20 °С. Оптимальный температурный диапазон для данного вида, в котором реализуется максимальная скорость роста, 20–25 °С [Rhee, Gotham, 1981]. Для *Chlorococum littorale* максимальная удельная скорость роста составляет 2,72 сут<sup>-1</sup> при достижении 22 °С [Ota et al., 2015]. И в первом, и во втором случае экспериментальные данные с высокой точностью ( $R^2 = 0,93$  и 0,99 соответственно) описываются ломаной (4). Для *Scenedesmus sp.* система (4) имеет вид:

$$\mu = \begin{cases} 0,2 + 0,077(t - 5), & 5 \leq t \leq 20 \\ 1,31, & 20 \leq t \leq 25 \end{cases}.$$

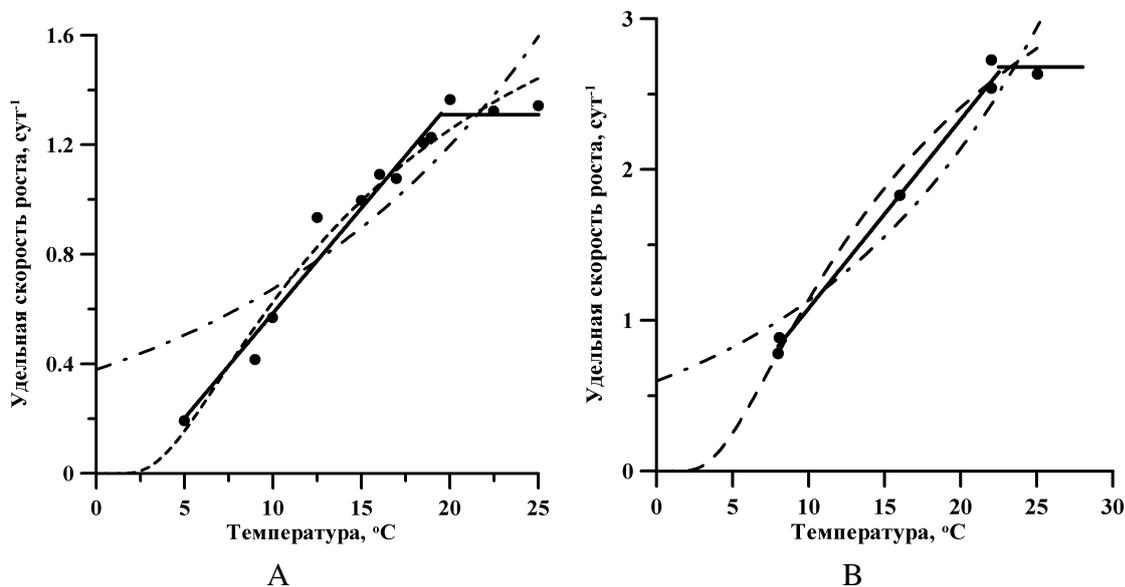
Аналогично для *Ch. littorale*:

$$\mu = \begin{cases} 0,82 + 0,125(t - 8), & 8 \leq t \leq 22 \\ 2,68, & 22 \leq t \leq 26 \end{cases}.$$

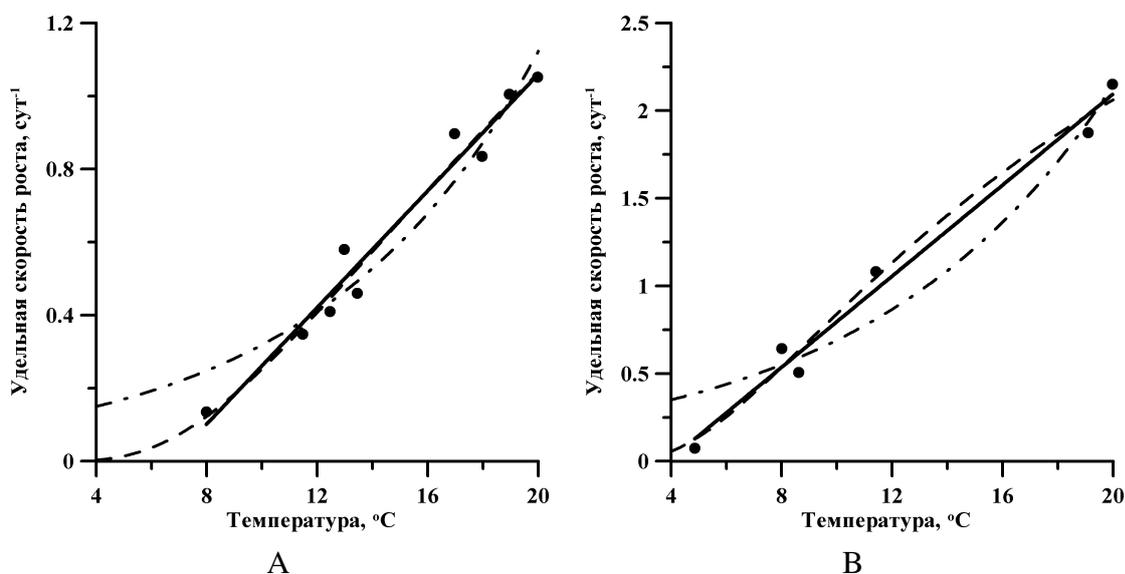
Рисунок (2) показывает, что предлагаемая линеаризованная модель зависимости удельной скорости роста культуры микроводорослей от температуры имеет высокую точность описания как в области низких, так и в области оптимальных температур. Для сравнения: модель Аррениуса хорошо описывает рост удельной скорости в области низких температур, однако в области оптимальных температур не выходит на плато.

На рисунке (3) представлена аппроксимация моделями (3–5) температурной зависимости удельной скорости роста двух диатомей, по экспериментальным данным [Rhee, Gotham, 1981; Perez, Pina, Rodriguez, 2008]. Максимальное значение удельной скорости роста культуры *Asterionella formosa* составляет 1,05 сут<sup>-1</sup> и достигается при 20 °С, при этом оптимальный

диапазон температур 19–20 °C [Rhee, Gotham, 1981]. Для культуры *Phaeodactylum tricornutum* максимальная скорость роста (2,15 сут<sup>-1</sup>) наблюдается также при температуре 20 °C, которая и является оптимальной для данного вида водоросли [Perez, Pina, Rodriguez, 2008]. Как и для других видов микроводорослей, точность описания данных линейной регрессией на рисунке (3) высокая ( $R^2 = 0,97$ ) и сопоставима с моделью Аррениуса.



**Рис. 2.** Зависимость удельной скорости роста культур *Scenedesmus sp.* (А) и *Chlorococcum littorale* (В) от температуры, по данным [Rhee, Gotham, 1981; Ota et al., 2015] соответственно. Аппроксимация экспериментальных данных: уравнением Вант-Гоффа (3) — штрихпунктирная линия, уравнением Аррениуса (4) — пунктирная линия, линейными сплайнами (5) — сплошная линия. Значения коэффициентов даны в тексте



**Рис. 3.** Зависимость максимальной удельной скорости роста культур *Asterionella formosa* (А) и *Phaeodactylum tricornutum* (В) от температуры, по данным [Rhee, Gotham, 1981; Perez, Pina, Rodriguez, 2008] соответственно. Аппроксимация экспериментальных данных: уравнением Вант-Гоффа (3) — штрихпунктирная линия, уравнением Аррениуса (4) — пунктирная линия, линейными сплайнами (5) — сплошная линия

## Заключение

Каждая из рассмотренных математических моделей, описывающих температурную кинетику скорости роста микроводорослей, имеет область определения и основывается на тех или иных допущениях. По сложившейся традиции в микробиологии используются модели, основывающиеся на формализме химической кинетики. Устоявшаяся парадигма моделирования роста культур микроводорослей подразумевает использование моделей: Аррениуса — для температурных зависимостей, Михаэлиса — Ментен (Моно) — для субстратзависимого роста, Бугера — Ламберта — Бера — для поглощения света и пр. Однако многочисленные данные свидетельствуют об отклонениях экспериментальных кривых от указанных моделей, что привело к появлению большого числа работ по их уточнению и модификации. Для кинетики светозависимого роста микроводорослей ещё в конце прошлого века предложен подход [Тренкеншу, 2005], в котором показано, что внутренняя организация ключевого ферментного комплекса определяет характер зависимости скорости фотосинтеза от приведённой плотности потока: чем лучше организована система, тем ближе эта зависимость к ломаной. Применение линейных сплайнов при моделировании кинетики субстратзависимого роста культуры микроводорослей также показало высокую точность описания экспериментальных данных [Лелеков, Тренкеншу, 2019]. Таким образом, учитывая результаты данной работы, можно сделать вывод, что линейные сплайны являются универсальным инструментом при моделировании фотобиосинтеза. Это создаёт основу для разработки теории роста культур микроводорослей.

## Список литературы

1. Алексеев В. В., Крышев И. И., Сазыкина Т. Г. Физическое и математическое моделирование экосистем. – Санкт-Петербург : Гидрометеиздат, 1992. – 367 с.
2. Артюхов В. Г., Ковалева Т. А., Шмелев В. П. Биофизика : учеб. пособие. – Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 1994. – 336 с.
3. Белянин В. Н., Сидько Ф. Я., Тренкеншу А. П. Энергетика фотосинтезирующей культуры микроводорослей. – Новосибирск : Наука, 1980. – 136 с.
4. Варфоломеев С. Д., Гуревич К. Г. Биокинетика : практ. курс. – Москва : Гранд : ФАИР-ПРЕСС, 1999. – 720 с.
5. Варфоломеев С. Д., Калужный С. В. Биотехнология. Кинетические основы микробиологических процессов : учеб. пособие для биол. и хим. специальностей вузов. – Москва : Высш. шк., 1990. – 296 с.
6. Ильичев В. Г., Ильичева О. А. Гипотезы об адаптации водорослей к периодическим факторам среды // Биофизика. – 2021. – Т. 66, № 2. – С 350–357. – <https://doi.org/10.31857/S0006302921020162>
7. Кулаков М. П., Фрисман Е. Я. Моделирование пространственно-временной динамики популяции с возрастной структурой и дальнедействующими взаимодействиями: синхронизация и кластеризация // Математическая биология и биоинформатика. – 2019. – Т. 14, № 1. – С. 1–18. – <https://doi.org/10.17537/2019.14.1>
8. Курганов Б. И. Принципы интеграции клеточного метаболизма // Молекулярная биология. – 1986. – Т. 20, № 2. – С. 369–377.

9. Лелеков А. С., Тренкениш Р. П. Двухкомпонентная модель роста микроводорослей в плотностате // Математическая биология и биоинформатика. – 2021. – Т. 16, № 1. – С. 101–114. – <https://doi.org/10.17537/2021.16.101>
10. Лелеков А. С., Тренкениш Р. П. Моделирование динамики азотистых соединений в клетках микроводорослей. 2. Хемостат // Математическая биология и биоинформатика. – 2019. – Т. 14, № 2. – С. 450–463. – <https://doi.org/10.17537/2019.14.450>
11. Минкевич И. Г. Математические проблемы организации метаболических путей из биохимических реакций // Математическая биология и биоинформатика. – 2016. – Т. 11, № 2. – С. 406–425. – <https://doi.org/10.17537/2016.11.406>
12. Тренкениш Р. П. Кинетика субстратзависимых реакций при различной организации метаболических систем. – Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2005. – 89 с. – URL: <https://repository.marine-research.org/bitstream/299011/6620/1/trenkens.pdf> (дата обращения: 12.04.2021).
13. Тренкениш Р. П., Лелеков А. С. Моделирование роста микроводорослей в культуре. – Белгород : Константа, 2017. – 152 с. – <https://doi.org/10.21072/978-5-906952-28-8>
14. Тренкениш Р. П. Расчёт удельной скорости роста микроводорослей // Морской биологический журнал. – 2019. – Т. 4, № 1. – С. 100–108. – <https://doi.org/10.21072/mbj.2019.04.1.09>
15. Тренкениш Р. П., Лелеков А. С., Боровков А. Б., Новикова Т. М. Унифицированная установка для лабораторных исследований микроводорослей // Вопросы современной альгологии. – 2017. – № 1 (13). – URL: <http://algology.ru/1097>. – Дата публикации: 09.12.2016.
16. Borowitzka M. A., Borowitzka L. J. Microalgal biotechnology. – Cambridge : Cambridge Univ. Press, 1998. – 480 p.
17. Kumar M., Kulshreshtha J., Singh G. P. Growth and biopigment accumulation of cyanobacterium *Spirulina Platensis* at different light intensities and temperature // Brazilian Journal of Microbiology. – 2011. – Vol. 42, iss. 3. – P. 1128–1135. – <https://doi.org/10.1590/s1517-838220110003000034>
18. Monod J. The growth of bacterial cultures // Annual Review of Microbiology. – 1949. – Vol. 3. – P. 371–394. – <https://doi.org/10.1146/annurev.mi.03.100149.002103>
19. Ota M., Takenaka M., Sato Yo., Smith R. L., Inomata H. Effects of light intensity and temperature on photoautotrophic growth of a green microalga, *Chlorococcum littorale* // Biotechnology Reports. – 2015. – Vol. 7. – P. 24–29. – <https://doi.org/10.1016/j.btre.2015.05.001>
20. Perez E. B., Pina I. C., Rodriguez L. P. Kinetic model for growth of *Phaeodactylum tricornutum* in intensive culture photobioreactor // Biochemical Engineering Journal. – 2008. – Vol. 40, iss. 3. – P. 520–525. – <https://doi.org/10.1016/j.bej.2008.02.007>
21. Ras M., Steyer J.-P., Bernard O. Temperature effect on microalgae: a crucial factor for outdoor production // Reviews in Environmental Science and Bio/Technology. – 2013. – Vol. 12, no. 2. – P. 153–164. – <https://doi.org/10.1007/s11157-013-9310-6>
22. Ratkowsky D. A., Olley J., McMeekin T. A., Ball A. Relationship between temperature and growth rate of bacterial cultures // Journal of Bacteriology. – 1982. – Vol. 149, iss. 1. – P. 1–5.
23. Rhee G. Y., Gotham I. J. The effect of environmental factors on phytoplankton growth: temperature and the interactions of temperature with nutrient limitation // Limnology and Oceanography. – 1981. – Vol. 26, iss. 4. – P. 635–648. – <https://doi.org/10.4319/lo.1981.26.4.0635>

**STUDY OF THE TEMPERATURE EFFECT ON THE SPECIFIC  
GROWTH RATE OF *ARTHROSPIRA PLATENSIS* CULTURE**

**Klochkova V. S.<sup>1</sup>, Lelekov A. S.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation,*

<sup>2</sup>*A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russian Federation,  
e-mail: a.lelekov@yandex.ru*

**Abstract:** The work is focused on mathematical modeling of temperature on the specific growth rate of microalgae culture. The analysis of classical models that describe the temperature kinetics of microalgae growth is carried out. Batch curves of the cyanoprokaryota *A. platensis* were obtained at different temperature values. At the exponential growth phase, the maximum specific rate of culture was determined, which at 17 °C was minimal and amounted to 0.32 day<sup>-1</sup>, and at 30 °C it was maximal and equal to 0.85 day<sup>-1</sup>. In the field of physiological norm, the possibility of using a linear splines to describe the dependence of the specific growth rate on temperature for *A. platensis*, green and diatom microalgae is shown.

**Keywords:** microalgae, batch culture, exponential growth phase, specific growth rate, temperature.

Сведения об авторах

Клочкова Виктория Сергеевна студентка 4-го курса, специальность «физика живых систем», Севастопольский государственный университет, viki-iki@mail.ru

Лелеков Александр Сергеевич кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», a.lelekov@yandex.ru

*Поступила в редакцию 29.11.2021 г.*

*Принята к публикации 31.03.2022 г.*

ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ, ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ  
И ПАЛЕОНТОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК 502.5(292.471-751.2)

DOI: [10.21072/eco.2022.21.06](https://doi.org/10.21072/eco.2022.21.06)

**ЛАНДШАФТНАЯ СТРУКТУРА БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ ПАМЯТНИКА ПРИРОДЫ  
«ПРИБРЕЖНЫЙ АКВАЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС У МЫСА САРЫЧ»\***

**Панкеева Т. В., Миронова Н. В.**

*ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», г. Севастополь,  
Российская Федерация,  
e-mail: [tatyanapankeeva@yandex.ru](mailto:tatyanapankeeva@yandex.ru)*

**Аннотация:** Приведены сведения о ландшафтной структуре памятника природы регионального значения «Прибрежный аквальный комплекс (ПАК) у мыса Сарыч» (Южный берег Крыма, район г. Севастополя). Ландшафтное разнообразие памятника природы обусловлено наличием морских и сухопутных ландшафтов, формирование которых происходит в зоне контакта суши и моря. Ландшафтные исследования (2019–2021 гг.) проводили методом ландшафтного профилирования на ключевых участках. В ходе изучения памятника природы была уточнена и детализирована ландшафтная структура сухопутной части и прилегающей территории, выделены 2 местности, 7 урочищ. Доминируют 2 местности: приморское эрозионно-денудационное низкогорье, для которого характерны урочища выположенных водораздельных поверхностей с дубово-можжевельным редколесьем, и пляжево-клифовая, особенностью которой является динамичность гравитационных процессов, при этом наземная растительность достаточна бедна. Впервые составлена ландшафтная карта прибрежной зоны памятника природы «ПАК у мыса Сарыч»; выделены 3 местности, 6 урочищ. Для глыбово-валунного бенча и подводного берегового склона, сложенного грубообломочными отложениями, характерно преобладание ерикарии косматой. На подводном береговом склоне, сложенном грубообломочными отложениями, доминируют ерикария косматая и гонголария бородатая и чередуются с галечно-гравийными с битой ракушей донными осадками, где преобладает филлофора курчавая. На слабонаклонной равнине, на участке, сложенном псаммитовыми отложениями, господствует филлофора курчавая, а на участке, сложенном гравийно-щебнистыми с битой ракушей донными осадками, преобладают филлофора курчавая и кодиум червеобразный. На основе ландшафтного подхода предложены рекомендации по оптимизации природоохранного режима памятника природы.

**Ключевые слова:** ландшафт, макрофитобентос, особо охраняемые природные территории, Чёрное море.

### Введение

В 1972 г. для сохранения ландшафтного и биологического разнообразия береговой зоны решением Крымского облисполкома от 22.02.72 г. № 97 (подтверждено совместным решением Крымского облисполкома и Севастопольского горисполкома от 31.12.1984 г. № 22/896 «О сети территорий и объектов природно-заповедного фонда») был создан гидрологический памятник природы местного значения «Прибрежный аквальный комплекс у мысов Ласпи — Сарыч». Постановлением Правительства г. Севастополя от 25.05.2015 г. № 417-ПП «Об утверждении перечня особо охраняемых природных территорий регионального значения, расположенных в г. Севастополе» объект переименован в гидрологический памятник природы регионального значения «Прибрежный аквальный комплекс (ПАК) у мыса Сарыч».

---

\* Работа выполнена в рамках госзадания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Исследование механизмов управления продукционными процессами в биотехнологических комплексах с целью разработки научных основ получения биологически активных веществ и технических продуктов морского генезиса» (гос. рег. № 121030300149-0).

В настоящее время сведения о ландшафтном и биологическом разнообразии ООПТ города федерального значения Севастополя монографически обобщены, однако для морских охраняемых акваторий (МОА) они малочисленны [Мильчакова и др., 2015; Особо охраняемые природные ... , 2020].

В связи с этим цель работы заключалась в изучении и картографировании ландшафтной структуры береговой зоны гидрологического памятника природы регионального значения «ПАК у мыса Сарыч» для оптимизации его природоохранного режима.

### Материалы и методы исследования

Памятник природы «ПАК у мыса Сарыч» расположен в южной части г. Севастополя, общая протяжённость береговой линии достигает 1900,0 м, ширина акватории — 300 м. Его общая площадь составляет 62,28 га, из которых площадь территории — 3,51 га, акватории — 58,77 га.

Сложность геолого-геоморфологического строения территории гидрологического памятника природы обусловлена его приуроченностью к зоне взаимодействия суши и моря с активно протекающими геологическими и физико-географическими процессами. Приморская часть исследуемого участка представляет собой эрозионно-денудационное низкоегорье с системой плоских водоразделов и горных долин с отдельными останцами. Клиф — обрывистый (высота 20–30 м), выработан в коренных таврических отложениях, а также в пролювиально-древнеоползневых глыбово-щебнисто-суглинистых отложениях. Берег — абразионно-обвальный. Для побережья характерны глыбовые навалы известняка (диаметром до 10 м), которые погружаются в море без переходной зоны. На большей части территории хорошо выражен глыбовый бенч, который чередуется с участками галечникового бенча [Горячкин, Долотов, 2019]. Узкий бенч круто опускается на значительную глубину. Берег у мыса Сарыч приглубый. Изобата 20 м проходит на расстоянии 50 м от берега. Дно образует несколько террас.

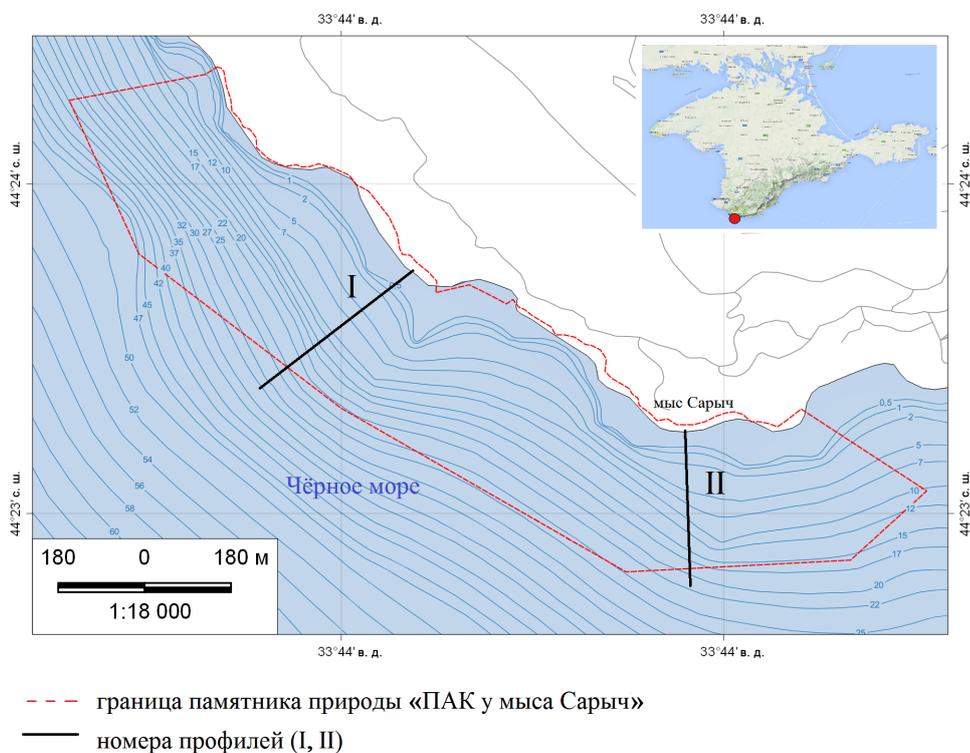
Для исследуемой акватории в течение всего года преобладает антициклоническая завихрённость прибрежных течений. Частые и сильные ветра определяют круглогодичное воздействие волн на берега, хотя их конфигурация ограничивает распространение некоторых румбов, преобладают волны северного и южного направлений. Летом наблюдаются резкие кратковременные понижения температуры воды у берега, вызываемые подъёмами глубинной воды при сгонных ветрах [Агаркова-Лях, 2015].

Наземная растительность памятника природы «ПАК у мыса Сарыч» представлена древесно-кустарниковыми сообществами, состоящими из трёх доминирующих видов деревьев: можжевельника высокого (*Juniperus excelsa* M. Bieb.), дуба пушистого (*Quercus pubescens* Willd.) и фисташки туполистной (*Pistacia mutica* Fisch. & C.A. Mey.). В подлеске встречаются иглица колючая (*Ruscus aculeatus* L.) и ладанник крымский (*Cistus tauricus* C. Presl.), из травянистых растений — ковыль камнелюбивый (*Stipa eriocaulis* Borb subsp. *lithophila* (P. Smirn.) Tzvelev), левкой душистый (*Matthiola odoratissima* (Pall. ex M. Bieb.) W.T. Aiton), наголоватка Регнера (*Jurinea roegneri* K. Koch), пырей узловатый (*Elytrigia nodosa* (Nevski) Nevski), спаржа лекарственная (*Asparagus officinalis* L.), шафран узколистный (*Crocus angustifolius* Weston) и др. [Мильчакова и др., 2015]. На территории памятника природы отмечены виды, которые внесены в Красную книгу Российской Федерации (ККРФ) [Красная книга Российской ... , 2008] и Красную книгу Севастополя (ККС) [Красная книга города ... , 2018], такие как можжевельник высокий (*Juniperus excelsa*), фисташка туполистная (*Pistacia mutica*) и мачок жёлтый (*Glaucium flavum* Crantz). В список объектов растительного мира ККС входят: можжевельник дельтовидный (*Juniperus deltoides* R.P. Adams), земляничник мелкоплодный (*Arbutus andrachne* L.), иглица колючая (*Ruscus aculeatus*), ладанник крымский (*Cistus tauricus*), шафран узколистный (*Crocus angustifolius* Weston), каперсы травянистые (*Capparis herbacea* Willd.), критмум морской (*Crithmum maritimum* L.), ковыль камнелюбивый (*Stipa eriocaulis*) [Мильчакова и др., 2015].

В составе альгофлоры памятника природы «ПАК у мыса Сарыч» встречаются редкие виды водорослей — церамиум завитой (*Ceramium circinatum* (Kütz.) J. Ag.), диктиота дихотомическая (*Dictyota dichotoma* (Huds.) J.V. Lamour.), диктиота перепутанная (*Dictyota implexa* (Desfontaines) J.V. Lamour.), немалион червеобразный (*Nemalion elminthoides* (Velle) Batters) и сфацелария карликовая (*Sphacelaria nana* Nägeli ex Kützing) [Мильчакова и др., 2015]. Многие виды морской флоры памятника природы занесены в ККРФ [Красная книга Российской ... , 2008], Красную книгу Республики Крым (ККРК) [Красная книга Республики ... , 2015], ККС [Красная книга города ... , 2018] и списки международных конвенций, что свидетельствует о природоохранной ценности акватории. Так, филлофора курчавая (*Phyllophora crispa* (Huds.) P.S. Dixon) и стилофора нежная (*Stilophora tenella* (Esper) P.C. Silva) входят в состав ККРФ, ККРК и ККС, а ерикария косматая (*Ericaria crinita* (Duby) Molinari & Guiry = *Cystoseira crinita*), гонголария бородатая (*Gongolaria barbata* (Stackhouse) Kuntze = *Cystoseira barbata*) и лауренция чашевидная (*Laurencia coronopus* J. Ag.) — в ККРК, нерейя нитевидная (*Nereia filiformis* (J.Ag.) Zanard.), кодיום червеобразный (*Codium vermilara* (Olivi) Delle Chiaje) — в ККРК и ККС.

На прилегающей территории расположены земли селитебного, рекреационного, лесохозяйственного и специального (военного) назначения, развита тропиновая сеть и грунтовые дороги. Памятник природы входит в состав Южнобережного приморского экокоридора экологического каркаса Крыма.

При исследовании ландшафтной структуры памятника природы «ПАК у мыса Сарыч» использовали метод ландшафтного профилирования с детальным описанием трансект и ключевых участков. Ландшафтные профили заложены для двух трансект (рис. 1). Трансекты простирались от сухопутной границы памятника природы до нижней границы обитания донной растительности (табл.1).



**Рис. 1.** Карта-схема расположения ландшафтных профилей памятника природы «ПАК у мыса Сарыч» (2020 г.)

Таблица 1

**Координаты, диапазон глубин и ширина фитали  
на трансектах памятника природы «ПАК у мыса Сарыч»**

№ разреза	Координаты		Диапазон глубин, м
	Северная широта	Восточная долгота	
I	44°23.347′	033°44.175′	0,5–20
II	44°23.573′	033°43.636′	0,5–20

Полевые работы по изучению ландшафтной структуры сухопутной части и подводные исследования в прибрежной зоне памятника природы проводили в мае — июле 2019–2021 гг. Работы в акватории выполняли с применением легководолазного снаряжения [Петров, 1989]. Координаты трансект определяли при помощи портативного GPS-приёмника (*Oregon 650*). Первоначально дайверы-исследователи (команда состояла из двух человек), снабжённые дайв-компьютером (*AERIS F10*), проходили вдоль мерной линии, выполняя фото- и видеосъёмку, визуально определяли проективное покрытие дна макрофитами (ПП) и описывали донные отложения, пользуясь классификацией морских обломочных осадков по гранулометрическому составу [Блинова, Пронина, Штрик, 2005]. Для изучения состава фитобентоса использованы материалы гидроботанической съёмки, проведённой в границах трасект. Отбор проб макрофитов проводили по стандартной методике [Калугина-Гутник, 1969]. Идентификацию видов водорослей проводили по определителю [Зинова, 1967] с учётом последних номенклатурных изменений. Выделение фитоценозов осуществляли согласно доминантной классификации по А. А. Калугиной-Гутник [Калугина-Гутник, 1975].

Для создания ландшафтной карты использовали программный пакет *QGIS 2.18.25* и электронную основу навигационной карты. Географическую привязку границ донных природных комплексов (ДПК) и определение их площади осуществляли с помощью программы *QGIS*. Сопряжённый анализ батиграфии, карт литологического состава и данных водолазной съёмки позволили провести экстраполяцию участков дна со сходными параметрами для выделения границ ДПК. Результаты обобщения исследований ландшафтной структуры изучаемого района отражены на ландшафтной карте (рис. 2). Ландшафтная структура памятника природы исследована на уровне типов местностей и урочищ.

### Результаты исследований и их обсуждение

*Ландшафтная структура памятника природы «ПАК у мыса Сарыч» и прилегающей к нему территории* (рис. 2). Памятник природы расположен в низкогорном поясе зоны южного макросклона гор, дубовых, фисташково-дубовых, можжевельново-сосновых лесов и шибляковых зарослей. В прошлом территория была занята фисташково-дубовыми и можжевельново-сосновыми лесами с участием вечнозелёных растений [Позаченюк и др., 2020]. В настоящее время эти леса вторичные, находящиеся на стадии восстановления. Представлены сильноэродированные коричневые почвы.

В ландшафтной структуре выделены две местности: приморско-эрозионно-денудационное низкогорье (1) и пляжево-клифовая (2) (рис. 2). Для приморского эрозионно-денудационного низкогорья характерно урочище выположенных водораздельных поверхностей с дубово-можжевельновым редколесьем и участием фисташки туполистной, можжевельника дельтовидного с подлеском из иглицы понтийской и ладанника крымского (1.1). В травяном ярусе доминирует пырейная ассоциация (*Elytrigia nodosa*) с проективным покрытием под кронами 10–20 %. Обильны эфемеры-однолетники, много жабрицы вильчатой (*Seseli dichotomum* Pall. ex M. Bieb.), тимьяна

Рёгнера (*Thymus roegneri* K. Koch), фуманы клейковатой (*Fumana viscidula* (Stev.) Juz.) и др. Модификация этого урочища связана с наличием рекреационных и селитебных комплексов (1.2). Водораздельные поверхности чередуются с горными балками (1.3), в которых распространены можжевельново-дубовые разреженные леса с участием фисташки туполистной. В подлеске — ладанник крымский (*Cistus tauricus*) и иглица колючая (*Ruscus aculeatus*). Здесь также доминирует пырейная ассоциация из пырея узловатого (*Elytrigia nodosa*) с участием овсяницы валисской (*Festuca valesiaca* subsp. *valesiaca* Gaudin), осоки Галлера (*Carex halleriana* Asso), осоки заострённой (*Carex acutiformis* Ehrh.), жабрицы вильчатой (*Seseli dichotomum*), тимьяна Рёгнера (*Thymus roegneri*) и др. Местами отмечены куртины иглицы колючей (*Ruscus aculeatus*), а по тальвегу — заросли тростника южного (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.).

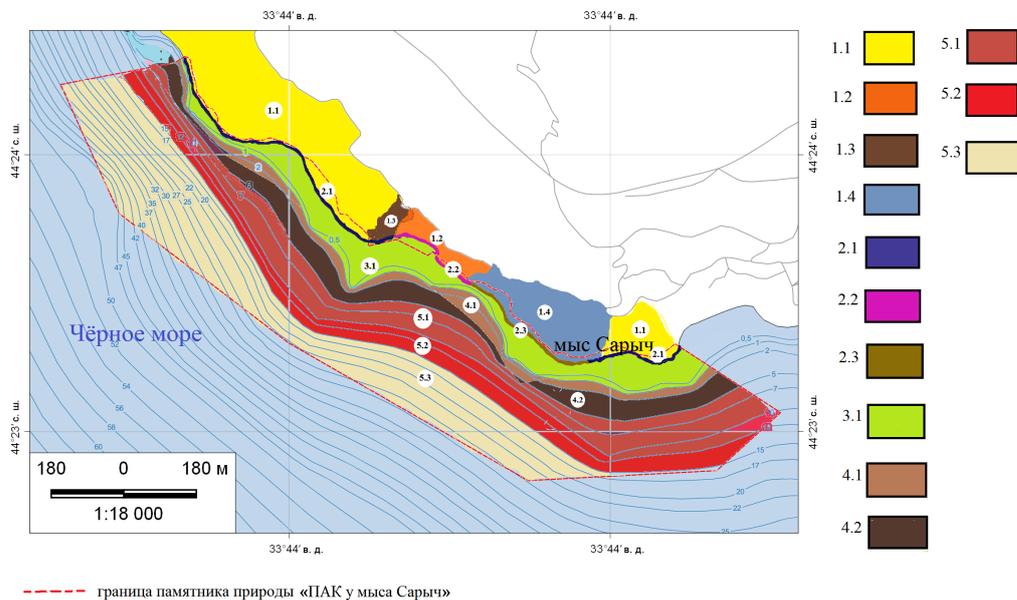
В юго-восточной части памятника природы единично отмечено урочище оползневых пологих и среднекрутых склонов с можжевельновым редколесьем (1.4). В подлеске можжевельниковых сообществ встречается ладанник крымский (*Cistus tauricus*), единично присутствует можжевельник дельтовидный (*Juniperus deltoides* R.P. Adams). В травостое преобладает типчаково-пырейная либо чиево-пырейная ассоциация с проективным покрытием от 10 до 50–70 %. Обильны солонечник мохнатый (*Galatella villosa* (L.) Rech. f.), кохия распростёртая (*Kochia prostrata* (L.) Schrad.), пятилистник травянистый (*Dorycnium herbaceum* Vill.), фумана клейковатая (*Fumana viscidula*), полынь австрийская (*Artemisia austriaca* Jacq.).

Местность пляжево-клифовая (2) выражена на всём протяжении береговой зоны памятника природы. Особенностью этого типа местности является динамичность гравитационных процессов, при этом наземная растительность достаточна бедна. На обрывистых склонах активного клифа, сложенного делювием (2.1), располагаются участки, занятые овсом персидским (*Avena persica* Steud.) и ячменём луковичным (*Hordeum bulbosum* L.), встречаются пятна донника белого (*Melilotus albus* Medik.). Единично на скалах отмечены жабрица камеденосная (*Seseli gummiferum* Pall. ex Smith) и резуха кавказская (*Arabis caucasica* Schldtl.), на рыхлых осыпях — василёк бесплодный (*Centaurea sterilis* Steven) и каперсы травянистые (*Capparis herbacea* Willd.). Вдоль клифа фрагментарно расположены урочища глыбового бенча в комплексе с фрагментами галечникового пляжа (2.2) и галечниково-глыбового бенча (2.3), где наземная растительность крайне бедна.

Ландшафтная структура памятника природы «ПАК у мыса Сарыч» и прилегающей к нему акватории (рис. 2). Характерные черты ландшафтной структуры акватории памятника природы «ПАК у мыса Сарыч» определяется тремя типами местности, дифференциация которых обусловлена особенностями геолого-геоморфологического строения береговой зоны и поясным распространением донной растительности.

На глубине 0,5–1 м отмечено урочище глыбово-валунного бенча с преобладанием ерикарии косматой (3.1). Проективное покрытие дна макрофитами (ПП) на этих глубинах достигает 100 %. Описан характерный для этих отложений фитоценоз *Ericaria crinita*, где доминирующая роль принадлежит её эдификатору. В структуре этого сообщества обильно представлена зелёная водоросль — ульва кишечница (*Ulva intestinalis* L.). На талломах ерикарии косматой (*Ericaria crinita*) произрастают эпифиты, среди них господствует однолетний вид — церамиум прозрачный (*Ceramium diaphanum* (Lightf.) Roth.).

На глубине 1–3 м формируется урочище подводного берегового склона, сложенного грубо-обломочными отложениями, где доминирует ерикария косматая (4.1). Значения ПП на этих глубинах также максимальные. Описан фитоценоз *Ericaria crinita*. Его биомасса при увеличении глубины значительно возрастает, при этом сохраняется господствующее положение её эдификатора. Показательно, что в изучаемом интервале глубин обильно встречается эпифитная синузия, среди эпифитов преобладают сезонно-летние виды — церамиум прозрачный (*Ceramium diaphanum*) и коринофлея зонтичная (*Corynophlaea umbellata* C.Ag. Kütz.).



**Рис. 2.** Карта-схема ландшафтной структуры памятника природы «ПАК у мыса Сарыч» и прилегающей к нему территории

Условные обозначения:

**Сухопутные ландшафты:**

*Местность:* 1 — приморское эрозионно-денудационное низкогорье, сложенное отложениями таврической серии с можжевело-дубовым редколесьем на сильноэродированных коричневых почвах.

*Урочища:* 1.1 — выположенные водораздельные поверхности с дубово-можжевеловым редколесьем и участием фисташки туполистной, можжевельника дельтовидного с подлеском из иглицы понтийской и ладанника крымского; 1.2 — антропогенно-преобразованные выположенные водораздельные поверхности с дубово-можжевеловым редколесьем и участием фисташки туполистной, можжевельника дельтовидного с подлеском из иглицы понтийской и ладанника крымского; 1.3 — горные долины с дубово-можжевеловым редколесьем и участием фисташки туполистной, можжевельника дельтовидного с подлеском из иглицы понтийской и ладанника крымского; 1.4. — оползневые пологие и среднекрутые склоны с можжевеловым редколесьем.

*Местность:* 2 — пляжево-клифовая.

*Урочища:* 2.1 — обрывистые склоны активного клифа, сложенные делювием; 2.2 — глыбовый бенч в комплексе с фрагментами галечникового пляжа; 2.3 — галечниково-глыбовый бенч.

**Морские ландшафты:**

*Местность:* 3 — глыбово-валунный бенч.

*Урочище:* 3.1 — с преобладанием ерикарии косматой.

*Местность:* 4 — подводный береговой склон.

*Урочища:* 4.1 — сложенный грубообломочными отложениями, где доминирует ерикария косматая; 4.2 — сложенный грубообломочными отложениями, где доминируют ерикария косматая и гонголария бородастая, с чередованием галечно-гравийных с битой ракушей отложений, где преобладает филофора курчавая.

*Местность:* 5 — слабонаклонная аккумулятивная равнина.

*Урочища:* 5.1 — сложенная псаммитовыми отложениями с доминированием филофоры курчавой; 5.2 — сложенная гравийно-щебнистыми отложениями с битой ракушей с преобладанием филофоры курчавой и кодидума червеобразного; 5.3 — сложенная песчаными отложениями, где донная растительность отсутствует.

Глубина 3–5 м приурочена урочищу *подводного берегового склона, сложенного грубо-обломочными отложениями, где доминируют ерикария косматая и гонголария бородатая, с чередованием галечно-гравийных с битой ракушкой донных осадков, где преобладает филлофора курчавая* (4.2). Значения ПП на этих глубинах высокие (90–100 %). Описан фитоценоз *Ericaria crinita + Gongolaria barbata — Phyllophora crispa*. Его биомасса в этом интервале глубин незначительно варьирует, при этом господствуют представители видов первого яруса. Характерно, что на этих относительно небольших глубинах обильно представлен глубоководный вид — *Phyllophora crispa*. В структуре альгосообщества отмечены кораллина зерноносная (*Corallina granifera* J. Ellis & Solander), ульва жёсткая (*Ulva rigida* C. Ag.) и глубоководный вид — занардиния типичная (*Zanardinia typus* (Nardo) P.C. Silva). Роль эпифитной синузии невелика. В её составе преобладают сезонно-зимний вид бриопсис перистый (*Bryopsis plumosa* (Huds.) C. Ag.) и церамиум красный (*Ceramium virgatum* Roth), также встречаются стилофора нежная (*Stilophora tenella*), лауренция тупая (*Laurencia obtusa* (Huds.) J.V. Lamour.), вертебрата шилоносная (*Vertebrata subulifera* (C. Ag.) Kuntz.) и глубоководный вид — осмундия перистонадрезная (*Osmundea pinnatifida* (Huds.) Stackh.).

На глубине 5–10 м зарегистрировано урочище *слабонаклонной равнины, сложенной псаммитовыми отложениями с доминированием филлофоры курчавой* (5.1). Значения ПП не превышают 90 %. Описан фитоценоз *Phyllophora crispa*. Основной вклад в его биомассу вносит господствующий вид. Среди зарослей филлофоры курчавой (*Phyllophora crispa*) отмечены занардиния типичная (*Zanardinia typus*) и литофитная форма бриопсиса перистого (*Bryopsis plumosa*). Вклад эпифитных водорослей невысокий, в их составе преобладает бриопсис перистый (*Bryopsis plumosa*).

На глубине 10–15 м отмечено урочище *слабонаклонной равнины, сложенной гравийно-щебнистыми с битой ракушкой отложениями с преобладанием филлофоры курчавой и кодиума червеобразного* (5.2). Значения ПП в этом диапазоне глубин достигают 90 %. Описан фитоценоз *Phyllophora crispa + Codium vermilara*. В составе его биомассы — примерно равные доли доминирующего вида и содоминанта. В составе альгосообщества обильно представлена литофитная форма бриопсиса перистого (*Bryopsis plumosa*), изредка встречается глубоководный вид – каррадориелла удлинённая (*Carradoriella elongata* (Huds.) Savoie & G.W.Saunders = *Polysiphonia elongata*). Вклад эпифитной синузии незначителен.

На глубине свыше 15 м зафиксирована *слабонаклонная равнина, сложенная песчаными отложениями, где донная растительность отсутствует* (5.3).

Памятник природы «ПАК у мыса Сарыч» отличается ландшафтным и биологическим разнообразием, аттрактивностью, наличием видов растений и животных, произрастающих и обитающих на территории ООПТ, которые внесены в ККРФ, ККРК и ККС. Научную и природоохранную ценность имеют прибрежные и наземные ландшафты, приуроченные к бенчево-клифовой зоне мыса Сарыч. В то же время территория, прилегающая к памятнику природы, испытывает значительную антропогенную нагрузку, связанную с функционированием на сопредельных территориях рекреационных объектов и поселка коттеджного типа, что приводит к активизации обвальнопользовательских процессов и уничтожению прибрежных и приморских ландшафтов.

С целью оптимизации природоохранного режима сухопутная часть памятника природы «ПАК у мыса Сарыч» должна включать зону развития активных динамических процессов и составлять не менее 200–300 м территории, примыкающей к бровке обрыва (сейчас не превышает 100 м). Кроме этого, необходимо поддержание режима водоохранной зоны, ширина которой, согласно статье 65 Водного кодекса РФ, составляет 500 м, где устанавливается специальный режим осуществления хозяйственной и иной деятельности.

Необходимо отметить, что в начале 70–80-х гг. прошлого века, на момент организации сети объектов ООПТ в Крыму и г. Севастополе, для гидрологических памятников природы регионального значения была установлена своеобразная территориальная «квота» — 300 м ширины от кромки воды вглубь морской акватории. Однако научные обоснования размера каждой конкретной охраняемой морской акватории памятников природы отсутствуют, хотя эта цифра требует значительной корректировки. Так, например, как показали исследования, для морской акватории памятника природы «ПАК у мыса Лукулл» расстояние от кромки воды должно составлять не менее 700–900 м в связи с тем, что донные природные комплексы, которые отличаются высоким биологическим разнообразием, наличием охраняемых видов макрофитов, расположены за границами охраняемого памятника природы [Панкеева, Миронова, Пархоменко, 2021]. В то же время для памятника природы «ПАК у мыса Сарыч» размеры морской акватории не требуют изменения. Таким образом, в дальнейшем будет целесообразно уточнить площадь и конфигурацию как границ памятников природы, так и их буферной зоны, в зависимости от природных особенностей с учётом влияния антропогенного фактора на берегоформирование.

При организации и управлении природопользованием наземно-морских резерватов необходимо учитывать, что надводная и подводная части береговой зоны являются элементами одной геосистемы, единой в структурно-генетическом и функционально-динамическом отношении, которые объединяются в одно целое вещественно-энергетическими потоками. В связи с этим целесообразно использовать системный подход к охране береговой зоны, что обеспечит наилучшие результаты по сохранению и восстановлению наземных и морских экосистем.

Для сохранения ландшафтного и биологического разнообразия важную роль играет разработка концепции экологических сетей, повышение природоохранного статуса охраняемых объектов с включением в их состав прибрежных территорий. Практически не разработанными являются вопросы сопряжения наземных и морских экологических сетей в контактной зоне суша — море. В перспективе памятник природы «ПАК у мыса Сарыч» необходимо включить в состав единого природоохранного объекта вместе с прилегающими объектами ООПТ, такими как государственные ландшафтные заказники «Мыс Айя», «Скалы Ласпи» и заповедное урочище «Скалы Ласпи». Это позволит создать южнобережный наземно-морской резерват, который в полном объёме будет выполнять природоохранные задачи.

### **Заключение**

На основе проведённых исследований показано, что на формирование ландшафтной структуры памятника природы «ПАК у мыса Сарыч» оказывают влияние природные особенности береговой зоны. Ландшафтное разнообразие памятника природы обусловлено наличием морских и сухопутных ландшафтов, формирование которых происходит в зоне контакта суши и моря. В ходе изучения памятника природы была уточнена и детализирована ландшафтная структура сухопутной части и прилегающей территории, выделены 2 местности, 7 урочищ. Доминируют 2 местности: приморское эрозионно-денудационное низкоромье, для которого характерны урочища выположенных водораздельных поверхностей с дубово-можжевельниковым редколесьем, и пляжево-клифовая, особенностью которой является динамичность гравитационных процессов, при этом наземная растительность достаточно бедна. Впервые составлена ландшафтная карта прибрежной части и прилегающей акватории; выделены 3 местности, 6 урочищ. Для глыбово-валунного бенча и подводного берегового склона, сложенного грубообломочными отложениями, характерно преобладание ерикарии косматой. На подводном береговом склоне, сложенном грубообломочными отложениями, доминируют ерикария косматая и гонголария бородатая и чередуются с галечно-гравийными с битой ракушкой донными осадками,

где преобладает филлофора курчавая. На слабонаклонной равнине, на участке, сложенном псаммитовыми отложениями, господствует филлофора курчавая, а на участке, сложенном гравийно-щебнистыми (неокатанными) с битой ракушей донными осадками, преобладают филлофора курчавая и кодидум червеобразный.

Применение ландшафтного подхода позволит оптимизировать природопользование и мониторинг природных и антропогенных процессов на наземных территориях и морских акваториях, будет способствовать устойчивому и сбалансированному развитию приморских регионов, снижению антропогенной нагрузки на ландшафты и улучшению их состояния.

### Список литературы

1. *Агаркова-Лях И. В.* Природные комплексы береговой зоны Южного берега Крыма // Учёные записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология. – 2015. – Том 1 (67), № 3. – С. 42–58.
2. *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 / М-во сел. хоз-ва РФ, Федерал. агентство по рыболовству, Всерос. науч.-исслед. ин-т по рыболовству и океанографии. – Москва : ВНИРО, 2005. – С. 80–127. – (Изучение экосистем рыбохозяйственных водоемов, сбор и обработка данных о водных биологических ресурсах, техника и технология их добычи и переработки ; вып. 3).
3. *Горячкин Ю. Н., Долотов В. В.* Морские берега Крыма. – Севастополь : Мор. гидрофиз. ин-т, 2019. – 256 с.
4. *Зинова А. Д.* Определитель зелёных, бурых и красных водорослей южных морей СССР. – Москва ; Ленинград : Наука, 1967. – 397 с.
5. *Калугина-Гутник А. А.* Исследование донной растительности Чёрного моря с применением легководолазной техники // Морские подводные исследования : [сб. ст.] / АН СССР, Океаногр. комис., Секция подвод. исслед. ; редкол.: Б. П. Мантейфель [и др.]. – Москва : Наука, 1969. – С. 105–113.
6. *Калугина-Гутник А. А.* Фитобентос Чёрного моря. – Киев : Наук. думка, 1975. – 248 с.
7. Красная книга города Севастополя / Правительство Севастополя, Гл. упр. природ. ресурсов и экологии г. Севастополя ; отв. ред.: Довгаль И. В., Корженевский В. В. – Калининград ; Севастополь : РОСТ-ДОАФК, 2018. – 432 с.
8. Красная книга Республики Крым. Растения, водоросли и грибы / М-во экологии и природ. ресурсов Республики Крым ; сост.: Абдулганиева Э. Ф. [и др.] ; отв. ред.: Ена А. В., Фатерыга А. В. – Симферополь : Ариал, 2015. – 478 с.
9. Красная книга Российской Федерации : (растения и грибы) / М-во природ. ресурсов и экологии Рос. Федерации [и др.] ; отв. ред.: Бардунов Л. В., Новиков В. С. – Москва : Т-во науч. изд. КМК, 2008. – 885 с.
10. *Мильчакова Н. А., Александров В. А., Бондарева Л. В., Панкеева Т. В., Чернышева Е. В.* Морские охраняемые акватории Крыма. – Севастополь : Ин-т мор. биол. исслед. ; Симферополь : Н. Орианда, 2015. – 312 с.
11. Особо охраняемые природные территории Севастополя / Гл. упр. природ. ресурсов и экологии г. Севастополя ; редкол.: Голубева Е. И. [и др.]. – Симферополь : Ариал, 2020. – 140 с.

12. Панкеева Т. В., Миронова Н. В., Пархоменко А. В. Ландшафтные исследования памятника природы «Прибрежный аквальный комплекс у мыса Лукулл» // Труды Карадагской научной станции им. Т. И. Вяземского – природного заповедника РАН. – 2021. – Вып. 2 (18). – С. 36–48. – <https://doi.org/10.21072/eco.2021.18.03>
13. Петров К. М. Подводные ландшафты: теория, методы исследования. – Ленинград : Наука, 1989. – 126 с.
14. Позаченюк Е. А., Панкеева Т. В., Панкеева А. Ю., Пизова Е. В. Состояние особо охраняемых природных территорий города федерального значения Севастополя // Геополитика и экогеодинамика регионов. – 2020. – Т. 6 (16), вып. 2. – С. 161–171.

## LANDSCAPE RESEARCHES COASTAL ZONE NATURAL MOVEMENT «COSTAL MARINE PROTECTED AREAS AT CAPE SARYCH»

Pankeeva T. V., Mironova N. V.

A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russian Federation,  
e-mail: [tatyanapankeeva@yandex.ru](mailto:tatyanapankeeva@yandex.ru)

**Abstract:** The article provides information about the landscape structure of the hydrological natural monument «Costal Marine Protected Areas at Cape Sarych» (Southern coast of Crimea, Sevastopol). The landscape diversity of the natural monument is due to the presence of sea and land landscapes, the formation of which occurs in the contact zone between land and sea. Landscape research (2019–2020) were being held by applying the method of detailed study of key areas alongside landscape profiling. During the study of the natural monument, the landscape structure of the land part and the adjacent territory was clarified and detailed, 2 terrains and 7 tracts were identified. The terrain is dominated by the coastal erosion-denudation with oak-juniper sparsely wooded and cliff with active development of landslide processes, while the ground vegetation is quite poor. For the first time, a landscape map of the coastal zone and the adjacent water area was compiled, 3 terrains and 7 tracts were identified. The block-boulder bulk and slope composed of coarse-detrital deposits dominated by *Ericaria crinita*. The slope is also composed of coarse-detrital deposits, dominated by *Ericaria crinita* and *Gongolaria barbata*, and alternating pebble-gravel deposits with a bit of shells, where *Phyllophora crispa* prevails. On a slightly sloping plain, composed of psammitic deposits, dominated by *Phyllophora crispa*; composed of gravel-rubble bottom sediments with broken shells, dominated by *Phyllophora crispa* and *Codium vermilara*. Based on the landscape approach, recommendations are proposed for optimizing the conservation regime of a natural monument.

**Keywords:** landscape, macrophytobenthos, protected areas, Black Sea.

### Сведения об авторах

Панкеева Татьяна Викторовна кандидат географических наук, старший научный сотрудник, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», [tatyanapankeeva@yandex.ru](mailto:tatyanapankeeva@yandex.ru)

Миронова Наталия Всеволодовна кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», [dr.nataliya.mironova@yandex.ua](mailto:dr.nataliya.mironova@yandex.ua)

Поступила в редакцию 20.06.2021 г.  
Принята к публикации 26.01.2022 г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Федеральный исследовательский центр  
«ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ ЮЖНЫХ МОРЕЙ имени А.О. КОВАЛЕВСКОГО РАН»  
КАРАДАГСКАЯ НАУЧНАЯ СТАНЦИЯ им. Т.И.ВЯЗЕМСКОГО – ПРИРОДНЫЙ ЗАПОВЕДНИК РАН

# ТРУДЫ КАРАДАГСКОЙ НАУЧНОЙ СТАНЦИИ им. Т.И. ВЯЗЕМСКОГО – ПРИРОДНОГО ЗАПОВЕДНИКА РАН

Основан в мае 2016 г.

Основатель журнала –  
ФГБУН «Карадагская научная станция им. Т.И.Вяземского –  
природный заповедник РАН»

Научное издание

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи,  
информационных технологий и массовых коммуникаций

**Свидетельство о регистрации средства массовой информации  
Сер. ПИ № ФС77-76870 от 11 октября 2019 г.**

Утверждено к печати научно-техническим советом Карадагской научной станция им.  
Т.И.Вяземского – природного заповедника РАН – филиалом Федерального государственного  
бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Институт биологии  
южных морей имени А.О. Ковалевского РАН»  
(протокол № 1 от 11.04.2022 г.)

Главный редактор: канд. геогр. наук Горбунов Р. В.  
Заместитель главного редактора: канд. биол. наук Мальцев В. И.  
Технические редакторы: Миронюк О. А.  
Корректор: Уткина Е. Г.  
Компьютерная вёрстка: Майборода Д. И.

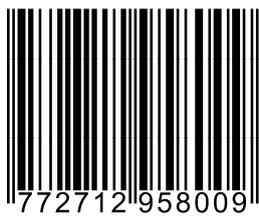
Подписано к печати: 14.04.2022 г.

Дата выхода: 22.04.2022 г.

Формат 60x84/8 Усл. печ. л. 10,9 Тираж: 100 экз.

Отпечатано в типографии: ИП Ермолов М. П., ОГРНИП 314920436710081 от 26.12.2014;  
ул. Кулакова, д. 59, г. Севастополь, 299011;  
тел.: +7 978 70-45-111; e-mail: print-e@yandex.ru

ISSN 2712-9586



9 772712 958009 >