



ISSN 2499-9768 print
ISSN 2499-9776 online

**МОРСКОЙ
БИОЛОГИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ**

MARINE BIOLOGICAL JOURNAL

Том 4 № 2

2019

МОРСКОЙ БИОЛОГИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

включён в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК Российской Федерации.
Журнал реферирован в Международной информационной системе по водным наукам и рыболовству
Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts (ASFA, ProQuest),

Всероссийским институтом научно-технической информации (ВИНИТИ),

а также Российским индексом научного цитирования (РИНЦ) на базе Научной электронной библиотеки *elibrary.ru*.

Все материалы проходят независимое двойное слепое рецензирование.

Редакционная коллегия

Главный редактор

Егоров В. Н., акад. РАН, д. б. н., проф., ИМБИ РАН

Заместитель главного редактора

Солдатов А. А., д. б. н., проф., ИМБИ РАН

Ответственный секретарь

Корнийчук Ю. М., к. б. н., ИМБИ РАН

Адрианов А. В., акад. РАН, д. б. н., проф.,
ИБМ ДВО РАН

Азовский А. И., д. б. н., проф., МГУ

Генкал С. И., д. б. н., проф., ИБВВ РАН

Довгаль И. В., д. б. н., проф., ИМБИ РАН

Зуев Г. В., д. б. н., проф., ИМБИ РАН

Коновалов С. К., чл.-корр. РАН, д. г. н., МГИ РАН

Мильчакова Н. А., к. б. н., ИМБИ РАН

Миронов О. Г., д. б. н., проф., ИМБИ РАН

Неврова Е. Л., д. б. н., ИМБИ РАН

Празукин А. В., д. б. н., ИМБИ РАН

Руднева И. И., д. б. н., проф., ИМБИ РАН

Рябушко В. И., д. б. н., ИМБИ РАН

Самышев Э. З., д. б. н., проф., ИМБИ РАН

Совга Е. Е., д. г. н., проф., МГИ РАН

Трапезников А. В., д. б. н., ИЭРиЖ УрО РАН

Финенко З. З., д. б. н., проф., ИМБИ РАН

Arvanitidis Chr., D. Sc., HCMR, Greece

Bat L., D. Sc., Prof., Sinop University, Turkey

Ben Souissi J., D. Sc., Prof., INAT, Tunis

Kociolek J. P., D. Sc., Prof., CU, USA

Magni P., D. Sc., CNR-IAS, Italy

Moncheva S., D. Sc., Prof., IO BAS, Bulgaria

Pešić V., D. Sc., Prof., University of Montenegro,

Montenegro

Zaharia T., D. Sc., NIMRD, Romania

Editorial Board

Editor-in-Chief

Egorov V. N., Acad. of RAS, D. Sc., Prof., IMBR RAS

Assistant Editor

Soldatov A. A., D. Sc., Prof., IMBR RAS

Executive Secretary

Kornychuk Yu. M., PhD, IMBR RAS

Adrianov A. V., Acad. of RAS, D. Sc., Prof.,
IMB FEB RAS, Russia

Arvanitidis Chr., D. Sc., HCMR, Greece

Azovsky A. I., D. Sc., Prof., MSU, Russia

Bat L., D. Sc., Prof., Sinop University, Turkey

Ben Souissi J., D. Sc., Prof., INAT, Tunis

Dovgal I. V., D. Sc., Prof., IMBR RAS

Finenko Z. Z., D. Sc., Prof., IMBR RAS

Genkal S. I., D. Sc., Prof., IBIW RAS, Russia

Kociolek J. P., D. Sc., Prof., CU, USA

Konovalev S. K., Corr. Member of RAS, D. Sc.,

Prof., MHI RAS, Russia

Magni P., D. Sc., CNR-IAS, Italy

Milchakova N. A., PhD, IMBR RAS

Mironov O. G., D. Sc., Prof., IMBR RAS

Moncheva S., D. Sc., Prof., IO BAS, Bulgaria

Nevrova E. L., D. Sc., IMBR RAS

Pešić V., D. Sc., Prof., University of Montenegro, Montenegro

Prazukin A. V., D. Sc., IMBR RAS

Rudneva I. I., D. Sc., Prof., IMBR RAS

Ryabushko V. I., D. Sc., IMBR RAS

Samyshev E. Z., D. Sc., Prof., IMBR RAS

Sovga E. E., D. Sc., Prof., MHI RAS, Russia

Trapeznikov A. V., D. Sc., IPAE UB RAS, Russia

Zaharia T., D. Sc., NIMRD, Romania

Zuyev G. V., D. Sc., Prof., IMBR RAS

Адрес редакции и издателя

Институт морских биологических исследований
имени А. О. Ковалевского РАН.

Пр. Нахимова, 2, Севастополь, 299011, Россия.

Телефон: +7 8692 54-41-10.

E-mail: mbj@imbr-ras.ru.

Address of the Editorial Office

Kovalevsky Institute of Marine Biological Research
Russian Academy of Sciences.

2 Nakhimov ave., Sevastopol, 299011, Russian Federation.

Tel.: +7 8692 54-41-10.

E-mail: mbj@imbr-ras.ru.

СОДЕРЖАНИЕ

Научные сообщения

Болтачев А. Р., Карпова Е. П.

О регистрации атлантической скумбрии *Scomber scombrus* Linnaeus, 1758 (Scombridae) в прибрежной зоне Севастополя и о перспективах возрождения её промысла 3–10

Бондарев И. П., Бондаренко Л. В.

Консорты брюхоногого моллюска *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846) в северной части Чёрного моря. Часть IV: Arthropoda 11–22

Климова Т. Н., Вдодович И. В., Загородняя Ю. А., Финенко Г. А., Дацьк Н. А.

Ихтиопланктон и трофические взаимоотношения в планктонных сообществах прибрежной акватории Юго-Западного Крыма (Чёрное море) в летний сезон 2013 г. 23–33

Ладыгина Л. В., Пиркова А. В.

Культивирование диатомовой водоросли *Chaetoceros calcitrans* f. *pumilus* (Paulsen) Takano, 1968 — корма для личинок гигантской устрицы *Crassostrea gigas* (Thunberg) 34–40

Параскив А. А., Терещенко Н. Н., Проскурнин В. Ю.

Содержание радионуклидов плутония в донных отложениях солёных озёр Крыма в сравнении с прибрежными акваториями Чёрного моря 41–51

Рябушко Л. И., Балычева Д. С., Бондаренко А. В., Железнова С. Н., Бегун А. А., Стоник И. В.

Различные аспекты изучения диатомовой водоросли *Cylindrotheca closterium* (Ehrenberg) Reimann et Lewin 1964 в природных и лабораторных условиях (in Eng.) 52–62

Селифонова Ж. П.

Современное состояние голо- и меропланктона Азовского моря в период формирования ледового покрова 63–70

Финенко Г. А., Дацьк Н. А., Игнатъев С. М., Аннинский Б. Е.

Пространственная вариабельность и пищевые характеристики популяций желетельх в акватории Крыма в летний период 71–86

Финенко З. З., Мансурова И. М., Суслин В. В.

Динамика концентрации хлорофилла *a* в Чёрном море по спутниковым измерениям 87–95

Исторические хроники

Миронов О. Г.

Краткая хроника океанических исследований отдела морской санитарной гидробиологии ИнБЮМ имени А. О. Ковалевского 96–100

Русанов К. В.

Новороссийская биологическая станция имени профессора В. М. Арнольди в 1927–1932 гг. 101–110

Заметки

Володина А. А.

О находках красной водоросли *Gaillona rosea* (Roth) Athanasiadis (Rhodophyta) в российской части Юго-Восточной Балтики 111–114

RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES
ZOOLOGICAL INSTITUTE
KOVALEVSKY INSTITUTE
OF MARINE BIOLOGICAL RESEARCH

МОРСКОЙ БИОЛОГИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

MARINE BIOLOGICAL JOURNAL

2019 Vol. 4 no. 2

Established in February 2016

SCIENTIFIC JOURNAL

4 issues per year

CONTENTS

Scientific communications

Boltachev A. R. and Karpova E. P.

On recording of Atlantic mackerel *Scomber scombrus* Linnaeus, 1758 (Scombridae) in the coastal zone of Sevastopol and prospects for the revival of its fishing (in Russ.) 3–10

Bondarev I. P. and Bondarenko L. V.

Consorts of gastropod *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846) in the Northern Black Sea. Part IV: Arthropoda (in Russ.) 11–22

Klimova T. N., Vdodovich I. V., Zagorodnyaya Yu. A., Finenko G. A., and Datsyk N. A.

Ichthyoplankton and trophic relations in the plankton communities inshore of the South-Western Crimea (Black Sea) during the summer season 2013 (in Russ.) 23–33

Ladygina L. V. and Pirkova A. V.

Cultivation of the diatom algae *Chaetoceros calcitrans* f. *pumilus* (Paulsen) Takano, 1968 as food for giant oyster larvae *Crassostrea gigas* (Thunberg) (in Russ.) 34–40

Paraskiv A. A., Tereshchenko N. N., and Proskurnin V. Yu.

Content of plutonium radionuclides in the bottom sediments of the salt lakes of the Crimean Peninsula in comparison with coastal areas of the Black Sea (in Russ.) 41–51

Ryabushko L. I., Balycheva D. S., Bondarenko A. V., Zheleznova S. N., Begun A. A., and Stonik I. V.

Different aspects of studying a diatom *Cylindrotheca closterium* (Ehrenberg) Reimann et Lewin 1964 in natural and laboratory conditions 52–62

Selifonova Zh. P.

Current status of holo- and meroplankton of the Sea of Azov during the formation of the ice cover (in Russ.) 63–70

Finenko G. A., Datsyk N. A., Ignatyev S. M., and Anninsky B. E.

Spatial variability and trophic characteristics of jellyfish populations in the Crimea marine area in summer (in Russ.) 71–86

Finenko Z. Z., Mansurova I. M., and Suslin V. V.

Dynamics of chlorophyll *a* concentration in the Black Sea on satellite data (in Russ.) 87–95

Historical chronicles

Mironov O. G.

Brief chronicle of A. O. Kovalevsky IBSS Department of Marine Sanitary Hydrobiology oceanic studies (in Russ.) 96–100

Rusanov K. V.

Novorossiysk Biological Station named after Professor V. M. Arnoldi in 1927–1932 (in Russ.) 101–110

Notes

Volodina A. A.

On findings of the red alga *Gaillona rosea* (Roth) Athanasiadis (Rhodophyta) in the Russian part of the South-Eastern Baltic (in Russ.) 111–114



НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 597.556.334.1:639.2(262.5)

**О РЕГИСТРАЦИИ АТЛАНТИЧЕСКОЙ СКУМБРИИ
SCOMBER SCOMBRUS LINNAEUS, 1758 (SCOMBRIDAE)
В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ СЕВАСТОПОЛЯ
И О ПЕРСПЕКТИВАХ ВОЗРОЖДЕНИЯ ЕЁ ПРОМЫСЛА**

© 2019 г. **А. Р. Болтачев**, **Е. П. Карпова**

Институт морских биологических исследований имени А. О. Ковалевского РАН, Севастополь, Россия
E-mail: karpova_jey@mail.ru

Поступила в редакцию 23.12.2018; после доработки 23.12.2018;
принята к публикации 22.05.2019; опубликована онлайн 24.06.2019.

Приведены сведения о поимке атлантической скумбрии *Scomber scombrus* Linnaeus, 1758 — вида, ставшего очень редким в последние 50 лет для Чёрного моря. Несколько экземпляров обнаружены в период с 7 по 15 июня 2018 г. в уловах промысловых ставных неводов в нижней части Балаклавской бухты и в прибрежной зоне недалеко от бухты. Одна особь была передана авторам для изучения; результаты морфометрических и биологических исследований этой особи приведены в работе. Кратко рассмотрены особенности ареала атлантической скумбрии, а также распространения и биологии четырёх основных популяций вида, обитающих в европейских водах, при этом основное внимание уделено черноморской. Приведены сведения об уровне современного промысла вида в мире в целом и отдельно в Турецкой Республике. Сделан ретроспективный анализ вылова скумбрии в Чёрном море, в частности возле побережья Крыма. Рассмотрены причины полного исчезновения её черноморской популяции в конце 1960-х гг. в Чёрном и Мраморном морях. Хотя единичные случаи поимки скумбрии у берегов Крыма, Северного Кавказа и Турции участились, сделан вывод, что черноморская популяция либо полностью исчезла, либо находится в очень угнетённом состоянии; возрождение её промыслового потенциала малоперспективно. На основе анализа приведённого материала сделано предварительное заключение, что выловленный в районе Севастополя экземпляр может относиться к средиземноморской популяции атлантической скумбрии.

Ключевые слова: атлантическая скумбрия, *Scomber scombrus*, черноморская популяция, исчезнувший вид, миграция, промысел, Балаклавская бухта, Севастополь, Чёрное море

Атлантическая скумбрия *Scomber scombrus* Linnaeus, 1758 распространена в северной части Атлантического океана, на западе — вдоль берегов Северной Америки от Лабрадора до м. Лукаут (Северная Каролина), на востоке — от берегов Норвегии до Марокко (м. Бохадор), а также возле Исландии, Мадейры, Азорских и Канарских островов. В тёплые годы она довольно обычна в Баренцевом море возле Мурманска, даже проникает в Белое море (вплоть до Новой Земли). Обитает в западной части Балтийского моря, в морях Средиземноморского бассейна, включая Чёрное; изредка встречалась в Азовском море [13, 16, 20]. В пределах ареала формирует несколько крупных относительно обособленных популяций (стад, форм по Световидову [13], рас по Замбриборшу [7]). Возле побережья Европы выделяют четыре популяции атлантической скумбрии (североморская, атлантическая, средиземноморская и черноморская), которые несущественно отличаются друг от друга

по внешним морфологическим признакам. Основные различия между ними заключаются в размерах, темпах роста, возрасте достижения половой зрелости и сроках нереста [7, 13]. Наиболее мелкая из этих популяций — черноморская скумбрия; её максимальная общая (тотальная) длина составляет 38 см, но обычно встречаются особи длиной до 32 см (в среднем 22–24 см), массой до 265 г. Достигает половой зрелости в возрасте одного года при длине преимущественно 20–22 см [7]. Нерестится в северной части Мраморного моря, в тёплые зимы также в Босфоре; более взрослые особи — с середины марта до начала апреля, молодые — примерно на месяц позже [13]. Отнерестившиеся особи и молодь черноморской популяции скумбрии в тёплое время года в массе заходили в Чёрное море, особенно в его высококормную западную часть, на нагул, а в небольшом количестве — и в Азовское море. При понижении температуры воды до значений менее +8 °С (конец ноября — декабрь) проходила возвратная миграция в Мраморное море на нерест и зимовку [7, 13]. Средиземноморская скумбрия несколько крупнее черноморской; её средняя общая длина — 35 см. Она также созревает в возрасте одного года при длине 20–24 см. Основное отличие заключается в более ранних сроках нереста: он проходит в январе — феврале [7]. Рыбы атлантической популяции скумбрии достигают длины 50 см, североморской — 60 см, при массе 1,6 кг, а половое созревание наступает в три-четыре года [13]. Особенности биологии черноморской популяции скумбрии явились основой для её выделения «в особую черноморскую расу — *Scomber scombrus ponticus* n.» [7, с. 868], а по сути — в подвид, так как в названии перед наименованием расы *ponticus* автор не указал, что это *infraspecies*. В любом случае это обособление не поддержали другие исследователи [5, 13].

На протяжении многих столетий, вплоть до конца 1960-х гг., скумбрия являлась важным объектом промысла в Чёрном море, но затем внезапно практически исчезла. В последние годы, спустя почти 50 лет, фиксируются единичные факты поимки скумбрии в акватории Южного берега Крыма, у берегов Севастополя, Северного Кавказа, Болгарии и Турции промысловыми орудиями лова и приспособлениями рыболовов-любителей. Находке этого вида, практически исчезнувшего в Чёрном и Мраморном морях, и посвящена публикуемая работа.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Экземпляр атлантической скумбрии обнаружен 10 июня 2018 г. в улове гундерного ставного невода, установленного в нижней части Балаклавской бухты на глубине 14–15 м, и передан для исследования авторам (рис. 1). Измерение длины анализируемой особи проводили с точностью до 0,1 мм штангенциркулем. Измеряли её тотальную (общую) длину, стандартную длину (от вершины рыла до конца уростиля) и длину по Смиту (от вершины рыла до конца срединных лучей хвостового плавника). Массу тела определяли на электронных весах RADWAG PS 1000/C/2 с точностью до 0,01 г. Экземпляр скумбрии помещён в коллекцию рыб Азово-Черноморского бассейна ФГБУН ИМБИ под № АВ-1497.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследованный экземпляр имел тотальную длину 280,2 мм, по Смиту — 254,3 мм, стандартную — 246,5 мм; общую массу — 173,3 г. Морфологические признаки были следующими. В первом спинном плавнике 8 колючих лучей, во втором — 2 неразветвлённых и 10 разветвлённых лучей; в анальном — первый короткий, но крепкий колючий луч отстоит на некоторое расстояние от анального плавника, в котором содержатся 2 неветвистых и 9 ветвистых лучей; в грудных плавниках по 20 лучей, в брюшных — по 6, из которых 1 колючий. Дополнительных спинных и анальных плавничков — по 5. Плавательный пузырь отсутствует. Длина спинной канавки за последним лучом первого спинного плавника в 2,2 раза меньше расстояния между последним лучом первого спинного плавника и первым лучом второго спинного плавника. Начало анального плавника немного позади вертикали через начало второго спинного плавника. С каждой стороны хвостового стебля по 2 боковых киля между хвостовыми лопастями. Боковая линия с небольшими плавными волнообразными

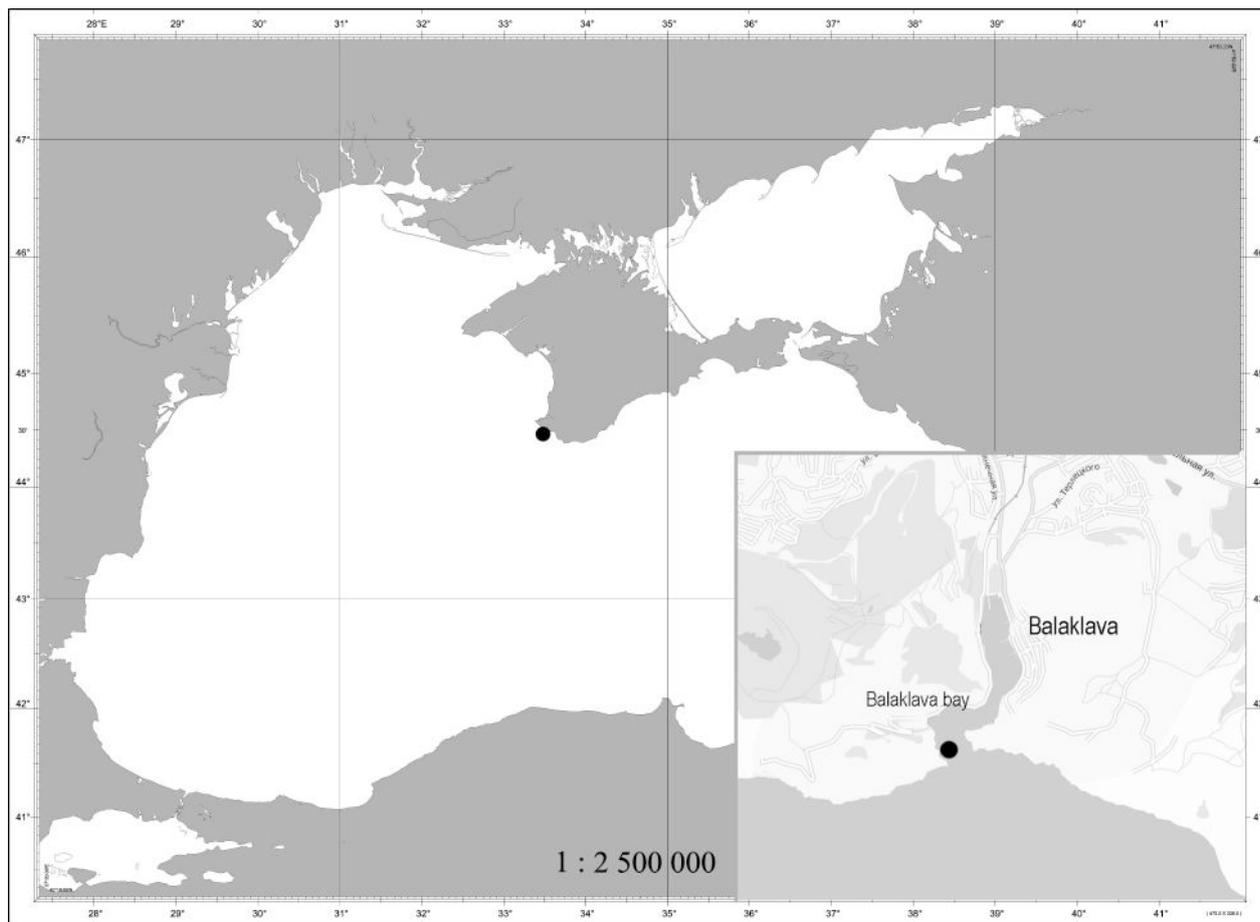


Рис. 1. Место отлова атлантической скумбрии

Fig. 1. Region of Atlantic mackerel catching

изгибами. Зубы на челюстях острые, с загнутыми назад вершинами. Чешуя мелкая, корсет отсутствует. Окраска тела выше боковой линии светло-синяя с многочисленными изогнутыми поперечными чёрными полосами, которые немного заходят за боковую линию; небольшие чёрные пятна расположены в один горизонтальный ряд под боковой линией на участке между вертикалью от средней части первого спинного плавника почти до вертикали от окончания второго спинного плавника; нижняя часть тела и брюхо белые, без пятен (рис. 2). Количество лучей в первом спинном плавнике исследованной особи (VIII) меньше, чем указывается Световидовым [13] для черноморской популяции скумбрии (обычно XI–XIV, реже X), в то время как для средиземноморского стада количество лучей в этом плавнике по Валиани (цит. по: [13]) колеблется от VIII до XIV.



Рис. 2. Внешний вид атлантической скумбрии, выловленной в Балаклавской бухте

Fig. 2. General view of Atlantic mackerel caught in the Balaklava Bay

Выловленный экземпляр оказался самцом, имевшим гонады на III стадии развития.

Мнения о размерно-возрастных группировках черноморской популяции скумбрии существенно различаются; судя по размерно-возрастным ключам, приведённым в работах различных авторов [7, 13], тотальная длина исследованной нами особи (280,2 мм) соответствует таковой для возраста 3+...4+.

Атлантическая скумбрия как вид — одна из наиболее массовых и важных рыб в современном мировом промысле. По официальным статистическим данным, в 2016 г. она занимала 15-е место (вылов составил 1138 тыс. т). Рекордный улов (1420,7 тыс. т.) зафиксирован в 2014 г. [18, 19]. С античных времен и до 1967 г. скумбрия играла значительную роль и в черноморском рыболовстве. Так, она входила в состав наиболее массовых объектов промысла рыбаков Херсонеса и других древнегреческих поселений южного и западного побережий Крымского полуострова [Тихий, 1917, цит. по: 10]. В конце XIX — начале XX века только у черноморских берегов Крыма добывали до 1,2 тыс. т атлантической скумбрии в год [2, 9]. В период с 1927 по 1967 г. уловы её крымскими рыбаками не превышали, как правило, 100 т; изредка они достигали 200 т в год. Максимальный вылов (260 т) отмечен в 1928 г. [1].

Советский Союз активно осуществлял промысел черноморской популяции атлантической скумбрии вплоть до 1967 г. Годовые колебания были значительными: вылов составлял от нескольких десятков тонн до нескольких тысяч тонн (рис. 3). Наибольшие уловы зарегистрированы в 1935 г. (3,3 тыс. т), 1954 г. (4 тыс. т) и 1963 г. (3,2 тыс. т). Основной промысел этого вида советские рыбаки осуществляли в северо-западной части Чёрного моря [1, 6].

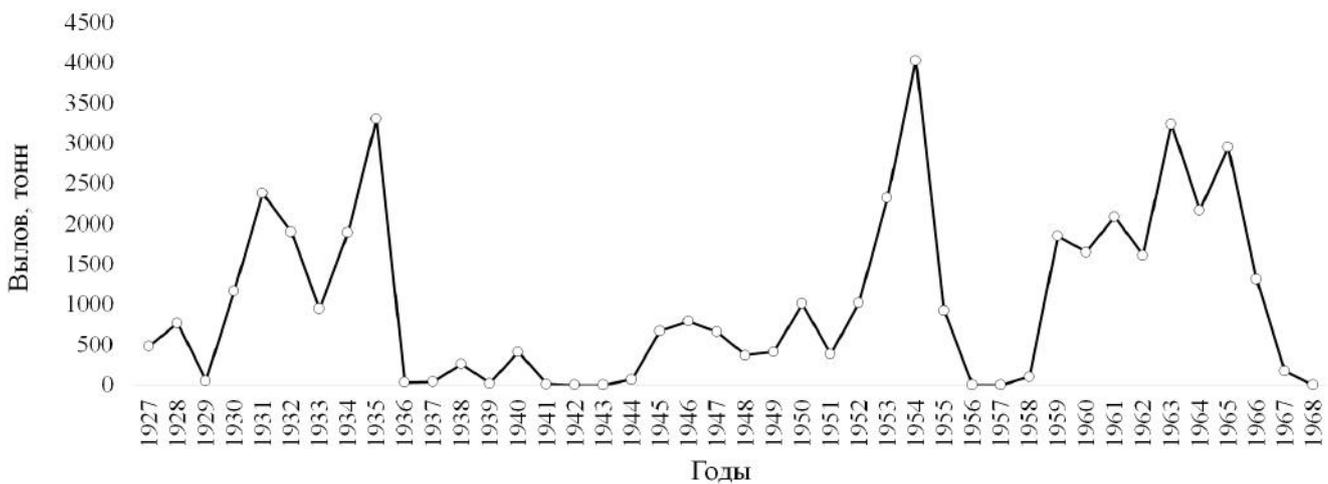


Рис. 3. Уловы атлантической скумбрии Советским Союзом в Чёрном море [1, 6]

Fig. 3. Catches of Atlantic mackerel by the Soviet Union in the Black Sea [1, 6]

Промысел скумбрии всеми черноморскими странами стал наиболее интенсивным в период с начала 1950-х до 1967 г. включительно. С 1960 по 1966 г. ежегодный вылов всеми странами бассейна Чёрного моря колебался от 4,6 тыс. т (1966) до 13,7 тыс. т (1963), составляя в среднем 8,9 тыс. т, из которых 65,5 % приходилось на долю Турции [6]. В 1967 г. СССР и Болгария добыли лишь 170 и 160 т соответственно, а Турция у южных берегов, и особенно в Прибосфорском районе, — около 3000 т. В последующие 3 года скумбрию облавливали только турецкие рыбаки, но их уловы ежегодно снижались. С 1972 г. этот вид полностью выпал из промысла в Чёрном море [6].

Скумбрия была популярным объектом любительского рыболовства. Её массово вылавливали на специальные снасти с рыболовными крючками («самодуры»), к которым прикрепляли фрагменты птичьих перьев. Ловили скумбрию как в прибрежной зоне с моторных лодок, так и с причалов в бухтах Севастополя, в морских портах Ялты, Евпатории и других населённых пунктов Крыма.

Неожиданно черноморская популяция атлантической скумбрии практически полностью прекратила сезонные кормовые миграции в Чёрное море в конце 1960-х гг. До 1972 г. её облавливали в основном в прибосфорском районе. Надежды учёных и рыбаков на то, что всё связано с характерными для стада значительными межгодовыми колебаниями промыслового запаса, который может восстановиться, не оправдались. Между тем до сих пор для этого вида в Чёрном море Росрыболовство ежегодно формально устанавливает незначительную квоту (в пределах 2 т), чтобы легализовать возможную поимку скумбрии рыбаками и внести её в статистику промысла, если необходимо.

Существует несколько возможных причин резкого сокращения биомассы черноморской популяции скумбрии. Одна из основных версий — перелов в связи с чрезмерной интенсивностью промысла скумбрии в 1950–1960-е гг., что отмечено выше. При этом турецкие рыбаки до настоящего времени осуществляют весьма активный промысел мигрирующих пелагических видов рыб (пелагида, луфарь, ставрида, европейский анчоус и др.) непосредственно в Босфоре и в прилегающих к нему предпроливных акваториях.

В качестве другой причины сокращения биомассы черноморской популяции скумбрии рассматривают вспышку численности в 1950–1960-е гг. хищных видов, в первую очередь пелагида (*Sarda sarda*) и луфаря (*Pomatomus saltatrix*), которые в массе выедали молодь скумбрии [6, 13]. Ежегодный вылов пелагида только Советским Союзом в 1950-е гг. составлял более 2 тыс. т.; наибольший вылов пелагида в СССР достиг 8,6 тыс. т, луфаря — 0,94 тыс. т (1967). Самые крупные уловы этих видов зарегистрированы Турцией в 1960–1971 гг.: пелагида — в среднем 22,2 тыс. т, луфаря — 2,8 тыс. т; максимальные годовые уловы этих видов достигали 50 и 7 тыс. т соответственно [1, 6, 14]. Между тем здесь не учитывается вылов рыб в Мраморном море, где они также активно питались скумбрией. На этом основании сделан вывод: «При относительно небольшой численности нерестовой популяции черноморской скумбрии и ограниченном районе нереста воздействие хищников ярко выражено» [6].

Иную точку зрения имеют турецкие исследователи: исчезновение черноморской популяции скумбрии связано с резко возросшим с начала 1960-х гг. загрязнением промышленно-бытовыми отходами северной части Мраморного моря — её репродуктивного ареала, куда в те годы начали сбрасывать канализационные стоки многомиллионного Стамбула, и основного миграционного коридора — пролива Босфор [8]. Акватория хронически загрязнена. Кроме того, здесь нередки аварии судов. Количество происшествий, зафиксированных за последние 60 лет, приблизилось к 500 [11]. Некоторые из них сопровождались залповыми выбросами нефтепродуктов и даже пожарами. Первый автор этой статьи был свидетелем катастрофы, произошедшей в результате столкновения румынского танкера *Independența* с греческим сухогрузом в южной части Босфора в ноябре 1979 г., — пожара на танкере и разлива 95 тыс. т горячей нефти в пролив. Борьба с огнём продолжалась месяц.

Акустическое воздействие — повышенный уровень шума и вибраций из-за водного транспорта — по-разному отражается на рыбе; всё зависит от вида, возраста, физиологического состояния [12]. В большинстве случаев звук, если он выше фонового, отпугивает рыб. Наиболее существенным негативное воздействие шума и вибраций на рыб становится во время их нерестовых миграций и нереста. Также значительное отрицательное воздействие на мигрирующих рыб оказывает шумовой пресс, создаваемый работой двигателей моторных плавсредств [8]. Через Босфор ежедневно транзитом проходят в среднем 100–140 судов, поперечно — сотни пассажирских паромов, прогулочных катеров и рыболовных маломерных судов [15].

Таким образом, химический и акустический барьеры, а также рыбный промысел существенно осложнили традиционные миграции рыб между Чёрным и Мраморным морями.

Тем не менее в последние годы, по устным сообщениям рыболовов-любителей, возле Севастополя и Южного берега Крыма, а также у Северного Кавказа скумбрия изредка облавливалась на крючковые снасти («самодуры»). В первой половине июня 2018 г. в течение 7–10 дней в ставных промысловых неводах, установленных в нижней части Балаклавской бухты и на выходе из неё, этот

вид также единично был отмечен. Общее количество пойманных экземпляров неизвестно, но один из них, как указано выше, передан авторам и идентифицирован как атлантическая скумбрия.

Следует подчеркнуть, что после очень долгого перерыва, вызванного различными антропогенными негативными факторами, возле берегов Крыма зафиксировано увеличение численности некоторых важных пелагических промысловых рыб и отмечен рост количества находок редких и чужеродных видов. В 2010 и 2011 гг. выявлены высокоурожайные поколения черноморского и азовского подвидов европейского анчоуса (*Engraulis encrasicolus*); его запасы были оценены на уровне запасов 1960-х гг. В 2012 г. лидирующее положение в крымском промысле заняла хамса; её ежегодный вылов до 2017 г. включительно держался на уровне 23–30 тыс. т [3]. На третье место с выловом около 2 тыс. т в год вышла черноморская ставрида (*Trachurus mediterraneus*), которая в 1990 г. практически отсутствовала в промысловых уловах на шельфе Крыма. Участились случаи поимки крупной хищной формы этого вида, основу питания которого, как и черноморской скумбрии, составляют европейский анчоус, песчанка (*Gymnammodytes cicerelus*) и другие мелкие рыбы [17]. В небольшом количестве (до нескольких тонн) в уловах появились луфарь и пелагида.

В то же время за 20 лет мониторинговых ихтиологических исследований в прибрежной зоне и бухтах Севастополя нами зарегистрированы 24 новых для ихтиофауны Крымского полуострова вида рыб, из которых 12 впервые обнаружены в Чёрном море, а 13 за период наблюдений полностью натурализовались, образовав независимые популяции [3, 4]. В основном это представители восточноатлантическо-средиземноморского ихтиофаунистического комплекса. Увеличилось число поимок довольно редких для Чёрного моря средиземноморских видов, например круглой сардинеллы (*Sardinella aurita*), европейской сфирены (*Sphyraena sphyraena*) и некоторых других.

Всё это послужило поводом выдвинуть предположение о восстановлении черноморской популяции атлантической скумбрии. В результате анализа литературных данных и опроса коллег-ихтиологов из причерноморских стран установлено следующее. Вылов атлантической скумбрии турецкими рыбаками, по данным Института статистики Турции, любезно предоставленным Л. Батом (L. Bat), в 2000–2017 гг. колебался от 46 до 1076 т, в среднем составляя 452 т (очевидно, в основном за счёт промысла в Эгейском и Средиземном морях). Достоверно установлены лишь факты поимки атлантической скумбрии в Мраморном море в 2016 г. жаберными сетями и возле западно-черноморского побережья Турции (это эпизодические случаи, величина вылова не указана). По информации болгарского коллеги В. Райкова, изучаемый вид эпизодически встречается у берегов Болгарии в тёплое время, но также единично.

Следует отдельно подчеркнуть, что скумбрия является пелагической стайной рыбой, хорошим пловцом и активным мигрантом.

К сожалению, на основании этой информации можно констатировать, что черноморская популяция либо полностью исчезла, либо находится в очень угнетённом состоянии.

Учитывая вышеизложенное, можно предположить, что выловленные в Балаклавской бухте и прибрежной зоне Севастополя особи атлантической скумбрии относятся к средиземноморской популяции (стаду); они мигрировали в тёплое время года из Эгейского моря через Дарданеллы и Босфор в Чёрное море, до Юго-Западного Крыма. Аргументы в пользу этой версии — количество колючих лучей в первом спинном плавнике [VIII против обычно минимальных XI (реже X)] у черноморской популяции и увеличение числа фактов регистрации редких и чужеродных средиземноморских видов (не только активных мигрантов, но и донно-придонных рыб) у крымских берегов. Для проведения более объективного сравнительного морфометрического анализа необходима репрезентативная выборка. Очевидно, в ближайшие годы возможны лишь случайные поимки скумбрии в Чёрном море; возрождение её промыслового потенциала в регионе мало перспективно.

Окончательное заключение о состоянии черноморской популяции скумбрии можно сделать по результатам специализированных комплексных исследований, включающих ихтиопланктонную, траловую и гидроакустическую съёмки, в первую очередь в Мраморном море.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ИМБИ по теме «Закономерности формирования и антропогенная трансформация биоразнообразия и биоресурсов Азово-Черноморского бассейна и других районов Мирового океана» (№ гос. регистрации АААА-А18-118020890074-2).

Благодарности. Авторы выражают глубокую благодарность Сергею Соколу за предоставленный экземпляр скумбрии и за информацию о поимках этого вида в районе Балаклавской бухты, а также коллегам Левенту Бату (Турция), Арчилу Гучманидзе (Грузия) и Виолину Райкову (Болгария) — за информацию о находках и промысле атлантической скумбрии в морских водах их стран.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Аверкиев Ф. В. *Сборник статистических сведений об уловах рыб и нерыбных объектов в Азово-Черноморском бассейне за 1927–1959 гг.* Ростов-на-Дону : Ростовское кн. изд-во, 1960. 94 с. (Труды АзНИИРХ ; т. 1, вып. 2). [Averkiev F. V. *Sbornik statisticheskikh svedenii ob ulovakh ryb i nerybnykh ob'ektov v Azovo-Chernomorskom basseine za 1927–1959 gg.* Rostov-on-Don: Rostovskoe kn. izd-vo, 1960, 94 p. (Trudy AzNIIRKH ; vol. 1, iss. 2). (in Russ.)]
2. Александров А. Крымское рыболовство (краткий очерк) // *Рыбное хозяйство*. 1923. Кн. II. С. 133–162. [Aleksandrov A. *Krymskoe rybolovstvo (kratkii ocherk)*. *Rybnoe khozyaistvo*, 1923, book II, pp. 133–162. (in Russ.)]
3. Болтачев А. Р., Карпова Е. П. *Морские рыбы Крымского полуострова* : 2-е изд., уточ., и доп. Симферополь : Бизнес-Информ, 2017. 376 с. [Boltachev A. R., Karpova E. P. *Marine Fisheries of Crimean Peninsula* : 2nd ed., revised and enlarged. Simferopol': Biznes-Inform, 2017, 376 p. (in Russ.)]
4. Болтачев А. Р., Карпова Е. П. Современная структура и динамика ихтиоценов прибрежной зоны юго-западного Крыма на примере бухты Казачья // *Труды Карельского научного центра Российской академии наук*. 2018. № 4: Исследования в области биологических наук. С. 23–35. [Boltachev A. R., Karpova E. P. Contemporary structure and dynamics of fish communities in the coastal zone of south-western Crimea, example of Kazach'ya Bay. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk*, 2018, no. 4: Issledovaniya v oblasti biologicheskikh nauk, pp. 23–35. (in Russ.)]
5. Васильева Е. Д. *Рыбы Черного моря. Определитель морских, солоноватоводных, эвригалинных и проходных видов с цветными иллюстрациями, собранными С. В. Богородским*. Москва : Изд-во ВНИРО, 2007. 238 с. [Vasil'eva E. D. *Ryby Chernogo morya. Opredelitel' morskikh, solonovato-*
6. Данилевский Н. Н., Иванов Л. С., Каутиш И., Верюти-Маринеску Ф. *Промысловые ресурсы // Основы биологической продуктивности Черного моря*. Киев : Наукова думка, 1979. С. 291–299. [Danilevskii N. N., Ivanov L. S., Kautish I., Verioti-Marinesku F. *Promyslovye resursy // Osnovy biologicheskoi produktivnosti Chernogo morya*. Kiev: Naukova dumka, 1979, pp. 291–299. (in Russ.)]
7. Замбриборщ Ф. С. О морфологических сходствах близких видов скумбрии и биологических различиях в пределах вида // *Зоологический журнал*. 1955. Т. 34, вып. 4. С. 861–868. [Zambriborshch F. S. O morfologicheskikh skhodstvakh blizkikh vidov skumbrii i biologicheskikh razlichiyakh v predelakh vida. *Zoologicheskii zhurnal*, 1955, vol. 34, iss. 4, pp. 861–868. (in Russ.)]
8. Зайцев Ю. П. *Самое синее в мире*. Нью-Йорк : Изд-во ООН, 1998. 142 с. (Черноморская экологическая серия ; т. 6). [Zaitsev Yu. P. *The Most Blue in the World*. New-York: UN, 1998, 142 p. (Black Sea Environmental Series ; vol. 6). (in Russ.)]
9. Зернов С. А. *Второй (предварительный) отчет по исследованию рыболовства Таврической Губернии*. Севастополь : Типография Спирос, 1903. 39 с. [Zernov S. A. *Vtoroi (predvaritel'nyi) otchet po issledovaniyu rybolovstva Tavricheskoi Gubernii*. Sevastopol: Tipografiya Spiro, 1903, 39 p. (in Russ.)]
10. Марти В. Ю. Возникновение и развитие рыбного промысла в Азово-Черноморском бассейне // *Природа*. 1941. № 5. С. 78–83. [Marti V. Yu. *Vozniknovenie i razvitie rybnogo promysla v Azovo-Chernomorskom basseine*. *Priroda*, 1941, no. 5, pp. 78–83. (in Russ.)]
11. Очередная авария в проливе Босфор: балкер врезался в набережную // *Работник моря*. 2018.

- 10 апреля. [Ocherednaya avariya v prolive Bosfor: balker vrezalsya v naberezhnuyu. *Rabotnik morya*. 2018.04.10. URL: <http://seafarers.com.ua/the-bulk-carrier-crashed-into-the-shore/14605/> [accessed 2018.12.04]. (in Russ.)]
12. Протасов В. Р. Поведение рыб. Москва : Пищевая промышленность, 1978. 296 с. [Protasov V. R. *Povedenie ryb*. Moscow: Pishchevaya promyshlennost', 1978, 296 p. (in Russ.)]
 13. Световидов А. Н. Рыбы Чёрного моря. Москва : Наука, 1964. 550 с. [Svetovidov A. N. *Ryby Chernogo morya*. Moscow: Nauka, 1964, 550 p. (in Russ.)]
 14. Тараненко Н. Ф. Луфарь // Сырьевые ресурсы Чёрного моря. Москва : Пищевая промышленность, 1979. С. 133–135. [Taranenko N. F. Lu-far'. *Syr'evye resursy Chernogo morya*. Moscow: Pishchevaya promyshlennost', 1979, pp. 133–135. (in Russ.)]
 15. Akten N. The Strait of Istanbul (Bosphorus): The seaway separating the continents with its dense shipping traffic. *Journal of the Black Sea / Mediterranean Environment*, 2003, vol. 9, no. 3, pp. 241–265.
 16. Carpenter K. E., De Angelis N. (Eds). *The living marine resources of the Eastern Central Atlantic*. Vol. 4. *Bony fishes part 2 (Perciformes to Tetradontiformes) and Sea turtles*. Rome: FAO, 2016, pp. 2343–3124. (FAO Species Identification Guide for Fishery Purposes).
 17. Slynko Yu. V., Boltachev A. R., Karpova E. P., Slynko E. E. The taxonomic status and intraspecific differentiation of the Black Sea horse mackerel *Trachurus mediterraneus ponticus* (Aleev, 1956) (Pisces: Carangidae). *Russian Journal of Marine Biology*, 2018, vol. 44, no. 2, pp. 112–121. <https://doi.org/10.1134/S1063074018020104>
 18. *The State of World Fisheries and Aquaculture 2016. Contributing to food security and nutrition for all*. Rome: FAO, 2016, 200 p. URL: <http://www.fao.org/3/a-i5555e.pdf> [accessed 2018.12.04].
 19. *The State of World Fisheries and Aquaculture 2018 – Meeting the sustainable development goals*. Rome: FAO, 2018, 210 p. URL: <http://www.fao.org/3/i9540en/i9540EN.pdf> [accessed 2018.12.04].
 20. Whitehead P. J. P., Bauchot M.-L., Hureau J.-C., Nielsen J., Tortonese E. (Eds). *Fishes of the North-Eastern Atlantic and Mediterranean* (FNAM). 3 vols. Paris: UNESCO, 1986, vol. 2, pp. 517–1007.

**ON RECORDING OF ATLANTIC MACKEREL
SCOMBER SCOMBRUS LINNAEUS, 1758 (SCOMBRIDAE)
IN THE COASTAL ZONE OF SEVASTOPOL
AND PROSPECTS FOR THE REVIVAL OF ITS FISHING**

A. R. Boltachev and E. P. Karpova

Kovalevsky Institute of Marine Biological Research RAS, Sevastopol, Russian Federation
E-mail: karpova_je@mail.ru

Information on catching of Atlantic mackerel *Scomber scombrus* Linnaeus, 1758, which has become very rare in the Black Sea in the last 50 years, is considered. Several specimens were found in the period from June 7 to 15, 2018 in the catches of commercial fixed nets in the lower part of the Balaklava Bay and in the coastal zone near the Bay. One specimen was given to the authors for the study; the results of morphometric and biological studies of this specimen are given in the work. The features of the area of Atlantic mackerel are briefly considered, the distribution and biology of four main populations of this species inhabiting European waters are given, with the main attention paid to the Black Sea population. Information on the level of modern fishing of this species in the world as a whole and separately in the Republic of Turkey is given. A retrospective analysis of the catching of mackerel in the Black Sea, in particular, near the coast of Crimea, is made. The reasons for the complete disappearance of its Black Sea population in the late 1960s in the Black and Marmara seas are analyzed. The conclusion was made that, despite the increase in some cases of mackerel catchings off the coast of Crimea, the North Caucasus and Turkey, the Black Sea population of this species either completely disappeared or is in a very depressed state, and the probability of its commercial fishing recovery in the region is minimal. The preliminary conclusion on the basis of the analysis of the given material has been made that the specimen caught in the Sevastopol region may belong to the Mediterranean population of Atlantic mackerel.

Keywords: Atlantic mackerel, *Scomber scombrus*, Black Sea race, vanished species, migration, fishing, Balaklava Bay, Sevastopol, Black Sea



УДК 594.3(262.5)

КОНСОРТЫ БРЮХОНОГОГО МОЛЛЮСКА *RAPANA VENOSA* (VALENCIENNES, 1846) В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЧЁРНОГО МОРЯ. ЧАСТЬ IV: ARTHROPODA

© 2019 г. И. П. Бондарев, Л. В. Бондаренко

Институт морских биологических исследований имени А. О. Ковалевского РАН, Севастополь, Россия

E-mail: igor.p.bondarev@gmail.com

Поступила в редакцию 16.07.2018; после доработки 06.11.2018;
принята к публикации 22.05.2019; опубликована онлайн 24.06.2019.

Статья посвящена изучению таксоцены Arthropoda и является продолжением цикла по описанию состава консорции брюхоногого моллюска — вселенца *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846). Консорция *R. venosa* остаётся неучтённой компонентой в структуре биоценозов шельфа Чёрного моря. Использованный материал и методы исследования детально рассмотрены в предыдущих работах цикла. Цель данной статьи — описание комплекса эпибионтных организмов и составление аннотированного списка таксонов Arthropoda консорции *R. venosa*. Найденные в консорции рапаны 27 видов типа Arthropoda относятся к двум подтипам — Chelicerata (класс Arachnida) и Crustacea (классы Malacostraca и Hexanauplia). Единственный представитель класса паукообразных (Arachnida; Acari) — клещ *Rhombognathus notops* (Gosse, 1855) — обнаружен лишь дважды (по одному экземпляру в сборах 2016 и 2017 гг.). *Rapana venosa* служит субстратом для развития разнообразных водорослей — благоприятного местообитания для эпифитона, что обуславливает высокую численность и разнообразие ракообразных в этом биотопе. Наибольшее таксономическое разнообразие отмечено для класса Malacostraca — 25 видов, относящихся к 22 родам 19 семейств. Членистоногие представлены двумя основными экологическими группами (седентарные и подвижные эпибионты). Наибольшее видовое разнообразие Arthropoda присуще свободноживущим подвижным формам (23 вида). Седентарные формы, явно уступая по количеству видов (4), доминируют по численности (86 %) и биомассе (94 %). Единственный представитель Cirripedia — *Amphibalanus improvisus* (Darwin, 1854) — является самым распространённым (53 % общей численности) и массовым ракообразным и вносит наиболее существенный вклад в биомассу (91,8 %) в консорции Arthropoda. Более 50 % видов Arthropoda в консорции рапаны — полифаги; фитофаги составляют 21 %, а детритофаги — 29 % общего числа видов членистоногих. Единственный взрослый экземпляр эктопаразита рыб — изоподы *Elaphognathia bacescoi* (Kussakin, 1969) — найден в консорции песчаной рапаны на глубине 8 м в бухте Голубая (г. Севастополь). Все обнаруженные 27 видов Arthropoda присутствуют в консорции песчаной экоморфы *R. venosa*, и только 3 вида отмечены на скальной рапане. Различия в составе консорции двух экоморф *R. venosa* можно объяснить преимущественно большим развитием эпифитов и пониженной динамикой водных масс в зонах обитания песчаной рапаны в районе Севастополя. Благодаря своему таксономическому разнообразию, численности и биомассе Arthropoda являются важным элементом донного биоценоза, ассоциированного пространственно и трофически с особями самой крупной гастроподы Чёрного моря — *R. venosa*.

Ключевые слова: Arthropoda, консорция, *Rapana venosa*, Чёрное море, экология, эпибионты

Консорция *R. venosa* (Valenciennes, 1846) до сих пор является неучтённой компонентой в структуре биоценозов шельфа Чёрного моря. Первые исследования консортного сообщества черноморской рапаны позволили установить наличие всего 7 видов, представляющих 4 типа

зообентоса (Mollusca, Annelida, Bryozoa, Arthropoda). Для типа Arthropoda приводили только 1 вид — *Amphibalanus improvisus* (Darwin, 1854) [7]. Наличие баянусов без указания видовой принадлежности отмечено и на рапане из Адриатического моря [18]. В публикациях цикла, основанных на материале из северной части Чёрного моря, таксономический состав консорции *R. venosa* существенно расширен для типов Bryozoa (5 видов) и Mollusca (23 вида), добавлены типы Porifera, Cnidaria, Chordata [3, 4, 5]. Такие результаты достигнуты во многом за счёт методики сбора материала в застёгивающиеся пластиковые пакеты (это позволяло сохранить подвижные формы эпибионтов консорции).

Наличие подвижных организмов в консорции во многом обеспечивается развитием на раковине *R. venosa* водорослевых обрастаний. В состав эпифитона членистоногие входят как одна из основных систематических групп беспозвоночных [13]. На современном этапе исследований выявлено 65 видов макроводорослей — обрастателей рапаны; плотность их покрытия может достигать 100 % поверхности раковины [16]. Ранее показано, что обилие водорослей и беспозвоночных вдоль градиента глубин в значительной мере определяется динамическими характеристиками водной среды [3, 4, 5, 16]. Установлено, что наибольшее видовое разнообразие водорослей и максимальная степень покрытия ими раковин присущи песчаной рапане. На ней обнаружены 65 видов макроводорослей, а на скальной рапане — только 21 [16].

Наибольшее число видов и максимальное количество особей беспозвоночных — консортов рапаны приходится на глубины 4,0–10,0 м [3, 4, 5]. Эти данные находятся в соответствии с обобщённой информацией по распределению эпифитона, численность которого от глубины 1,0 м к 5,0 м увеличивается почти в 10 раз, а биомасса возрастает более чем в 30 раз за счёт снижения прибойности, препятствующей оседанию личинок [13]. Этот же фактор лимитирует возможность удерживания взрослых особей на водорослях-обрастателях и на раковине рапаны. Динамическое воздействие водной среды и минеральной взвеси частиц грунта — главный фактор, определяющий различие в таксономическом составе двух основных экологических разновидностей *R. venosa* — песчаной и скальной [3, 4, 5, 16].

Цель работы — описание комплекса эпибионтных организмов, представляющих тип Arthropoda в консорции *R. venosa*.

Задачи данного этапа — изучение таксономического состава и подготовка аннотированного списка таксонов Arthropoda — консортов *R. venosa*, а также исследование особенностей консортивных связей представителей членистоногих с ядром консорции — с рапаной, обитающей на рыхлых и твёрдых грунтах.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Для изучения консортного сообщества рапаны осуществлены сборы в семи районах северной части Чёрного моря: 1 — Мамайя, Румыния; 2 — северо-западная часть Чёрного моря, Крымский сектор; 3 — Севастополь; 4 — Алушка; 5 — Ялта — Алушта; 6 — Карадаг; 7 — Керченский пролив. Используемые материал и методика детально рассмотрены в предыдущих работах цикла исследований консорции *R. venosa* [3, 4, 5].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Обнаруженные в консорции *R. venosa* представители типа Arthropoda относятся к двум подтипам — Chelicerata (класс Arachnida) и Crustacea (классы Malacostraca и Hexanauplia). В консорции *R. venosa* обнаружены 27 видов членистоногих (табл. 1); 26 из них приведены впервые.

Подтип Chelicerata, класс Arachnida.

Единственный представитель класса паукообразных — *Rhombognathus notops* (Gosse, 1855) — относится к подклассу Acari отряда Trombidiformes семейства Halacaridae. Клещ *R. notops* — наиболее часто встречающийся представитель Halacaridae для биотопов песчаных грунтов верхней

сублиторали Чёрного моря [20]. В большинстве биотопов галакариды достаточно редки и обычно не входят в число доминирующих групп. В сообществах фитали их участие более заметно. Довольно обычны галакариды и на «вторичных» субстратах: они регулярно встречаются среди щёток мидий, в щелях между домиками баянусов, на губках [14]. В наших исследованиях *R. notops* найден в консорции песчаной рапаны лишь дважды — по одному экземпляру в сборах 2016 и 2017 гг. на водорослевых обрастаниях рапаны на глубинах 4 и 3,5 м соответственно, в районе 3 (Севастополь).

Таблица 1. Список таксонов Arthropoda консорции *R. venosa* и их встречаемость на раковинах моллюсков, обитающих на рыхлых (1) и скальных (2) грунтах по глубинам

Table 1. List of Arthropoda taxa in *R. venosa* consortium and their occurrence on the shells of mollusks inhabiting the soft (1) and rocky (2) ground by the depth

Таксон	Встречаемость		Глубина, м
	1	2	
Chelicerata:			
<i>Rhombognathus notops</i> (Gosse, 1855)	+	–	3,5–4
Crustacea, Malacostraca, Amphipoda:			
<i>Ampithoe ramondi</i> Audouin, 1826	++	–	3,5–12
<i>Ampithoe helleri</i> Karaman, 1975	++	–	3,5–10
<i>Apherusa bispinosa</i> (Bate, 1857)	+	–	4–8
<i>Caprella acanthifera</i> (Leach, 1814)	+	–	4–8
<i>Dexamine spinosa</i> (Montagu, 1813)	+	–	4–12
<i>Echinogammarus olivii</i> (Milne-Edwards, 1830)	+	+	2–4
<i>Gammarus insensibilis</i> Stock, 1966	+	–	3,5–6
<i>Melita palmata</i> (Montagu, 1804)	+	–	4,0
<i>Microdeutopus gryllotalpa</i> Costa, 1853	+	+	3–5
<i>Microdeutopus versiculatus</i> (Spence Bate, 1857)	+	–	8–12
<i>Nototropis guttatus</i> Costa, 1853	+	–	4–8
<i>Phtisica marina</i> Slabber, 1769	+	–	3–6
Isopoda:			
<i>Dynamene bidentata</i> (Adams, 1800)	+	+	2–3,5
<i>Elaphognathia bacescoi</i> (Kussakin, 1969)	+	–	8
<i>Idotea baltica</i> Pallas, 1772	+	–	3,5–6
<i>Stenosoma capito</i> (Rathke, 1837)	+	–	3,5–12
Tanaidacea:			
<i>Chondrochelia savignyi</i> (Krøyer, 1842)	++	–	4–10
Decapoda:			
<i>Athanas nitescens</i> (Leach, 1813 [in Leach, 1813–1814])	+	–	3,5
<i>Diogenes pugilator</i> (Roux, 1829)	+	–	3,5–8,0
<i>Eriphia verrucosa</i> (Forskål, 1775)	+	–	4,0
<i>Liocarcinus navigator</i> (Herbst, 1794)	+	–	4,0
<i>Liocarcinus vernalis</i> (Risso, 1827)	+	–	5,0
<i>Macropodia czernjawszkii</i> (Brandt, 1880)	+	–	4,0–4,5
<i>Pilumnus hirtellus</i> (Linnaeus, 1761)	+	–	3,5–5,0
<i>Xantho poressa</i> (Olivi, 1792)	+	–	3,0–4,5
Hexanauplia, Cirripedia:			
<i>Amphibalanus improvisus</i> (Darwin, 1854)	+++	+++	0–40

Примечание: частоту встречаемости артропод на раковинах *R. venosa* оценивали по шкале: «–» — таксон не обнаружен; «+» — встречается редко (до 1 % выборки); «++» — нечасто (2–10 %); «+++» — часто (11–30 %)

Note: the frequency of occurrence of Arthropoda species on the *R. venosa* shells was estimated by the following scale: “–” – taxon is not found; “+” – rarely found (up to 1 % of the total sample); “++” – uncommon (2–10 %); “+++” – common (11–30 %)

Подтип Crustacea, класс Malacostraca.

Отряд Amphipoda.

Семейство Ampithoidae. Одни из наиболее многочисленных видов ракообразных в консорции *R. venosa* — представители рода *Ampithoe* Leach, 1814, которые строят трубкообразные домики, прочно прикреплённые к таллону водорослей [6, 13].

Ampithoe ramondi Audouin, 1826 — фитофаг, самый многочисленный из видов амфипод и подвижных форм ракообразных в консорции рапаны вообще. Нами обнаружены 186 экз. этого вида размером до 8 мм на водорослевых обрастаниях песчаной экоморфы *R. venosa* в диапазоне глубин 3,5–12 м в бухтах Севастополя.

Ampithoe helleri Karaman, 1975 — фитофаг, второй по численности вид среди амфипод. На водорослевых обрастаниях песчаной морфы *R. venosa* в бухте Голубая (г. Севастополь) в диапазоне глубин 3,5–10 м найдены 80 экз. *A. helleri* размером до 8 мм.

Семейство Calliopriidae. *Apherusa bispinosa* (Spence Bate, 1857) — детритофаг. Особи размером до 4 мм в количестве 25 экз. обнаружены среди эпифитов песчаной морфы рапаны на глубине 4–8 м в бухтах Севастополя.

Семейство Caprellidae. *Caprella acanthifera* (Leach, 1814) — полифаг. На эпифитах песчаной *R. venosa* на глубине 4–8 м в бухтах Севастополя найдены 8 экз. этого вида размером до 14 мм.

Phtisica marina Slabber, 1769 — детритофаг. Четыре особи размером до 14 мм обнаружены на водорослевых обрастаниях песчаной морфы *R. venosa* в бухтах Голубая и Казачья (г. Севастополь) в диапазоне глубин 3–6 м.

Семейство Dexaminiidae. *Dexamine spinosa* (Montagu, 1813) — фитофаг. Особи размером до 8 мм в количестве 21 экз. найдены в бухтах Севастополя среди эпифитов песчаной морфы рапаны на глубине 4–12 м.

Семейство Gammaridae. *Echinogammarus olivii* (H. Milne-Edwards, 1830) — фитофаг. Два экземпляра (размером 6,5 и 9,0 мм) обнаружены на раковинах скальной экоморфы, один экземпляр — на песчаной морфе *R. venosa* на глубинах 2–4 м в бухте Голубая (Севастополь).

Gammarus insensibilis Stock, 1966 — полифаг. Особи размером до 2 мм в количестве 5 экз. найдены на раковинах песчаной *R. venosa* на глубинах 3,5–6 м в бухте Голубая.

Семейство Melitidae. Один экземпляр детритофага *Melita palmata* (Montagu, 1804) размером 8 мм обнаружен среди водорослевых обрастаний песчаной рапаны на глубине 4 м в бухте Голубая.

Семейство Aoridae. *Microdeutopus gryllotalpa* Costa, 1853 — детритофаг, один из наиболее многочисленных (24 экз.) видов амфипод в консорции *R. venosa*. Особи размером до 7 мм найдены среди водорослевых обрастаний раковин как песчаной (14 экз.), так и скальной (10 экз.) экоморфы рапаны на глубинах 3–5 м в бухтах Севастополя.

Microdeutopus versiculatus (Spence Bate, 1857) — детритофаг. Обнаружен в количестве 4 экз. размером до 5 мм среди эпифитов раковины песчаной экоморфы *R. venosa* на глубинах 8–12 м в бухте Голубая.

Семейство Atylidae. *Nototropis guttatus* Costa, 1853 — детритофаг. Найден в количестве 3 экз. размером до 6 мм среди эпифитов раковины песчаной экоморфы *R. venosa* на глубинах 4–8 м в бухтах Севастополя.

Отряд Isopoda.

Семейство Sphaeromatidae. *Dynamene bidentata* (Adams, 1800) — единственный представитель рода в Чёрном море. Фитофаг, обитающий в прибрежной зоне в трещинах скал или в пустых домиках баянусов [11]. Три особи размером до 3 мм (рис. 1) обнаружены на поверхности раковин скальной (1 экз.) и песчаной (2 экз.) экоморфы *R. venosa* на глубинах 2 м и 3–3,5 м в бухтах Голубая и Круглая соответственно.

Семейство Idoteidae. *Idotea baltica* Pallas, 1772 — полифаг, самый массовый вид изопод в консорции *R. venosa*. В бухтах Севастополя на глубинах 3,5–6 м на раковинах песчаной рапаны найдены

25 экз. *I. baltica* размером 4–19 мм. Покровительственная окраска и специфическая удлинённая форма позволяют *I. baltica* скрываться от хищников даже на участках раковин рапаны, лишённых обрастаний (рис. 2).



Рис. 1. Экземпляр *Dynamene bidentata* (L = 3,0 мм) на поверхности раковины песчаной *R. venosa* с глубины 3,0 м, бухта Круглая (район 3)

Fig. 1. *Dynamene bidentata* specimen (L = 3.0 mm) on the shell surface of sandy *R. venosa* from the depth of 3.0 m, Kruglaya Bay (region 3)

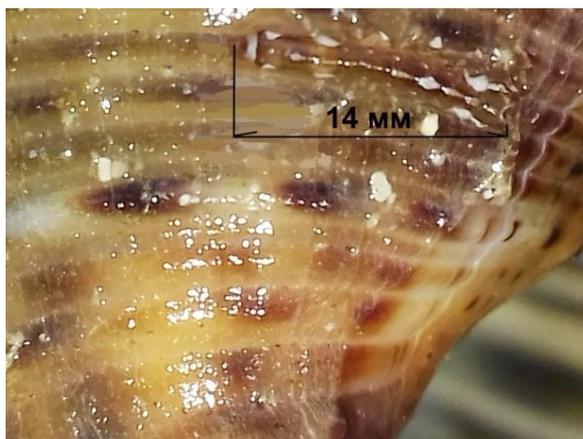


Рис. 2. *Idotea baltica* (L = 14 мм), мимикрирующая под спиральное ребро раковины *R. venosa*. Бухта Голубая, г. Севастополь (район 3), глубина 3,5 м

Fig. 2. *Idotea baltica* (L = 14 mm) mimicking the spiral rib of the conch of *R. venosa*. Golubaya Bay, Sevastopol (region 3), the depth of 3.5 m

Stenosoma capito (Rathke, 1837) — полифаг, второй по численности вид изопод в консорции рапаны. Обнаружен в количестве 19 экз. размером 4–17 мм в районе Севастополя в диапазоне глубин 3,5–12 м на поверхности раковин песчаной экоморфы *R. venosa* среди водорослевых обрастаний.

Семейство Gnathiidae. Один взрослый экземпляр *Elaphognathia bacescoi* (Kussakin, 1969) размером 4 мм найден в консорции песчаной рапаны на глубине 8 м в бухте Голубая (Севастополь). Эктопаразит рыб *E. bacescoi* (рис. 3) в прибрежных водах Крыма отмечен ранее для района Тарханкута [10]. Вид был описан по сборам в прибосфорском секторе Чёрного моря [11]; длительное время его обнаруживали только в этом районе [21]. Молодые особи *E. bacescoi* хорошо плавают и существуют за счёт периодического паразитирования на морских костистых и хрящевых рыбах. Взрослые раки не питаются и ведут донный образ жизни в убежищах, образованных, например, пустыми раковинами морских желудей или губками [17]. Можно предположить, что этот вид является также эктопаразитом *R. venosa*.



Рис. 3. Эктопаразит *Elaphognathia bacescoi*, взрослый экземпляр, 4 мм, из бухты Голубая (г. Севастополь), глубина 8 м (фото А. А. Надольного)

Fig. 3. Ectoparasite *Elaphognathia bacescoi*, adult specimen, 4 mm, from Golubaya Bay (Sevastopol), depth 8 m (photo taken by A. A. Nadolny)

Отряд Tanaidacea.

Семейство Leptoheliidae. Танаидовый рак *Chondrochelia savignyi* (Krøyer, 1842) — детритофаг, строит трубкообразные домики, прочно прикрепленные к таллосу водорослей. *C. savignyi* находят в районах с густыми многолетними зарослями и малоподвижной водой [6, 13]. *C. savignyi* — один из наиболее распространенных представителей ракообразных в консорции *R. venosa*. На водорослевых обрастаниях песчаной рапаны обнаружены 92 особи *C. savignyi* в диапазоне глубин 4–10 м.

Отряд Decapoda — все нижеперечисленные виды десятиногих раков являются полифагами.

Инфраотряд Caridea — каридные.

Семейство Alpheidae. Один экземпляр (8 мм) *Athanas nitescens* (Leach, 1813 [in Leach, 1813–1814]) найден среди водорослевых обрастаний песчаной экоморфы *R. venosa* на глубине 3,5 м в районе 3 (Севастополь). Частое присутствие *A. nitescens* в районе Севастополя отмечено ещё С. А. Зерновым [8].

Инфраотряд Anomura — бесхвостые.

Семейство Diogenidae. Наиболее распространенный и многочисленный (7 экз.) вид декапод в консорции рапаны — рак-отшельник *Diogenes pugilator* (Roux, 1829). Он обычен в прибрежной зоне, предпочитает песчаный грунт с ракушей. Эти раки растут всю жизнь, и их размеры находятся в прямой зависимости от размеров раковины брюхоногого моллюска, которую они выбирают в качестве жилища. Наиболее крупные особи поселяются в раковинах мелкой рапаны [9, 12]. *D. pugilator* в наших сборах преимущественно найден в раковинах гастроподы *Tritia (Cyclope) pelucida* (Risso, 1826), которая обнаружена в консорции песчаной рапаны [5] и в больших количествах присутствует в биотопе песка в районе 3 (Севастополь) на глубинах 3,5–8 м.

Инфраотряд Brachyura — настоящие крабы.

Семейство Inachidae. Две взрослые особи, принадлежащие роду *Macropodia* Leach, 1814 обнаружены в бухте Казачья (район 3, Севастополь) на глубинах 4–4,5 м среди водорослевых обрастаний песчаной рапаны. Особи соответствуют фенотипу вида *Macropodia longirostris* (Fabricius, 1798) — одного из двух длинноногов, приводимых в базовых монографиях по фауне Чёрного моря [9, 12]. Изучение коллекции черноморских макроподий в Зоологическом музее РАН (г. Санкт-Петербург) показало, что экземпляры, этикетированные *M. longirostris*, фактически являются *M. czernjawsii* (Brandt, 1880) [19]. Возможно, в Чёрном море обитает только один вид длиннонога — *M. czernjawsii*, не приведённый в [9, 12], и *Macropodia* Чёрного моря требует всеобъемлющей ревизии [19].

Семейство Eriphiidae. Ювенильная особь «каменного краба» *Eriphia verrucosa* (Forskål, 1775) с шириной карапакса 6 мм найдена в 2016 г. в районе 3 среди водорослевых обрастаний на поверхности раковины песчаной экоморфы *R. venosa* на глубине 4 м. Среди водорослевых обрастаний

раковины *R. venosa* молодёжь *E. verrucosa* находит укрытие от хищников и питание. Взаимоотношения *E. verrucosa* и *R. venosa* чаще всего сводятся к формуле хищник — жертва. Объектами охоты краба являются преимущественно мелкие молодые тонкостенные рапаны, раковину которых крупный краб способен раздавить [15]. Толстостенные раковины зрелой рапаны, даже карликовой морфы, хорошо защищают мягкое тело моллюска от хищника: краб способен лишь обломать край устья раковины [15] или продавить небольшое отверстие выступами на дактилусах мощных клешней. Трупы *E. verrucosa* могут, в свою очередь, служить пищей для рапаны [1, 2].

Семейство Pilumnidae. Две особи молодёжи *Pilumnus hirtellus* (Linnaeus, 1761) с карапаксом шириной до 7,0 мм обнаружены в консорции песчаной *R. venosa* на глубинах 3,5 и 5 м в районе Севастополя.

Семейство Polybiidae. *Liocarcinus navigator* (Herbst, 1794) — 1 экз. молодёжи с шириной карапакса 4 мм найден на водорослевых обрастаниях песчаной рапаны в бухте Голубая (район 3) на глубине 4 м.

Liocarcinus vernalis (Risso, 1827) — 1 экз. молодёжи с шириной карапакса 4,8 мм обнаружен на глубине 5 м в бухте Голубая (район 3) на раковине песчаной экоморфы рапаны среди водорослевых обрастаний. Краб *L. vernalis* широко распространён в прибрежной зоне Чёрного моря, но встречается в единичных экземплярах [12].

Семейство Xanthidae представлено в консорции рапаны широко распространённым и часто встречающимся в прибрежной зоне Чёрного моря крабом *Xantho poressa* (Olivi, 1792). Две ювенильные особи (с шириной карапакса 4,1 мм и 6,0 мм) (рис. 4) найдены в консорции песчаной рапаны на глубине 4,5 м (бухта Голубая) и 3,0 м (бухта Казачья) соответственно.

Консорция *R. venosa* создаёт дополнительные возможности для выживания молодёжи *Brachyura*.



Рис. 4. Экземпляр молодёжи *Xantho poressa* с шириной карапакса 6,0 мм на раковине песчаной *R. venosa* в бухте Голубая (район 3, г. Севастополь), глубина 3,0 м

Fig. 4. A specimen of juveniles *Xantho poressa* with a carapace width of 6.0 mm on the shell of sandy *R. venosa* in the Golubaya Bay (region 3, Sevastopol), depth 3.0 m

Класс Hexanauplia, инфракласс Cirripedia.

Семейство Balanidae. В консорции рапаны обнаружен только один вид баянусов — *Ampribalanus improvisus* (Darwin, 1854). Его общая численность составила 578 экз.; встречаемость по районам — от 0 до 75 % (средняя — 17 %); их общий вес — 17,344 г. Таким образом, полифаг *A. improvisus* вносит самый большой вклад в численность и биомассу ракообразных консорции (53 % и 91,8 % соответственно).

Из семи обследованных нами районов баянусы не были обнаружены только в двух (1 — Мамайя, Румыния; 2 — северо-западная часть Чёрного моря, Крымский сектор). В этих районах зарегистрировано минимальное количество эпибионтов и эпифитов рапаны [3, 4, 5, 16]. На песчаной рапане в районах 3 (г. Севастополь) и 7 (г. Керчь) частота встречаемости баянусов составляла 40 и 35 % соответственно, а площадь покрытия достигала 40 % (рис. 5). Наибольшая встречаемость (75 %) отмечена нами для района Карадага на глубинах 21,8–23,0 м на рапане, обитающей на песчаном иле. Здесь же зафиксированы и максимальные значения площади покрытия (до 60 %) раковин рапаны домиками баянусов. Таким образом, и отсутствие, и наибольшие значения встречаемости *A. improvisus* отмечены нами для рыхлых грунтов.



Рис. 5. Экземпляр *R. venosa* с 40%-ным покрытием раковины домиками *A. improvisus*, район 3 (Севастополь), глубина 4 м

Fig. 5. Specimen of *R. venosa* with 40 % shell surface coverage by *A. improvisus* houses, region 3 (Sevastopol), depth 4 m

На скальной *R. venosa* частота встречаемости *A. improvisus* варьировала в пределах 15–45 %, а покрытие поверхности раковин рапаны домиками баянусов достигало 30 %.

Домики *A. improvisus* обнаружены на раковинах рапаны в пределах всего диапазона исследованных нами глубин от 0 до 40 м. После гибели баянуса его раковины могут быть использованы в качестве укрытия как подвижными ракообразными, так и другими бентосными беспозвоночными. Чаще всего в их пустых раковинах можно обнаружить молодь двустворчатого моллюска *Mytilaster lineatus* (Gmelin, 1791).

ОБСУЖДЕНИЕ

Среди консортных рапане Arthropoda наибольшее таксономическое разнообразие зафиксировано для представителей класса Malacostraca (табл. 1). В составе консорции обнаружены 25 видов, относящихся к 22 родам 19 семейств Malacostraca. При этом по разнообразию среди высших ракообразных доминируют амфиподы (12 видов), далее следуют декаподы (8 видов) и изоподы (4 вида). По количеству также доминируют амфиподы (362 экз.). Изоподы, уступая декаподам по количеству видов почти вдвое, превосходят их по численности более чем в два раза.

Более половины (52 %) видов Arthropoda в консорции рапаны — полифаги; большинство видов полифагов обнаружены в единичных экземплярах. Исключение составляют изоподы *Idotea baltica* и *Stenosoma capito*, численность которых составила 25 и 19 экз. соответственно. *Amphibalanus improvisus* — самый массовый вид (53 % общей численности и почти 92 % биомассы Arthropoda), что позволяет говорить о доминировании полифагов среди других трофических

групп по всем показателям развития (численность, биомасса, присутствие в районах изучения, частота встречаемости в них). Ранее проведёнными исследованиями в Чёрном море присутствие *A. improvisus* подтверждено для 10 из 12 обследованных районов. Частота встречаемости баянусов в районах обнаружения варьировала от 4 до 98 % [7]. Фитофаги и детритофаги составляют 20 и 28 % общего числа видов соответственно, что объясняет их приуроченность к макроводорослевым обрастаниям раковин *R. venosa*, которые являются непосредственно пищей, субстратом для развития микроводорослей и «сетью» для концентрации и удерживания частиц детрита.

Членистоногие в консорции *R. venosa* представлены двумя экологическими группами — седентарными и подвижными формами. Представители второй группы таксономически более разнообразны (23 вида), но преимущественно имеют невысокую численность (4 %). Абсолютное большинство их видов — представители сообществ макрофитов, приуроченные к зонам развития рыхлых грунтов, где гидродинамические условия способствуют развитию эпифитов на раковинах рапаны и позволяют им удерживаться в пределах консорции. Этим объясняется присутствие подвижных форм макробентоса в подавляющем большинстве в консорции песчаной экоморфы рапаны на глубинах 3,5–12 м (табл. 1), где макрофиты-обрастатели наиболее разнообразны и имеют самые высокие показатели развития [16]. Такие условия из районов наших исследований присущи прибрежной зоне окрестностей Севастополя (район 3). Только два вида свободноживущих подвижных ракообразных, обычно встречающиеся в прибойной зоне, найдены и на скальной рапане — *D. bidentata* (изопода) и *M. gryllotalpa* (амфипода).

Некоторые виды ракообразных с высокой численностью ведут малоподвижный образ жизни и также обнаружены только на макрофитах — обрастателях песчаной рапаны. Амфиподы *Ampithoe ramondi* и *Ampithoe helleri* и танаидовый рак *Leptochelia savignyi*, типичные представители сообществ эпифитона, строят трубкообразные домики, прочно прикрепленные к таллосу водорослей.

Седентарный вид (усоногий рак *A. improvisus*) обычно прикрепляется к раковине *R. venosa* и значительно реже — к талломам макроводорослей — эпифитов рапаны. *A. improvisus* адаптирован к обитанию в прибойной зоне, что определяет его присутствие как на скальной, так и на песчаной рапане. По данным [18], в Эгейском море встречаемость баянусов на раковинах скальной рапаны (48 %) значительно превышала этот показатель для рапаны, обитающей на песке (7 %).

Районы проведения работ отличаются по комплексу абиотических и биотических характеристик среды обитания *R. venosa*, что определяет различия исследованных нами консортных сообществ рапаны [3, 4, 5, 16]. Это утверждение в полной мере относится и к Arthropoda. Следует отметить, что консорция песчаной рапаны характеризуется гораздо бóльшим таксономическим разнообразием членистоногих (27 видов), чем консорция скальной рапаны (3 вида) (табл. 1). Как и в случае с уже исследованными консортными рапане организмами, динамическое воздействие водной среды лимитирует возможность удерживания личинок и взрослых особей Arthropoda на раковине рапаны и на её эпифитах. Этот фактор, очевидно, определяет различие в таксономическом составе консорции *R. venosa* рыхлых и скальных грунтов.

При этом на песчаной рапане районов 1 (Мамайя, Румыния) и 2 (северо-западная часть Чёрного моря, Крымский сектор) представители Arthropoda не обнаружены, а для района 3 (Севастополь) характерно максимальное разнообразие членистоногих. На песчаном мелководье (0–1,5 м) района пляжа Мамайя причиной отсутствия Arthropoda является, очевидно, активное воздействие песка, перемещаемого волновым воздействием. В обследованном нами секторе северо-западной части Чёрного моря на глубинах 19,5–25,0 м на ракушечных илах членистоногие на рапане также не отмечены. Очевидно, причина этому — ограниченность по свету условий для развития водорослевых обрастаний брюхоногого моллюска и отсутствие гидрологических условий, благоприятных для привноса личинок. В районе 3, где рапана обитает на песке на глубинах 2–12 м, комплекс условий на её раковинах позволяет формироваться «микрооазисам» обрастателей и связанных с ними

разнообразных подвижных форм. Здесь важную роль играют как ослабленное гидродинамическое воздействие, так и хорошая освещённость, необходимая для развития водорослей. На более глубоководных участках районов, где исследованы консорции рапаны рыхлых грунтов (районы 5–7), фотические условия неблагоприятны для развития фитообрастателей, поэтому альгофильные организмы отсутствуют.

Заключение. В консорции *R. venosa* обнаружены 27 видов Arthropoda, представляющих два подтипа — Chelicerata (класс Arachnida) и Crustacea (классы Malacostraca и Hexanauplia). Наибольшее таксономическое разнообразие отмечено для класса Malacostraca — 25 видов, относящихся к 22 родам 19 семейств.

В консорции рапаны 52 % общего числа видов Arthropoda относятся к полифагам, 20 % — к фитофагам, 28 % — к детритофагам.

Наибольшее видовое разнообразие Arthropoda в консорции рапаны присуще свободноживущим подвижным формам (23 вида). Седентарные формы, явно уступая по количеству видов (4), доминируют по численности (86 %) и биомассе (94 %).

Все обнаруженные 27 видов членистоногих присутствуют в консорции песчаной экоморфы *R. venosa*; только 3 вида обнаружены на скальной рапане.

Различия в таксономическом составе Arthropoda консорции песчаной и скальной экоморф *R. venosa* можно объяснить преимущественно разной возможностью развития макрофитов-обрастателей и различной динамикой водных масс в соответствующих биотопах обитания рапаны.

Консорция *R. venosa* создаёт дополнительные возможности для выживания и распространения различных видов Arthropoda.

Таксономическое разнообразие и высокие показатели развития отдельных видов позволяют считать, что членистоногие — это важный элемент части донного биоценоза, пространственно и трофически ассоциированного с особями самой крупной гастроподы Чёрного моря — *R. venosa*.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ИМБИ по теме «Закономерности формирования и антропогенная трансформация биоразнообразия и биоресурсов Азово-Черноморского бассейна и других районов Мирового океана» (№ гос. регистрации АААА-А18-118020890074-2).

Благодарности. Авторы выражают признательность двум анонимным рецензентам, замечания и рекомендации которых позволили улучшить качество работы. Авторы также благодарят сотрудников отдела экологии бентоса: к. б. н. Тимофеева В. А. — за помощь в определении некоторых видов Brachiura; к. б. н. Надольного А. А. — за фото *E. bacescoi*.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Бондарев И. П. Морфогенез раковины и внутри-видовая дифференциация рапаны *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846) // *Ruthenica*. 2010. Т. 20, № 2. С. 69–90. [Bondarev I. P. Shell morphogenesis and intraspecific differentiation of *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846). *Ruthenica*, 2010, vol. 20, no. 2, pp. 69–90. (in Russ.)]
2. Бондарев И. П. Особенности питания и перспективы развития рапаны *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846) в Чёрном море // *Вопросы сохранения биоразнообразия водных объектов* : материалы Междунар. конф. (Ростов-на-Дону, 27 ноября 2015 г.). Ростов-на-Дону : ФГБНУ «АзНИИРХ», 2015. С. 44–48. [Bondarev I. P. Feeding habits and development prospects of rapa-whelk *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846) in the Black Sea. In: *Voprosy sokhraneniya bioraznoobraziya vodnykh ob"ektov* : materialy Mezhdunar. konf. (Rostov-on-Don, 27 Nov., 2015). Rostov-on-Don: FGBNU «AzNIIRKh», 2015, pp. 44–48. (in Russ.)]
3. Бондарев И. П., Ревков Н. К. Консорты брюхоногого моллюска *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846) в северной части Чёрного моря. Часть I: Porifera, Cnidaria, Bryozoa, Chordata // *Морской биологический журнал*. 2017. Т. 2, № 2. С. 20–33. [Bondarev I. P., Revkov N. K. Consorts of gastropod *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846) in the Northern Black Sea. Part I: Porifera, Cnidaria,

- Bryozoa, Chordata. *Morskoj biologicheskij zhurnal*, 2017, vol.2, no.2, pp.20–33. (in Russ.). <https://doi.org/10.21072/mbj.2017.02.2.02>
4. Бондарев И. П., Ревков Н. К. Консорты брюхоногого моллюска *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846) в северной части Чёрного моря. Часть II: Mollusca (Polyplacophora, Bivalvia) // *Морской биологический журнал*. 2017. Т. 2, № 3. С. 12–22. [Bondarev I. P., Revkov N. K. Consorts of gastropod *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846) in the Northern Black Sea. Part II: Mollusca (Polyplacophora, Bivalvia). *Morskoj biologicheskij zhurnal*, 2017, vol. 2, no. 3, pp. 12–22. (in Russ.). <https://doi.org/10.21072/mbj.2017.02.3.02>
 5. Бондарев И. П., Ревков Н. К. Консорты брюхоногого моллюска *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846) в северной части Чёрного моря. Часть III: Mollusca (Gastropoda) // *Морской биологический журнал*. 2018. Т. 3, № 1. С. 23–34. [Bondarev I. P., Revkov N. K. Consorts of gastropod *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846) in the Northern Black Sea. Part III: Mollusca (Gastropoda). *Morskoj biologicheskij zhurnal*, 2018, vol. 3, no. 1, pp. 23–34. (in Russ.). <https://doi.org/10.21072/mbj.2018.03.1.03>
 6. Грезе И. И. *Амфиподы Чёрного моря и их биология*. Киев : Наукова думка, 1977. 156 с. [Greze I. I. *Amfipody Chernogo morya i ikh biologiya*. Kiev: Naukova dumka, 1977, 156 p. (in Russ.)]
 7. Емельянов И. Г., Комиссарова М. С., Марченко В. С. Консортивные связи инвазионного вида гастропод *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846) на шельфе Черного моря (Консортивні зв'язки інвазійного виду гастропод *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846) на шельфі Чорного моря) // *Екологія та ноосферологія*. 2010. Т. 21, № 3–4. С. 92–97. [Emelyanov I. G., Komisarova M. S., Marchenko V. S. Consorting correlation of the invasive species *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846) in the shelf area of the Black Sea. *Ecologiya ta noosferologiya*, 2010, vol. 21, no. 3–4, pp. 92–97. (in Ukr.)]
 8. Зернов С. А. К вопросу об изучении жизни Черного моря // *Записки Императорской Академии наук*. 1913. Т. 32, № 1. 299 с. [Zernov S. A. K voprosu ob izuchenii zhizni Chernogo morya. *Zapiski Imperatorskoj Akademii nauk*, 1913, vol. 32, no. 1, 299 p. (in Russ.)]
 9. Кобыякова З. И., Долгопольская М. А. Отряд десятиногие – Decapoda // *Определитель фауны Чёрного и Азовского морей*. Киев : Наукова думка, 1969. Т. 2. С. 270–307. [Kobyakova Z. I., Dolgopol'skaya M. A. Otryad desyatinogie – Decapoda. *Opredelitel' fauny Chernogo i Azovskogo morei*. Kiev: Naukova dumka, 1969, vol. 2, pp. 270–307. (in Russ.)]
 10. Ковалева М. А., Болтачева Н. А., Макаров М. В., Бондаренко Л. В. Макрозообентос скал верхней сублиторали Тарханкутского полуострова (Крым, Чёрное море) // *Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отделение биологии*. 2016. Т. 261, вып. 1. С. 35–42. [Kovalyova M. A., Boltacheva N. A., Makarov M. V., Bondarenko L. V. The macrozoobenthos of rocks of the upper sublittoral of the Tarkhankut peninsular (Crimea, the Black Sea) // *Byulleten' Moskovskogo obshchestva ispytatelei prirody. Otdelenie biologii*. 2016, vol. 261, iss. 1, pp. 35–42. (in Russ.)]
 11. Кусакин О. Г. Отряд равноногие – Isopoda // *Определитель фауны Чёрного и Азовского морей*. Киев : Наукова думка, 1969. Т. 2. С. 408–439. [Kussakin O. G. Otryad ravnonogie – Isopoda. *Opredelitel' fauny Chernogo i Azovskogo morei*. Kiev: Naukova dumka, 1969, vol. 2, pp. 408–439. (in Russ.)]
 12. Макаров Ю. Н. Десятиногие ракообразные // *Фауна Украины*. Т. 26. *Высшие ракообразные*. Киев : Наукова думка, 2004. Вып. 1–2. 429 с. [Makarov Yu. N. Desyatinogie rakoobraznye. *Fauna Ukrainy*. Vol. 26. *Vysshie rakoobraznye*. Kiev: Naukova dumka, 2004, iss. 1–2, 429 p. (in Russ.)]
 13. Маккавеева Е. Б. *Беспозвоночные зарослей макрофитов Чёрного моря*. Киев : Наукова думка, 1979. 228 с. [Makaveeva E. B. *Invertebrates of the Black Sea macrophytes*. Kiev: Naukova dumka, 1979, 228 p. (in Russ.)]
 14. Мокиевский В. О. *Экология морского мейобентоса*. Москва : Т-во науч. изд. КМК, 2009. 286 с. [Mokievsky V. O. *Ecology of Marine Meiobenthos*. Moscow: KMK Scientific Press, 2009, 286 p. (in Russ.)]
 15. Bondarev I. P. Ecomorphological analyses of marine mollusks' shell thickness of *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846) (Gastropoda: Muricidae). *International Journal of Marine Science*, 2013, vol. 3, no. 45, pp. 368–388. <http://dx.doi.org/10.5376/ijms.2013.03.0045>
 16. Bondarev I. P., Milchakova N. A. Macroalgal fouling of shells of *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846) (Gastropoda, Muricidae) in the Northern Black Sea. *International Journal of Marine*

- Science*, 2018, vol. 8, no. 15, pp. 127–137. <http://dx.doi.org/10.5376/ijms.2018.08.0015>
17. Lester R. J. G. Isopoda (isopods). In: *Marine Parasitology* / K. Rohde (Ed.). Wallingford, UK: CSIRO Publishing, 2005, ch. 4, pp. 138–144.
 18. Savini D., Castellazzi M., Favruzzo M., Occhipinti-Ambrogi A. The alien mollusk *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846; Gastropoda, Muricidae) in the northern Adriatic Sea: Population structure and shell morphology. *Chemical Ecology*, 2004, vol. 20, suppl. 1, pp. 411–424. <https://doi.org/10.1080/02757540310001629242>
 19. Spiridonov V. A., Petryashov V. V. Type specimens of the Crustacea Decapoda taxa described by Alexander Brandt and Vladimir Czerniavsky from the Black Sea in the collection of the Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg (with notes on type specimens of decapods species described by Heinrich Rathke from Crimea). In: D. Pessani, T. Tirelli, C. Frogli (Eds). *Atti IX Colloquium Crustacea Mediterranea*, Torino, 2–6 Sept., 2008. Torino: Museo Regionale di Scienze Naturali, 2011, pp. 265–298.
 20. Zaitsev Yu., Mamaev V. *Marine Biological Diversity in the Black Sea: A Study of Change and Decline*. New York: United Nations Publications, 1997, 208 p. (Black Sea Environmental Series ; vol. 3).
 21. Zaitsev Yu. P., Alexandrov B. G. *Biological diversity. Ukraine*. New York: United Nations Publications, 1998, 351 p. (Black Sea Environmental Series ; vol. 7).

**CONSORTS OF GASTROPOD *RAPANA VENOSA* (VALENCIENNES, 1846)
IN THE NORTHERN BLACK SEA.
PART IV: ARTHROPODA**

I. P. Bondarev and L. V. Bondarenko

Kovalevsky Institute of Marine Biological Research RAS, Sevastopol, Russian Federation

E-mail: igor.p.bondarev@gmail.com

This article containing information about study of the taxocene Arthropoda is a continuation of the cycle describing the composition of the consortium of the invasive gastropod mollusk *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846). The consortium of *R. venosa* is still an unaccounted component in the biocenosis structure of the Black Sea shelf. The material used and the research methods are discussed in detail in previous articles of the cycle. The purpose of this work is to describe the complex of epibiontic organisms and to compile an annotated list of Arthropoda taxa of the consortium of *R. venosa*. The 27 species of phylum Arthropoda found in the consortium belong to two subphyla: Chelicerata (class Arachnida) and Crustacea (classes Malacostraca and Hexanauplia). The only representative of the arachnids class (Arachnida; Acari) – *Rhombognathus notops* (Gosse, 1855) – was found just twice (in a single specimen in samplings of 2016 and 2017). The shell of *R. venosa* serves as a substrate for the development of a variety of algae – favorable habitat for the epiphyton, which causes a high number and diversity of crustaceans in this biotope. The greatest taxonomic diversity was noted for the Malacostraca class – 25 species belonging to 22 genera of 19 families. Arthropods are represented in consortium of *R. venosa* by two main ecological groups – sedentary and mobile epibionts. The largest species diversity of Arthropoda is inherent in free-living mobile forms (23 species). Sedentary forms, which inferior in number of species (4), dominate by quantity (86 %) and biomass (94 %). The only representative of Cirripedia – *Amphibalanus improvisus* (Darwin, 1854) – is the most common (53 % of the total quantity) and massive crustacean, which contributes the most significant amount to the biomass (91.8 %) of Arthropoda in the consortium. More than 50 % of the Arthropoda species in the consortium are polyphages; phytophages are 20 %; detritophages are 28 % of the total number of arthropod species. The only adult specimen of fish ectoparasites is the isopod *Elaphognathia bacescoi* (Kussakin, 1969) found in a consortium of sandy rapa-whelk at a depth of 8 m in the Golubaya Bay of Sevastopol. All of the 27 species of Arthropoda found are present in the consortium of the sandy *R. venosa*, and only 3 species are noted on the rocky rapa-whelks. The differences in the composition of the consortium of the two ecomorphs of *R. venosa* are mainly due to the great development of the epiphytes and the reduced dynamics of the water masses in the sandy rapa-whelk habitats in Sevastopol region. Due to their taxonomic diversity, quantity and biomass, Arthropoda are an important element of the bottom biocenosis spatially and trophically associated with individuals of the largest gastropod of the Black Sea – *R. venosa*.

Keywords: Arthropoda, consortium, *Rapana venosa*, Black Sea, ecology, epibionts



УДК 597.2/5:574.583(262.5)

**ИХТИОПЛАНКТОН И ТРОФИЧЕСКИЕ ВЗАИМООТНОШЕНИЯ
В ПЛАНКТОННЫХ СООБЩЕСТВАХ ПРИБРЕЖНОЙ АКВАТОРИИ
ЮГО-ЗАПАДНОГО КРЫМА (ЧЁРНОЕ МОРЕ)
В ЛЕТНИЙ СЕЗОН 2013 г.**

© 2019 г. Т. Н. Климова, И. В. Вдодович, Ю. А. Загородняя, Г. А. Финенко, Н. А. Дацык

Институт морских биологических исследований имени А. О. Ковалевского РАН, Севастополь, Россия

E-mail: tnklim@mail.ru

Поступила в редакцию 24.10.2018; после доработки 16.01.2019;
принята к публикации 22.05.2019; опубликована онлайн 24.06.2019.

В прибрежной акватории Юго-Западного Крыма летом 2013 г. изучены видовой состав и количественные показатели мезо-, макро- и ихтиопланктона, а также питание личинок рыб. В ихтиопланктоне обнаружены икра и личинки 33 видов рыб из 24 семейств, что вдвое превысило показатели 1990-х гг. В мае 2013 г. в прибрежной акватории Севастополя наблюдался результативный нерест хамсы, которому способствовали благоприятная температура воды в море (+21 °С) и хорошие кормовые условия. Наибольшее количество летненерестующих видов зарегистрировано в июне при температуре поверхностной воды +22,7 °С. Численность икры рыб в 2013 г. увеличилась по сравнению с таковой в 2000 г. в 3,4 раза, личинок — в 2,3 раза, что связано с их большей выживаемостью при улучшившихся условиях питания в результате относительно высокой численности зоопланктона с преобладанием мелкоразмерной фракции и доминированием в ней ювенильных стадий копепод. Другими факторами, улучшившими состояние кормовой базы личинок, были низкая численность гребневика *Mnemiopsis leidyi* A. Agassiz, 1865 и его слабое воздействие на зоопланктон.

Ключевые слова: ихтиопланктон, зоопланктон, гребневика, питание личинок рыб, Чёрное море

В первой половине 1990-х гг. произошёл катастрофический обвал уловов всех рыб, включая доминирующую в пелагиали хамсу. Одной из причин случившихся изменений назвали массовое развитие в Чёрном море потребляющего зоопланктон хищного гребневика — вселенца мнемииопсиса. Его развитие привело к резкому сокращению численности всего кормового зоопланктона, в том числе копепод; исчезла обитающая в поверхностном слое массовая мелкая циклопоида *Oithona nana* Giesbr., 1892; возросла доля более крупных кормовых объектов, что отрицательно сказалось на питании и выживании личинок рыб. С вселением гребневика берое и, позднее, мелкой циклопоиды *Oithona davisae* Ferrari F. D. & Orsi, 1984 условия питания личинок стали улучшаться, что положительно сказалось на их численности в конце первой декады 2000-х гг. Изучение видового состава, численности и выживания икры и личинок рыб в период нереста, а также оценка видового разнообразия ихтиопланктона позволили получить новые данные о видовом составе и нерестовой активности достоверно размножающихся в прибрежной акватории Севастополя природных популяций рыб, об особенностях их питания и о трофических взаимоотношениях в планктонных сообществах. Принимая во внимание повышенную чувствительность икры и личинок рыб к изменению факторов среды, а также полученные данные по ихтиопланктону, можно косвенно судить об экологическом состоянии исследованной акватории.

Цель работы — анализ видового разнообразия ихтиопланктона в прибрежной акватории Севастополя в период летнего нерестового сезона (май — сентябрь) и исследование трофических взаимоотношений, складывавшихся летом 2013 г. в пелагиали: зоопланктон — личинки рыб — желетельный макропланктон.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В прибрежной акватории Севастополя в 2013 г. со второй декады мая по сентябрь с борта мотобота отбирали сетью Джеди (диаметр 36 см, ячей сита 112 микрон) зоопланктон, а сетями Богорова — Расса (диаметр 80 см) — макропланктон (ячейка газа 300 микрон) и ихтиопланктон (ячейка газа 400 микрон). Схема станций приведена на рис. 1. На всех станциях ежемесячно проводили (в зависимости от погоды) от 6 до 15 вертикальных ловов ихтиопланктона в слое 0–10 м, а также дополнительно 1–3 горизонтальных лова в поверхностном слое в течение пяти минут на циркуляции при скорости мотобота около одной мили в час. Зоо- и макропланктон собирали на расположенной в двух милях от берега станции в слое 0–50 м. Всего собрано 69 проб ихтиопланктона (вертикальных — 52 лова, горизонтальных — 17) и по 7 проб зоо- и макропланктона. Пробы зоо- и ихтиопланктона сразу после взятия фиксировали 4%-ным формалином; затем их обрабатывали в лабораторных условиях. Обработку желетелого макропланктона проводили в свежем виде по методике, изложенной в [9].



Рис. 1. Схема станций отбора проб ихтиопланктона (●), мезо- и макропланктона (○) в прибрежной акватории Севастополя в летний сезон 2013 г.

Fig. 1. The map of sampling survey of ichthyoplankton (●), zooplankton and macroplankton (○) inshore Sevastopol in the summer season of 2013

Идентификацию ихтиопланктона и определение этапов эмбрионального развития проводили под микроскопом МБС-10 по [1]. Состояние икры оценивали визуально, считая погибшей частично или полностью помутневшую икру, а также икру с выраженными аномалиями в эмбриональном развитии. Видовые названия гидробионтов приведены по [16]. Численность ихтиопланктона по данным вертикальных ловов приведена под квадратным метром поверхности воды. Полученные величины в дальнейшем использованы при оценке экологических индексов: видового разнообразия Шеннона — Уивера [14], видового богатства Симсона [15], доминирования Симсона по [7, табл. 7.5, с. 133] и выровненности Пиелу [13] — для характеристики состояния ихтиопланктонного комплекса. Методика изучения питания личинок рыб изложена в работе [3]. Количественный учет зоопланктона проводили в камере Богорова по методике, принятой в лаборатории зоопланктона ФГБУН ИМБИ. Численность зоо- и макропланктона приведена в кубометре обловленного слоя воды.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В прибрежной акватории Севастополя летом 2013 г. идентифицированы икра и личинки 33 видов рыб из 24 семейств (табл. 1). Из них два вида — *Syngnathus schmidtii* (личинки) и *Scophthalmus maotica* (икра) — обнаружены только в горизонтальных поверхностных ловах.

В мае идентифицированы икра и личинки 13 видов теплолюбивых рыб из 9 семейств. Средняя численность икры составила 21,5, личинок — 9,5 экз.·м⁻² (табл. 1). В пробах преобладала икра *Engraulis encrasicolus* (41,9 %), *Diplodus annularis* (23,3 %) и *Mullus barbatus* (18,6 %). Доля мёртвой икры (в основном на первых этапах развития) составила 78 %. В открытом море в этот период получены близкие величины [5]. В прибрежье преобладали личинки из демерсальной икры семейств Blenniidae (68,6 %), Gobiidae (12,8 %), Labridae (13 %); единично встречался *Chromis chromis*. Личинки из пелагической икры были представлены только *D. annularis*.

Таблица 1. Видовая структура (% общего количества) и показатели разнообразия ихтиопланктона прибрежной акватории Севастополя в летний нерестовый сезон 2013 г. по данным вертикальных ловов (числитель — икра, знаменатель — личинки рыб)

Table 1. Species structure (% of total number) and biodiversity indices of ichthyoplankton in the inshore waters of Sevastopol during the spawning summer season 2013 on the base of data of vertically towed net (numerator – fish eggs, denominator – fish larvae)

Видовой состав	Летний сезон 2013 г.				
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
Engraulidae <i>Engraulis encrasicolus</i> Linnaeus, 1758	$\frac{41,9}{0}$	$\frac{48,2}{9,4}$	$\frac{58,7}{17,0}$	$\frac{79,0}{29,6}$	0
Atherinidae <i>Atherina mochon pontica</i> Linnaeus, 1758	0	0	$\frac{0}{8,2}$	0	0
Belonidae <i>Belone belone</i> (Linnaeus, 1761)	0	$\frac{0}{3,1}$	0	0	0
Scorpaenidae <i>Scorpaena porcus</i> Linnaeus, 1758	0	$\frac{1,0}{0}$	0	0	0
Gobiesocidae <i>Diplecogaster bimaculata</i> (Bonnaterre, 1788)	0	$\frac{0}{3,1}$	0	0	0
<i>Lepadogaster candolii</i> Risso, 1810	0	$\frac{0}{3,1}$	0	0	0
Blenniidae <i>Aidablennius sphynx</i> (Valenciennes, 1836)	0	0	0	$\frac{0}{4,3}$	0
<i>Parablennius sanguinolentus</i> (Pallas, 1814)	$\frac{0}{13,0}$	0	0	0	0
<i>P. tentacularis</i> (Brunnich, 1768)	$\frac{0}{13,0}$	0	$\frac{0}{8,2}$	$\frac{0}{5,6}$	0
<i>P. zvonimiri</i> Kolombatovic, 1892	$\frac{0}{42,6}$	$\frac{0}{6,2}$	0	$\frac{0}{1,4}$	0
<i>Salaria pavo</i> (Risso, 1810)	0	$\frac{0}{3,1}$	$\frac{0}{16,9}$	$\frac{0}{18,3}$	0
<i>Blennius</i> spp.	0	$\frac{0}{9,4}$	$\frac{0}{16,9}$	$\frac{0}{14,1}$	0

Продолжение на следующей странице...

Видовой состав	Летний сезон 2013 г.				
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
Callionymidae <i>Callionymus</i> sp.	0	$\frac{0,5}{0}$	0	$\frac{0}{1,4}$	0
Gobiidae <i>Pomatoschistus marmoratus</i> (Risso, 1810)	$\frac{0}{2,8}$	$\frac{0}{6,2}$	0	0	0
<i>Pomatoschistus minutus</i> (Pallas, 1770)	$\frac{0}{10,0}$	$\frac{0}{9,4}$	0	$\frac{0}{5,6}$	0
<i>Pomatoschistus pictus</i> Malm, 1865	0	0	$\frac{0}{8,2}$	0	0
<i>Gobius niger</i> Linnaeus, 1758	0	$\frac{0}{6,2}$	0	$\frac{0}{4,3}$	$\frac{0}{100,0}$
<i>Gobius</i> sp.	0	$\frac{0}{3,1}$	0	$\frac{0}{5,6}$	0
Labridae <i>Ctenolabrus rupestris</i> (Linnaeus, 1758)	$\frac{2,3}{0}$	0	0	0	0
<i>Symphodus ocellatus</i> Forsskål, 1775	$\frac{0}{13,0}$	$\frac{0}{3,1}$	$\frac{0}{8,2}$	0	0
Pomacentridae <i>Chromis chromis</i> (Linnaeus, 1758)	$\frac{0}{2,8}$	0	0	$\frac{0}{1,4}$	0
Mugilidae <i>Liza haematocheilus</i> (Temminck & Schlegel, 1845)	0	$\frac{0,5}{0}$	0	0	0
<i>Liza aurata</i> (Risso, 1810)	0	0	0	0	$\frac{50,0}{0}$
Carangidae <i>Trachurus mediterraneus</i> (Steindachner, 1868)	$\frac{3,4}{0}$	$\frac{5,5}{0}$	$\frac{18,7}{8,2}$	$\frac{14,8}{7,0}$	0
Mullidae <i>Mullus barbatus</i> Linnaeus, 1758	$\frac{18,6}{0}$	$\frac{14,5}{0}$	$\frac{6,2}{0}$	0	0
Pomatomidae <i>Pomatomus saltatrix</i> (Linnaeus, 1766)	0	$\frac{2,1}{0}$	$\frac{1,7}{0}$	$\frac{0,2}{0}$	0
Sciaenidae <i>Sciaena umbra</i> (Linnaeus, 1758)	0	0	$\frac{0,3}{0}$	0	0
Serranidae <i>Serranus scriba</i> (Linnaeus, 1758)	$\frac{10,5}{0}$	0	0	$\frac{1,0}{0}$	0
Sparidae <i>Diplodus annularis</i> (Linnaeus, 1758)	$\frac{23,3}{2,8}$	$\frac{25,1}{34,6}$	$\frac{13,8}{8,2}$	$\frac{2,4}{1,4}$	0
<i>Boops boops</i> (Linnaeus, 1758)	0	0	0	0	$\frac{50,0}{0}$
Scombridae <i>Sarda sarda</i> Bloch, 1793	0	$\frac{2,1}{0}$	0	$\frac{0,2}{0}$	0
Trachinidae <i>Trachinus draco</i> Linnaeus, 1758	0	0	$\frac{0,3}{0}$	$\frac{2,4}{0}$	0
Uranoscopidae <i>Uranoscopus scaber</i> Linnaeus, 1758	0	$\frac{0,5}{0}$	$\frac{0,3}{0}$	0	0

Продолжение на следующей странице...

Видовой состав	Летний сезон 2013 г.				
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
Средняя численность, экз.·м ⁻²	21,5	41,0	48,3	45,8	0,7
	9,5	6,4	1,6	7,6	0,3
Общее количество видов	13	21	14	17	3
Индекс видового разнообразия Шеннона — Уивера [14]	3,05	2,53	1,88	1,65	
Индекс видового богатства Симсона [15]	8,05	12,01	7,7	9,29	
Индекс доминирования Симсона по [7, табл. 7.5, с. 133]	0,16	0,27	0,39	0,54	
Индекс выровненности Пиелу [13]	0,82	0,57	0,49	0,4	
Температура воды в море (°С), осреднённая по станциям	+20,7	+23,5	+24,8	+24,7	+18,5

В июне в прибрежной акватории Севастополя идентифицированы икра и личинки 21 вида рыб из 15 семейств (табл. 1). Средняя численность икры составила 41,0, личинок — 6,4 экз.·м⁻² (табл. 1). Структура видового состава икры и личинок рыб была типичной для прибрежных акваторий Чёрного моря. Преобладала икра четырёх промысловых видов — мигрантов: *E. encrasicolus* (48,2 %), *D. annularis* (25,1 %), *M. barbatus* (14,5 %) и *Trachurus mediterraneus* (5,5 %). Икра остальных видов рыб встречалась единично. Кроме икры обычных в прибрежной акватории видов (*Scorpaena porcus*, *Callionymus* sp., *Uranoscopus scaber*), обнаружена икра ценных промысловых рыб (*Pomatomus saltatrix*, *Sarda sarda* и *Liza haematocheilus*). Доля мёртвой икры составила 77,1 %. Среди личинок преобладали личинки из демерсальной икры (56,3 %). На долю морских бычков и собачек приходилось 43,7 %; остальные (сарган *Belone belone*, зеленушка *Symphodus ocellatus* и два вида морских уток) встречались единично. Личинки из пелагической икры представлены двумя видами — *D. annularis* (34,6 %) и *E. encrasicolus* (9,4 %).

В июле в прибрежной акватории Севастополя идентифицированы икра и личинки 14 видов рыб из 11 семейств (табл. 1). Количество видов в ихтиопланктоне уменьшилось по сравнению с таковым в июне. Средняя численность икры была 48,3, личинок — 1,6 экз.·м⁻². В июле зарегистрирована максимальная величина численности икры в летний нерестовый сезон 2013 г. Доминировала икра *E. encrasicolus* (58,7 %). Субдоминантными видами были *T. mediterraneus* (18,7 %) и *D. annularis* (13,8 %); икра других видов встречалась единично. Мёртвая икра составила 67,7 % общей численности икринок в пробе. Численность личинок рыб была низкой, среди них преобладали виды из демерсальной икры (66,6 %). Личинки из пелагической икры (*E. encrasicolus*, *T. mediterraneus* и *D. annularis*) в сумме составили 33,4 % численности личинок.

В августе в прибрежной акватории Севастополя в ихтиопланктоне обнаружены икра и личинки 17 видов рыб из 11 семейств (табл. 1). Средняя численность икры — 45,8, личинок — 7,6 экз.·м⁻². Распределение ихтиопланктона в исследованной акватории было мозаичным. Максимальное количество икры (100 экз.·м⁻²) зарегистрировано в 1,5–2 милях от берега (глубины более 50 м) в слое 0–10 м, личинок (11 экз.·м⁻²) — в кутовой части Севастопольской бухты. Судя по высокой численности икры хамсы в море, в августе наблюдался её интенсивный нерест на шельфе юго-западного побережья Крыма. Икра и личинки хамсы составили 79 и 29,6 % общего количества соответственно. Наличие личинок разной длины в пробах свидетельствовало о результативности нереста и о благоприятных кормовых условиях для их выживания. Личинки бычковых и собачковых вместе составили 58,9 % общей численности; личинки промысловых видов — мигрантов (*E. encrasicolus*, *T. mediterraneus* и *D. annularis*) в сумме — 38 %.

В сентябре в прибрежной акватории Севастополя численность икры и личинок рыб была низкой (табл. 1). Средняя численность икры была 0,7, личинок — 0,3 экз.·м⁻². Икра представлена кефалью *Liza aurata*, личинки — бычками *Gobius niger*. Возможно, низкая численность ихтиопланктона в сентябре 2013 г. связана со штормовой погодой: в период исследований волнение у берегов Крыма было 3 балла.

Личинки рыб на ранних стадиях развития питаются мелкоразмерной фракцией зоопланктона ($\leq 0,5$ мм); его таксономическая структура и количественные показатели в прибрежной акватории Севастополя летом 2013 г. приведены на рис. 2. При переходе личинок с желточного типа питания на потребление пищевых объектов основным и наилучшим кормом для них являются науплиусы и копеподиты мелких копепод.

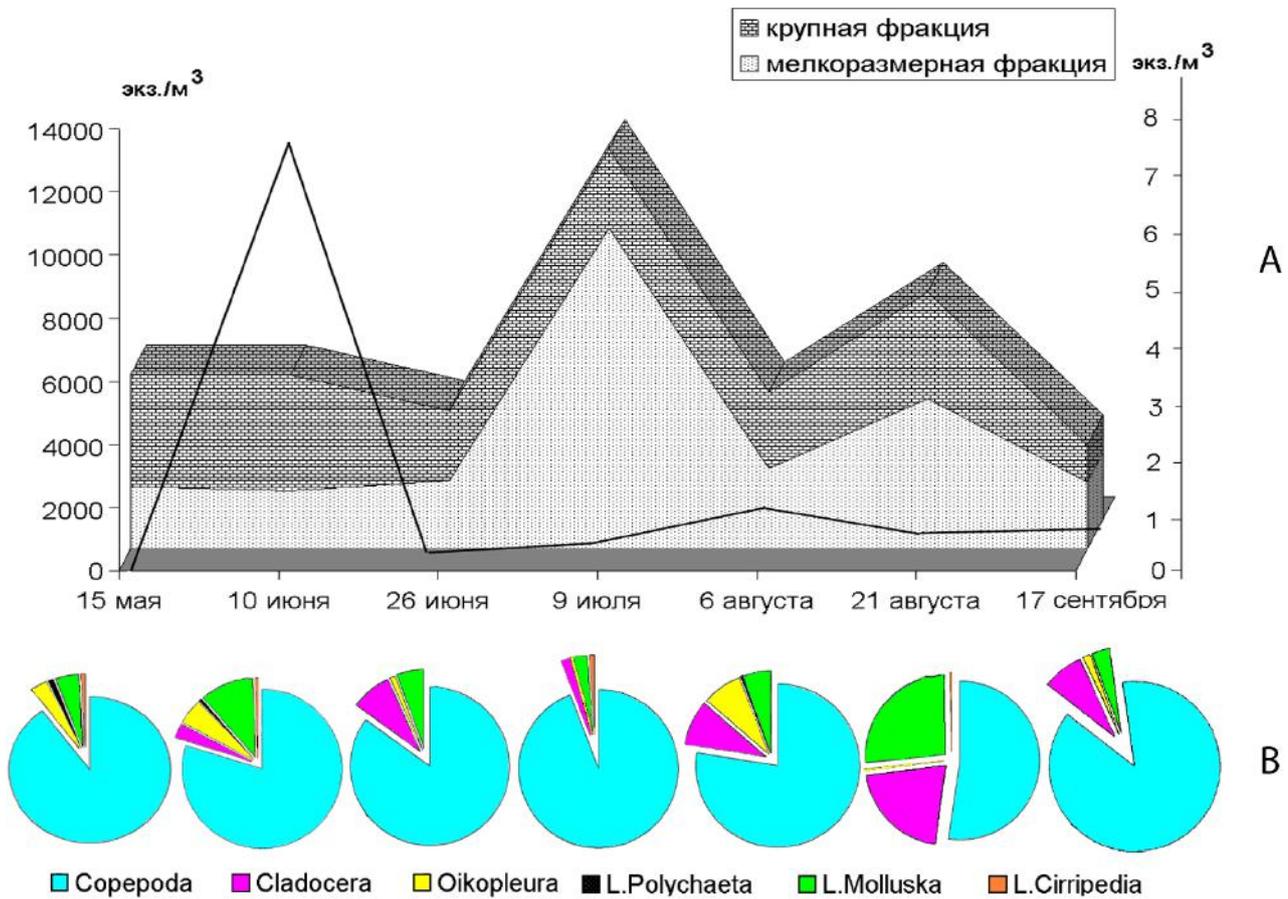


Рис. 2. Изменения численностей (экз.·м⁻³) двух размерных фракций зоопланктона ($\leq 0,5$ и $> 0,5$ мм) и мнемипсиса в прибрежной акватории Севастополя в летний сезон 2013 г. А — зоопланктон (гистограмма и левая ось ординат) и *Mnemiopsis* (кривая линия и правая ось ординат). В — соотношение основных таксономических групп в мелкоразмерной фракции зоопланктона в разные месяцы

Fig. 2. Changes in abundance (ind.·m⁻³) of two zooplankton size fractions (≤ 0.5 and > 0.5 mm) and *Mnemiopsis* inshore of Sevastopol during the summer season 2013. A – zooplankton (histogram and left y-axis) and *Mnemiopsis* (curved line and right y-axis). B – the ratio of main taxonomic groups in the small-sized fraction of zooplankton in the different months

В мае и начале июня в суммарной численности зоопланктона мелкоразмерная фракция составила 33–36 %; в конце июня доля увеличилась до 49 %. В июле количество зоопланктона существенно выросло, что совпало с интенсивным нерестом рыб. Более 80 % численности зоопланктона приходилось на мелкоразмерную фракцию, а её абсолютная величина была максимальной за весь летний нерестовый сезон. В августе (с увеличением численности личинок рыб, активным потреблением ими ювенильных стадий копепод и возросшим в начале месяца количеством мнемипсиса) численности зоопланктона и его мелкоразмерной фракции уменьшились до значений 51 и 58 % в начале и конце месяца соответственно. В сентябре (при невысокой численности зоопланктона и минимальном за летний нерестовый сезон количестве личинок рыб) доля мелкоразмерной фракция возросла до 64 %. Летом 2013 г. науплиусы и мелкие копеподиты доминировали в мелкоразмерной фракции

зоопланктона, составляя от 78 до 94 % её численности (рис. 2). Исключение — вторая половина августа, когда на фоне увеличения численностей обеих фракций зоопланктона доля ювенильных стадий копепод была ниже (52 %).

При исследовании питания личинок рыб в прибрежной акватории Севастополя на протяжении летнего нерестового сезона 2013 г. личинки с пустыми кишечниками не встречались, кроме хамсы, существенно отличающейся типом питания [3]. В мае — июне в кишечниках личинок рыб преобладали ювенильные стадии *Copepoda*, среди которых доминировали (более 50 % общего количества потреблённых организмов) науплиусы (рис. 3). В июле в питании личинок рыб доля *Copepoda* уменьшилась вдвое; большее значение приобрели *Cladocera*, которые в кишечниках составили 37 % всех потреблённых объектов. Возросла доля яиц гидробионтов; на рис. 3 они объединены в группу «прочие» с мелкими диатомовыми водорослями и единично встречающимися личинками моллюсков. Входящие в эту группы организмы имели небольшое значение в питании личинок рыб летом (от 8 до 18 %). В мае и августе структура видового состава потреблённых личинками пищевых объектов была сходной. В отличие от кишечников других личинок, кишечники хамсы не содержали оформленных пищевых объектов; обнаружена только аморфная масса, идентифицировать которую не удалось.

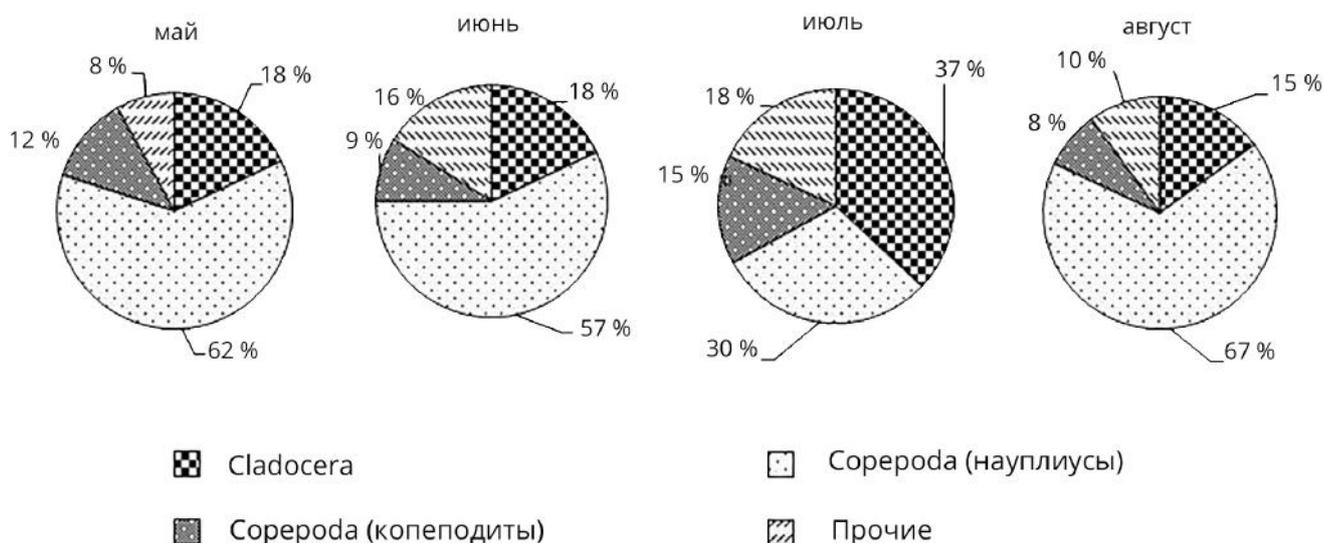


Рис. 3. Процентное соотношение разных кормовых организмов в кишечниках личинок рыб прибрежной акватории Севастополя в летний сезон 2013 г. (% общего количества потреблённых организмов)

Fig. 3. Percentage of food organisms in the fish larvae intestines from the inshore waters of Sevastopol during the summer season 2013 (% of total numbers of consumed items)

В летний период 2013 г. гребневик *Mnemiopsis leidy* в планктоне прибрежных районов в массовом количестве появился в июне (рис. 2). Его численность оставалась низкой (около $0,8 \text{ экз.} \cdot \text{м}^{-3}$ и $100 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$) до конца октября. Пищевой пресс популяции на мезопланктон был невысоким (2 % биомассы в сутки, кроме показателей июня).

В начале летнего нерестового сезона наблюдались высокие индексы видового разнообразия и выровненности ихтиопланктонного сообщества (табл. 1), поскольку нерест доминирующих видов, прежде всего хамсы, только начался, и её численность была сравнительно низкой. В июне зарегистрирован максимальный индекс видового богатства ихтиопланктона. В июле, при интенсивном нересте летненерестующих видов рыб и максимальной численности икры хамсы, количество видов ихтиопланктона, индексы видового разнообразия и выровненности снизились, а индекс

доминирования увеличился. В августе продолжался интенсивный нерест рыб; индекс видового богатства увеличился, а высокая численность доминантных видов в ихтиопланктоне привела к снижению индексов видового разнообразия и выровненности.

ОБСУЖДЕНИЕ

Проведённые летом 2013 г. исследования ихтиопланктона на шельфе у Севастополя показали, что количество видов возросло вдвое по сравнению с таковым начала 1990-х гг. [4]. Максимальное их количество зарегистрировано в июне, тогда как ранее [2] максимум регистрировали в июле — августе. Большинство летненерестующих видов размножается в прибрежных водах [2], поэтому в прибрежной акватории Севастополя летом 2013 г. индексы видового разнообразия были в 3–4 раза выше, а доминирование отдельных видов в ихтиопланктоне было менее выражено, чем в открытом море [5]. Летом 2013 г. на шельфе Кавказского побережья в районе г. Сочи обнаружены икра и личинки 9 видов рыб, в акваториях у Анапы и Геленджика — по 13 видов [8], что свидетельствует о более высоком разнообразии ихтиопланктона на юго-западном шельфе у Севастополя.

В 2013 г. в акватории Севастополя численность ихтиопланктона увеличилась по сравнению с таковой 2000 г. [4] в 3,4 раза по икре рыб и в 2,3 раза — по личинкам. Личинки хамсы появились на мористых станциях крымского шельфа относительно рано, в конце мая, что связано, вероятно, с благоприятной для размножения рыб температурой воды в море [5]. Обычно личинки хамсы появлялись в море позднее, в конце июня [1]. Летом 2013 г. возросла доля личинок промысловых видов — мигрантов (ставриды и хамсы): в среднем 38 % общей численности личинок против 13 % в 1990-е гг. [4].

В июне 2013 г. средняя численность ихтиопланктона у берегов Крыма была значительно ниже, чем на северо-восточном шельфе у Кавказа, где в районе Геленджика она достигала 282 экз.·м⁻², а в районе Анапы — 128 экз.·м⁻² [8]. Видовой состав ихтиопланктона у берегов Крыма и Кавказа различался. На северо-восточном шельфе доминировали *M. barbatus* и *D. annularis*, а ещё два вида — *Scorpaena porcus* и *Stenolabrus rupestris* — относились к преобладающим в ихтиопланктоне.

В июле у Севастополя, как и на всём крымском шельфе, доминировала икра хамсы. Проценты мёртвой икры в июле у Севастополя и на мелководном шельфе Керченского предпроливья имели близкие значения [5]. В прибрежных водах у Кавказского побережья количество видов и средняя численность икры и личинок рыб в июле 2013 г. снизились по сравнению с таковыми июня [8], что автор объяснила выеданием икры и личинок рыб мнемииопсисом. На шельфе у Севастополя уменьшения количественных показателей ихтиопланктона не наблюдали, что связано, вероятно, с низкой численностью мнемииопсиса и обилием мезопланктона.

Высокая доля ювенильных стадий копепод в питании личинок рыб при обилии мелкоразмерной фракции зоопланктона в море и отсутствие личинок с пустыми кишечниками (за исключением хамсы) свидетельствовали о благоприятных условиях питания. Эти факторы способствовали выживанию личинок в прибрежной акватории Севастополя на протяжении летнего нерестового сезона 2013 г. В начале августа отмечены небольшое увеличение численности мнемииопсиса и сокращение численности обеих фракций зоопланктона, что связано, вероятно, с началом интенсивного размножения мнемииопсиса, потребляющего зоопланктон. Однако эти изменения не сказались на питании личинок рыб; в их кишечниках доминировали науплиусы (67 %) и мелкие копеподиты (8 %).

С появлением в Чёрном море гребневика *Beroe ovata* Bruguère, 1789, основным объектом питания которого является мнемииопсис, развитие популяции последнего контролирует берое [9, 12]. За десятилетний период наблюдений (2004–2013) выявлена чёткая тенденция снижения численности популяции мнемииопсиса в прибрежной акватории Севастополя. Средняя плотность популяции мнемииопсиса в 2004–2009 гг. составила [198,2 ± 43,7(SE)]; в 2010–2013 гг. она оказалась существенно ниже — [54,5 ± 14,0(SE)] экз.·м⁻² ($p < 0,01$). Массовое появление *Mnemiopsis leidy* отличалось в разные годы, и наблюдалось, как правило, тогда, когда температура

воды достигала +22...+23 °С [6, 11]. В конце июля 2013 г. температура поверхностного слоя моря повысилась до +27 °С; при таком её значении интенсивность питания *M. leidy* снизилась, скорость его размножения уменьшилась, а численность популяции сократилась. В летний период 2013 г. развитие гребневика *M. leidy* не было, по-видимому, определяющим в динамике видового состава и количестве ихтиопланктона. Наблюдающееся в последние годы снижение численности популяции мнемнопсиса, наряду с выеданием его *B. ovata*, связано также с потеплением климата [10].

Выводы:

1. В прибрежной акватории Севастополя в летний сезон 2013 г. обнаружены икра и личинки 33 видов рыб из 24 семейств. Средняя численность икры колебалась от 0,7 до 48,3, личинок — от 0,3 до 9,5 экз.·м⁻². Доля промысловых видов — мигрантов, прежде всего хамсы и ставриды, увеличилась по сравнению с долями в 1990-е гг., а зарегистрированный в конце первой декады 2000-х гг. положительный тренд изменения численности ихтиопланктона сохранился.
2. Индексы видового разнообразия в прибрежье были в 2–3 раза выше, чем в открытом море. Наибольшее число видов и максимальная величина индекса видового богатства ихтиопланктона зарегистрированы в июне. Максимальные индексы видового разнообразия и выровненности отмечены в начале летнего нерестового сезона (май) в отсутствие доминирования отдельных видов в ихтиопланктоне. Индекс доминирования был максимальным в августе, в период массового нереста хамсы.
3. Летом 2013 г. в прибрежной акватории Севастополя наблюдались благоприятные условия для питания личинок рыб, о чём свидетельствовали высокая доля мелкоразмерной фракции зоопланктона с доминированием ювенильных стадий копепод как в море, так и в кишечниках личинок рыб, и отсутствие личинок с пустыми кишечниками.
4. Численность *Mnemiopsis leidy* в прибрежных районах была невысокой, что обусловило низкую скорость выедания им зоопланктона и отсутствие контроля над его развитием.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ИМБИ по теме «Закономерности формирования и антропогенная трансформация биоразнообразия и биоресурсов Азово-Черноморского бассейна и других районов Мирового океана» (№ гос. регистрации АААА-А18-118020890074-2) и гранта РФФИ р_а 18-44-920022 «Отклик черноморской пелагической экосистемы на изменение климата в регионе (на примере медуз, гребневиков и мелких пелагических рыб)».

Результаты доложены на научной конференции «Перспективы и направления развития экологии водоёмов», посвящённой 110-летию со дня рождения д. б. н., профессора Виктора Сергеевича Ивлева (1907–1964) и 100-летию со дня рождения д. б. н. Ирины Викторовны Ивлевой (1918–1992) (г. Севастополь, 2017 г.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Дехник Т. В. *Ихтиопланктон Черного моря*. Киев : Наукова думка, 1973. 234 с. [Dekhnik T. V. *Ikhtioplankton Chernogo morya*. Kiev: Naukova dumka, 1973, 234 p. (in Russ.)]
2. Дехник Т. В., Павловская Р. М. Сезонные изменения видового состава, распределения и численности ихтиопланктона // *Основы биологической продуктивности Черного моря* / ред.: В. Н. Грезе. Киев : Наукова думка, 1979. Гл. 12. С. 268–272. [Dekhnik T. V., Pavlovskaya R. M. Sezonnnye izmeneniya vidovogo sostava, raspredeleniya i chislennosti ikhtioplanktona // *Osnovy biologicheskoi produktivnosti Chernogo morya*. Kiev: Naukova dumka, 1979, pp. 268–272. (in Russ.)]
3. Дука Л. А., Синюкова В. И. *Руководство по изучению питания личинок и мальков морских рыб в естественных и экспериментальных условиях*. Киев : Наукова думка, 1976. 133 с. [Duka L. A., Sinyukova V. I. *Rukovodstvo po izucheniyu pitaniya lichinok i mal'kov morskikh ryb v estestvennykh i eksperimental'nykh usloviyakh*. Kiev: Naukova dumka, 1976, 133 p. (in Russ.)]
4. Климова Т. Н. *Ихтиопланктон Черного моря как индикатор экологического состояния шельфовых вод Украины* : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.00.10. Москва, 2005. 25 с. [Klimova T. N. *Ikhtioplankton Chernogo morya kak indikator ekologicheskogo sostoyaniya shel'fovyykh vod Ukrainy* :

- avtoref. dis. ... kand. biol. nauk: 03.00.10. Moscow, 2005, 25 p. (in Russ.)]
5. Климова Т. Н., Субботин А. А., Мельников В. В., Серебрянников А. Н., Подрезова П. С. Пространственное распределение ихтиопланктона у Крымского полуострова в летний нерестовый сезон 2013 г. // *Морской биологический журнал*. 2019. Т. 4, № 1. С. 63–80. [Klimova T. N., Subbotin A. A., Mel'nikov V. V., Serebrennikov A. N., Podrezova P. S. Spatial distribution of ichthyoplankton near the Crimean Peninsula in the summer spawning season 2013. *Morskoy biologicheskij zhurnal*, 2019, vol. 4, no. 1, pp. 63–80. (in Russ.)]. <https://doi.org/10.21072/mbj.2019.04.1.06>
 6. Ковалев А. В., Скрябин В. А., Островская Н. А., Загородняя Ю. А. Состояние зоопланктона, как кормовой базы рыб в Черном море // *Современное состояние ихтиофауны Черного моря* / ред. С. М. Коновалов ; НАН Украины, Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского. Севастополь, 1996. Гл. 6. С. 131–152. [Kovalev A. V., Skryabin V. A., Ostrovskaya N. A., Zagorodnyaya Yu. A. State of zooplankton, as feed base of fishes in the Black Sea. In: *Sovremennoe sostoyanie ikhtiofauny Chernogo morya* / S. M. Konovalov (Ed.); NAN Ukrainy, Institut biologii yuzhnykh morey im. A. O. Kovalevskogo. Sevastopol, 1996, ch. 6, pp. 131–152. (in Russ.)]
 7. Одум Ю. *Экология*. Москва : Мир, 1986. Т. 2. 373 с. [Odum Yu. *Ekologiya*. Moscow: Mir, 1986, vol. 2, 373 p. (in Russ.)]
 8. Селифонова Ж. П. *Структурно-функциональная организация экосистем заливов и бухт Черного и Азовского морей (Российский сектор)* : дис. ... д-ра биол. наук : 03.00.10. Мурманск, 2015. 270 с. [Selifonova Zh. P. *Strukturno-funktsional'naya organizatsiya ekosistem zalivov i bukht Chernogo i Azovskogo morei (Rossiiskii sektor)*. [dissertation]. Murmansk, 2015, 270 p. (in Russ.)]
 9. Финенко Г. А., Аболмасова Г. И., Романова З. А., Дацк Н. А., Аннинский Б. Е. Динамика популяции гребневиков *Mnemiopsis leidyi* и ее воздействие на зоопланктон в прибрежных районах Черного моря у берегов Крыма в 2004–2008 // *Океанология*. 2013. Т. 53, № 1. С. 88–97. [Finenko G. A., Abolmasova G. I., Romanova Z. A., Datsyk N. A., Anninskii B. E. Population dynamics of the ctenophore *Mnemiopsis leidyi* and its impact on the zooplankton in the coastal regions of the Black Sea of the Crimean coast in 2004–2008. *Okeanologiya*, 2013, vol. 53, iss. 1, pp. 88–97. (in Russ.)]. <https://doi.org/10.1134/S0001437012050074>
 10. Финенко Г. А., Дацк Н. А. Репродуктивные особенности гребневика *Mnemiopsis leidyi* A. Agassiz 1865 в шельфовой зоне Черного моря // *Морские биологические исследования: достижения и перспективы* : в 3-х т. : сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, приуроч. к 145-летию Севастопольской биологической станции (Севастополь, 19–24 сент. 2016 г.) / под общ. ред. А. В. Гаевской. Севастополь, 2016. Т. 1. С. 317–319. [Finenko G. A., Datsyk N. A. Reproductivnyye osobennosti grebnevisa *Mnemiopsis leidyi* A. Agassiz 1865 v shel'fovoi zone Chernogo morya. In: *Morskie biologicheskie issledovaniya: dostizheniya i perspektivy* : v 3-kh t. : sb. materialov Vseros. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiem, priuroch. k 145-letiyu Sevastopol'skoi biologicheskoi stantsii (Sevastopol, 19–24 Sept., 2016) / A. V. Gaevskaya (Ed.). Sevastopol, 2016, vol. 1, pp. 317–319. (in Russ.)]
 11. Цихон-Луканина Е. А., Резниченко О. Г., Лукашева Т. А. Питание гребневика-мнемиопсиса // *Рыбное хозяйство*. 1995. № 4. С. 46–47. [Tsikhon-Lukanina E. A., Reznichenko O. G., Lukasheva T. A. Pitaniye grebnevisa-mnemiopsisa. *Rybnoye khozyaistvo*, 1995, no. 4, pp. 46–47. (in Russ.)]
 12. Finenko G. A., Romanova Z. A., Abolmasova G. I., Anninsky B. E., Svetlichny L. S., Hubareva E. S., Bat L., Kideys A. E. Population dynamics, ingestion, growth and reproduction rates of the invader *Beroe ovata* and its impact on plankton community in Sevastopol Bay, the Black Sea. *Journal of Plankton Research*, 2003, vol. 25, iss. 5, pp. 539–549. <https://doi.org/10.1093/plankt/25.5.539>
 13. Pielou E. C. Species-diversity and pattern-diversity in the study of ecological succession. *Journal of Theoretical Biology*, 1966, vol. 10, iss. 2, pp. 70–83. [https://doi.org/10.1016/0022-5193\(66\)90133-0](https://doi.org/10.1016/0022-5193(66)90133-0)
 14. Shannon C. E., Weaver W. *The Mathematical Theory of Communication*. Urbana: University of Illinois Press, 1949, 117 p.
 15. Simpson E. H. Measurement of diversity. *Nature*, 1949, iss. 163, pp. 688.
 16. *WoRMS Editorial Board. World Register of Marine Species*. 2017. URL: <http://www.marinespecies.org> [accessed 2018.10.22]. <https://doi.org/10.14284/170>

**ICHTHYOPLANKTON AND TROPHIC RELATIONS
IN THE PLANKTON COMMUNITIES
INSHORE OF THE SOUTH-WESTERN CRIMEA (BLACK SEA)
DURING THE SUMMER SEASON 2013**

T. N. Klimova, I. V. Vdodovich, Yu. A. Zagorodnyaya, G. A. Finenko, and N. A. Datsyk

Kovalevsky Institute of Marine Biological Research RAS, Sevastopol, Russian Federation

E-mail: tnklim@mail.ru

Species composition and quantitative indicators of zoo- and ichthyoplankton feeding of fish larvae were studied inshore of the South-Western Crimea in the summer of 2013. There were 33 species of fish eggs and larvae from 24 families identified in ichthyoplankton. It was twice as large as it was in the 1990s. Inshore of Sevastopol in May 2013 the anchovy spawning was efficiently spawned due to favorable temperature of the sea water (+21 °C) and good food conditions. The largest number of summer-spawning species was recorded in June at the surface water temperature of +22.7 °C. Abundance of fish larvae in inshore region increased too, compared to this of the 2000s, due to their high survival rate resulting from improved food conditions. There was relatively high abundance of zooplankton and the predominance of a small-sized fraction mainly by juvenile stages of copepods. Low abundance of ctenophore *Mnemiopsis leidyi* and its slight impact on zooplankton were other factors that improved the food base of fish larvae.

Keywords: ichthyoplankton, zooplankton, ctenophores, fish larvae feeding, Black Sea



УДК 639.64:594.121

**КУЛЬТИВИРОВАНИЕ ДИАТОМОВОЙ ВОДОРΟΣЛИ
CHAETOCEROS CALCITRANS F. *PUMILUS* (PAULSEN) TAKANO, 1968 —
КОРМА ДЛЯ ЛИЧИНОК ГИГАНТСКОЙ УСТРИЦЫ
CRASSOSTREA GIGAS (THUNBERG)**

© 2019 г. Л. В. Ладыгина, А. В. Пиркова

Институт морских биологических исследований имени А. О. Ковалевского РАН, Севастополь, Россия

E-mail: lvladygina@yandex.ru

Поступила в редакцию 20.06.2018; после доработки 28.08.2018;
принята к публикации 22.05.2019; опубликована онлайн 24.06.2019.

Исследовано влияние модифицированных питательных сред F/2 и Конвея на рост и накопление биомассы диатомовой водоросли *Chaetoceros calcitrans* f. *pumilus*, входящей в состав корма при выращивании личинок гигантской устрицы *Crassostrea gigas* в питомнике ФГБУН ИМБИ. Максимальные значения концентрации клеток и биомассы получены на модифицированной среде F/2 ($11,22 \times 10^6$ кл.·мл⁻¹ и 4,93 г·л⁻¹ соответственно), что значительно выше, чем на среде Конвея. Ростовые показатели *C. calcitrans* f. *pumilus* зависели от соотношения неорганического азота и фосфора, а также от содержания кремния в питательных средах. Показано, что отношение N : P = 12,5 и концентрация кремния 24 мг·л⁻¹ в модифицированной питательной среде F/2 являются приближёнными к оптимальным значениям для увеличения скорости роста этой диатомовой водоросли. Установлено влияние микроводоросли в концентрации 150×10^3 кл.·мл⁻¹, культивируемой на разных питательных средах и входящей в состав корма личинкам гигантской устрицы, на темп их роста. Среднесуточный прирост личинок, в рацион которых входила водоросль, культивируемая на модифицированной питательной среде F/2, был выше, чем на среде Конвея.

Ключевые слова: диатомовая водоросль *Chaetoceros calcitrans* f. *pumilus*, культивирование, питательная среда, корм, личинки *Crassostrea gigas*

За последние десятилетия в мире значительно возрос спрос на продукцию марикультуры (мидии, устрицы, гребешки, креветки), в связи с чем увеличились потребности в массовом производстве микроводорослей. Водоросли являются полноценным кормом для двустворчатых моллюсков, выращиваемых в питомнике, так как содержат белки, углеводы, липиды, полиненасыщенные жирные кислоты и антиоксиданты [7, 13]. Полупромышленное культивирование одноклеточных водорослей предусматривает получение максимальных биомасс для удовлетворения пищевых потребностей личинок моллюсков и ракообразных на разных стадиях онтогенеза.

Диатомовую водоросль *Chaetoceros calcitrans* f. *pumilus* широко используют в марикультуре, и особенно при выращивании двустворчатых моллюсков [4, 9]. Она является хорошим кормовым объектом для личинок гигантской устрицы на ранних стадиях их развития благодаря своим морфологическим и биохимическим характеристикам, а также способности быстро перевариваться [4].

Задачу получения максимальной биомассы *C. calcitrans* f. *pumilus* решают подбором оптимальных условий культивирования: температуры, освещённости, питательной среды, режима культивирования и типа культиваторов. В качестве культиваторов используют стеклянные бутылки

(объём — 2 л), полиэтиленовые мешки (17–20 л), кольцевые фотобиореакторы (120 л), резервуары больших объёмов (100–500 л), а также открытые бассейны [8, 11]. Водоросль культивировали в накопительном и полунепрерывном режимах, при разной температуре (от 16 до 30 °С) и освещённости (от 2 до 56 кЛк), что оказывало существенное влияние на скорость роста и на накопление биомассы *C. calcitrans* f. *pumilus* [4, 8, 9, 11]. При разных условиях культивирования микроводоросли в питомниках максимальные концентрации клеток варьировали от $1,93 \times 10^6$ до $8,88 \times 10^6$ кл.·мл⁻¹ [8, 9].

Цель работы — оптимизировать условия культивирования диатомовой водоросли *C. calcitrans* f. *pumilus*, используемой в качестве корма личинкам гигантской устрицы *Crassostrea gigas*, которых выращивают в питомнике, для получения максимальной биомассы.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Микроводоросль *C. calcitrans* f. *pumilus* культивировали в накопительном режиме в два этапа:

- 1) в колбах ($V = 2$ л) при температуре 22–24 °С, круглосуточной освещённости 6 кЛк и постоянном барботаже воздухом;
- 2) в полиэтиленовых мешках ($V = 20$ л) при температуре 22–24 °С, круглосуточной освещённости 10 кЛк и барботаже смесью воздуха и CO_2 (2 %).

Водоросль выращивали на питательных средах Конвея и Guillard F/2, приготовленных на стерильной морской воде солёностью 18 ‰, в собственной модификации [5]. Водоросли, выращенные в колбах, переносили в 20-литровые полиэтиленовые мешки и добавляли питательную среду. Эксперимент проводили в трёх повторностях. Освещённость на поверхности культиватора измеряли люксметром Ю-116. Концентрацию клеток водоросли определяли с помощью микроскопа МБИ-6 методом прямого подсчёта в камере Горяева. Для получения сухой биомассы водоросли определённый объём культуры с известной концентрацией клеток профильтровывали, после промывали физиологическим раствором и дистиллированной водой, а затем высушивали до постоянного веса при температуре 60 °С. Удельную скорость роста микроводоросли определяли по формуле [14]:

$$\mu = \frac{\ln N_1 - \ln N_0}{T_1 - T_0},$$

где N_0 — концентрация клеток водоросли в начале культивирования;

N_1 — концентрация клеток водоросли в конце выбранного интервала культивирования;

$T_1 - T_0$ — временной интервал, сутки.

Продуктивность водоросли (P_m) рассчитывали по формуле:

$$P_m = \mu_m \times B_m,$$

где μ_m — величина максимальной удельной скорости роста, сут⁻¹;

B_m — величина максимальной биомассы, г·л⁻¹ [3].

Личинок устриц выращивали при оптимальной температуре воды (22,3–24,3 °С), плотности посадки и концентрации корма [1]. Мониторинг темпа роста личинок проводили с момента оплодотворения и до оседания личинок на субстрат с интервалом двое суток, измеряя высоту раковин (H , мкм) с помощью окуляр-микрометра и микроскопа МБС-9 (по 20 измерений). Среднесуточный прирост личинок определяли по формуле:

$$\Delta H = \frac{H_1 - H_0}{T_1 - T_0},$$

где ΔH — среднесуточный прирост, мкм·сут⁻¹;

H_0 — начальное среднее значение высоты раковины личинок устриц, мкм;

H_1 — конечное среднее значение высоты раковины личинок, мкм;

$T_1 - T_0$ — временной интервал между измерениями, сутки.

Статистический анализ проводили с использованием программ Grapher и Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Клетки микроводоросли *C. calcitrans* f. *pumilus* — цилиндрические, одиночные, с хорошо развитыми щетинками, имеют тонкий панцирь. Средняя длина клеток составляет $(9,2 \pm 0,43)$ мкм, средняя ширина — $(4,2 \pm 0,15)$ мкм, средний объём — $(52,0 \pm 12,0)$ мкм³ (рис. 1А). В процессе массового культивирования водоросли и при постоянном барботаже газовой смеси щетинки обламываются, поэтому клетки становятся доступными для употребления личинками гигантской устрицы (рис. 1В).

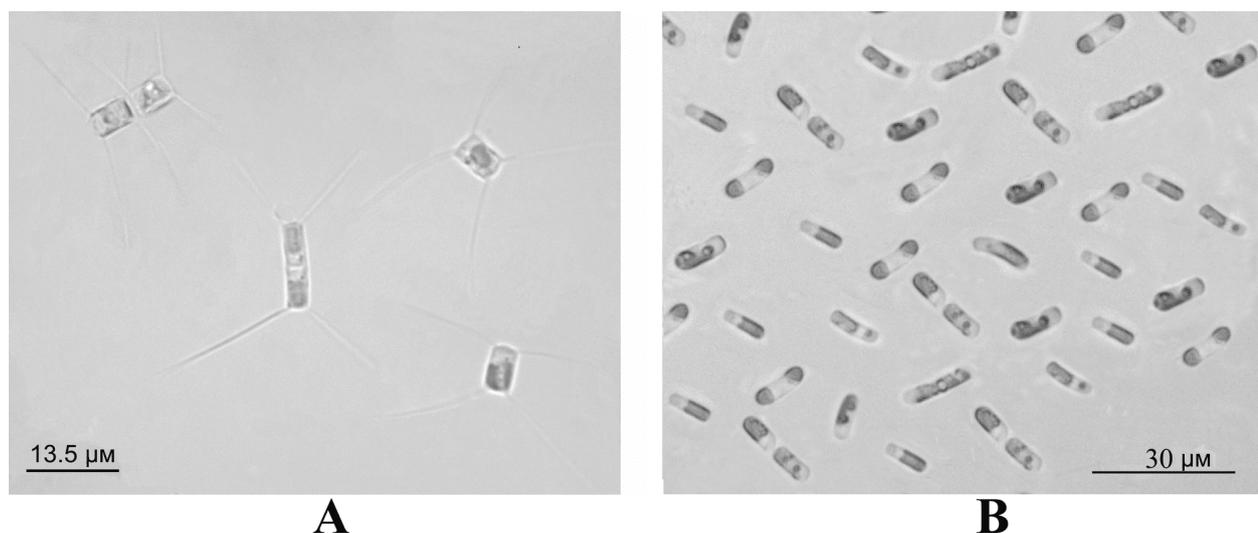


Рис. 1. Диатомовая водоросль *Chaetoceros calcitrans* f. *pumilus*: А — клетки водоросли маточной культуры; В — клетки водоросли при массовом культивировании

Fig. 1. Diatom algae *Chaetoceros calcitrans* f. *pumilus*: А – cells of the alga stock culture; В – alga cells during large scale cultivation

Культивирование в колбах. При культивировании водоросли в колбах максимальная концентрация клеток была получена на модифицированной среде F/2 и составила $18,41 \times 10^6$ кл.·мл⁻¹, что почти в 18 раз больше, чем на модифицированной среде Конвея (табл. 1).

Таблица 1. Параметры роста микроводоросли *Chaetoceros calcitrans* f. *pumilus* при культивировании в колбах в накопительном режиме на модифицированных питательных средах

Table 1. Growth parameters of the microalgae *Chaetoceros calcitrans* f. *pumilus* cultivated in flasks in storage mode on modified nutrient media

Питательная среда	Максимальная концентрация, $\times 10^6$ кл.·мл ⁻¹	Максимальная биомасса (сырая), г·л ⁻¹	Удельная скорость роста, сут ⁻¹
Конвея	$1,03 \pm 0,06$	$0,328 \pm 0,02$	0,095
F/2	$18,41 \pm 1,34$	$8,089 \pm 0,24$	0,371

Примечание: \pm — доверительный интервал

Note: \pm is for confidence interval

Среднесуточный прирост клеток водоросли на средах F/2 и Конвея составил $(1,72 \times 10^6)$ кл.·мл⁻¹·сут⁻¹ и $(0,03 \times 10^6)$ кл.·мл⁻¹·сут⁻¹ соответственно. Удельная скорость роста *C. calcitrans* f. *pumilus* на среде F/2 была в 4 раза выше, чем на среде Конвея (0,371 сут⁻¹ и 0,095 сут⁻¹ соответственно) (см. табл. 1).

Культивирование в полиэтиленовых мешках. Для увеличения выхода биомассы микроводоросли *C. calcitrans* f. *pumilus* в качестве культиваторов использовали одноразовые полиэтиленовые мешки. В течение суток клетки водоросли адаптировались к новым условиям культивирования — к повышению освещённости с 6 до 10 кЛк и к барботажу газовой смеси. Увеличение концентрации клеток отмечено уже на вторые сутки.

При таком режиме культивирования *C. calcitrans* f. *pumilus* на модифицированной питательной среде F/2 максимальная концентрация клеток и биомасса составили $(11,22 \times 10^6)$ кл.·мл⁻¹ и 4,93 г·л⁻¹ соответственно, что значительно больше, чем на среде Конвея (табл. 2). При этом удельная скорость роста водоросли на среде F/2 была в 6 раз выше, чем на среде Конвея. Максимальная продуктивность водоросли на модифицированной среде F/2 отмечена на шестые сутки. В последующие дни она снижалась вследствие увеличения концентрации клеток в культуре, в то время как освещённость оставалась неизменной — 10 кЛк.

Таблица 2. Параметры роста микроводоросли *Chaetoceros calcitrans* f. *pumilus* при культивировании в полиэтиленовых мешках в накопительном режиме на модифицированных питательных средах

Table 2. Growth parameters of the microalgae *Chaetoceros calcitrans* f. *pumilus* cultivated in polyethylene bags in storage mode on modified nutrient media

Питательная среда	Максимальная концентрация, $\times 10^6$ кл.·мл ⁻¹	Максимальная биомасса (сырая), г·л ⁻¹	Удельная скорость роста, сут ⁻¹
Конвея	$0,64 \pm 0,03$	$0,20 \pm 0,02$	0,052
F/2	$11,22 \pm 1,03$	$4,93 \pm 0,15$	0,321

Примечание: \pm — доверительный интервал

Note: \pm is for confidence interval

Зависимость накопления биомассы микроводоросли от продолжительности выращивания на модифицированных питательных средах можно представить в виде линейных функций:

$$Y = 0,385 \cdot X - 0,055 \quad (\text{для среды F/2}),$$

$$Y = 0,0059 \cdot X + 0,1242 \quad (\text{для среды Конвея}),$$

где Y — биомасса микроводоросли, г·л⁻¹;

$1 \leq X \leq 14$ — продолжительность выращивания, сут.

Коэффициенты детерминации R^2 составили 0,925 и 0,876 соответственно (рис. 2).

Анализ полученных данных позволил установить, что скорость роста и накопление биомассы *C. calcitrans* f. *pumilus* зависят от соотношения неорганического азота и фосфора в питательных средах. Концентрации неорганического азота и фосфора в среде Конвея значительно выше, чем в среде F/2, а отношение N:P в средах составляет 2,07 и 12,5 соответственно. Известно, что отношение N:P = 12 оптимально для увеличения скорости роста этой диатомовой водоросли, а при отношении N:P выше 50 численность клеток и биомасса водоросли значительно снижаются [6, 10]. Следовательно, при высоких концентрациях неорганического азота и низких концентрациях неорганического фосфора скорость роста *C. calcitrans* f. *pumilus* в питательной среде замедляется.

Для роста диатомовых водорослей, помимо основных биогенов (азот и фосфор), требуется кремний. Он влияет на скорость деления клеток водорослей, так как необходим для построения панциря, и это определяет их количественное развитие [2, 12]. Отсутствие кремния в культуральной среде приводит к образованию беспанцирных деформированных клеток. Концентрация кремния в модифицированной среде F/2 составляет 24 мг·л⁻¹. Он находится в питательной среде в виде раствора метасиликата $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, который легко подвергается гидролизу и образует кремневую кислоту, хорошо усваиваемую водорослями. Ранее было установлено, что клетки водорослей активно делятся при повышении содержания кремния в питательной среде до 30 мг·л⁻¹, а при снижении

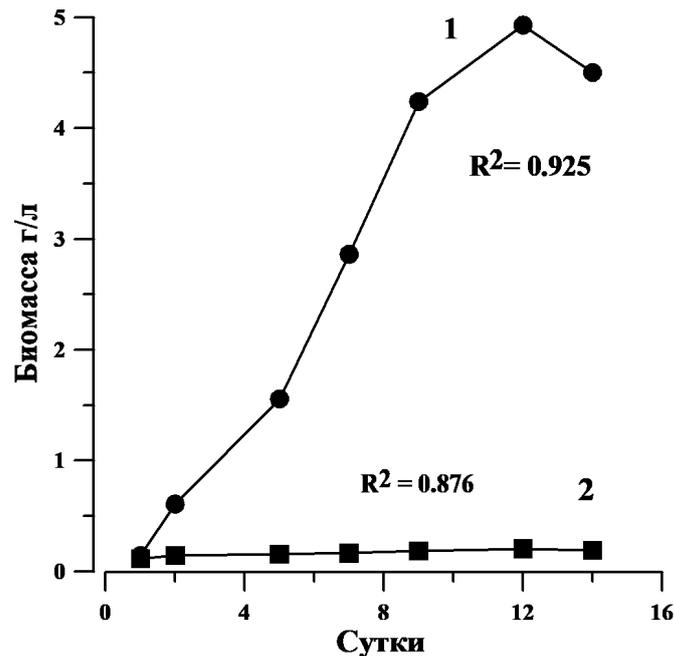


Рис. 2. Динамика накопления биомассы микроводоросли *Chaetoceros calcitrans* f. *pumilus* на модифицированных питательных средах F/2 (1) и Конвея (2)

Fig. 2. The dynamics of microalgae *Chaetoceros calcitrans* f. *pumilus* microbial accumulation on modified nutrient media F/2 (1) and Conway (2)

до $0,3 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ рост диатомовых водорослей существенно замедляется, что приводит к снижению биомассы [12]. Концентрация кремния $24 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ в модифицированной питательной среде F/2 близка к оптимальной для увеличения скорости роста *C. calcitrans* f. *pumilus* в контролируемых условиях.

При выращивании личинок и спата гигантской устрицы в питомнике в рацион личинок (начиная со стадии великонхи) вводят микроводоросль *C. calcitrans* f. *pumilus*. Её клетки легко заглатываются и быстро перевариваются личинками. Водоросль обладает высокой питательной ценностью, так как может содержать до 40,35 % белка, 27,00 % липидов и 21,32 % углеводов. Она является источником полиненасыщенных жирных кислот (до 9,06 %, из которых жирные кислоты C20:5n3 и C22:6n3 составляют 8,7 % [7]). Жирные кислоты играют важную роль на ранних стадиях развития моллюсков: аккумулированные в течение планктонных стадий, они обеспечивают процесс их метаморфоза. Накопительный режим культивирования *C. calcitrans* f. *pumilus* при оптимальной температуре (20–25 °C) позволяет получить биомассу водоросли с максимальным содержанием липидов и углеводов, способствующих высокому темпу роста молоди моллюсков [5].

На седьмые сутки выращивания личинок гигантской устрицы в питомнике (стадия великонхи) в состав корма включали диатомовую водоросль *C. calcitrans* f. *pumilus* в концентрации $150 \times 10^3 \text{ кл.} \cdot \text{мл}^{-1}$, культивируемую как на среде F/2, так и на среде Конвея. Среднесуточный прирост личинок *Crassostrea gigas*, в рацион которых входила водоросль, культивируемая на модифицированной среде F/2, составлял $23,2 \text{ мкм} \cdot \text{сут}^{-1}$ и был выше, чем на среде Конвея ($18,6 \text{ мкм} \cdot \text{сут}^{-1}$); при этом оседание личинок на субстрат произошло уже на 19-е сутки выращивания ($H = 385 \text{ мкм}$). Личинки, в состав корма которых входила водоросль *C. calcitrans* f. *pumilus*, культивируемая на среде Конвея, осели только на 23-е сутки выращивания ($H = 392 \text{ мкм}$) (рис. 3). Вероятно, кормовая ценность микроводоросли, выращенной на среде F/2, была выше, чем на среде Конвея.

Низкие значения концентрации клеток и биомассы *C. calcitrans* f. *pumilus* существенно влияют на темп роста личинок двустворчатых моллюсков: им приходится профильтровывать больший объём морской воды, чтобы удовлетворить свои пищевые потребности. В результате их энергетические затраты возрастают, а темп роста снижается. Кроме того, продолжительность

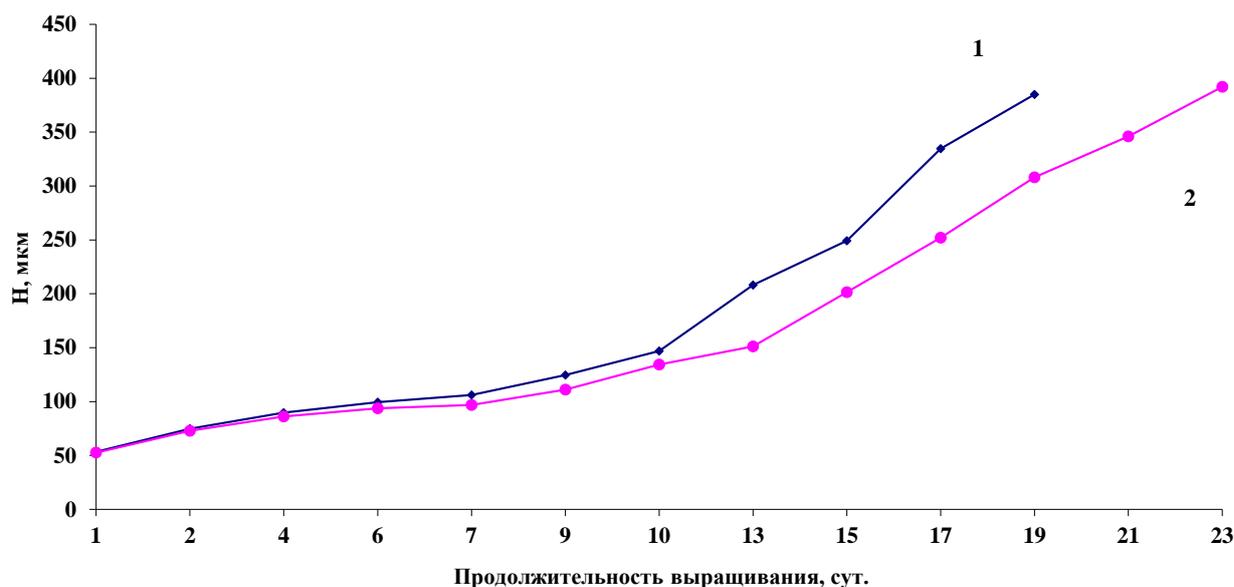


Рис. 3. Динамика роста личинок устрицы *Crassostrea gigas*, в рацион которых входила водоросль *Chaetoceros calcitrans* f. *pumilus*, культивируемая на модифицированных средах F/2 (1) и Конвея (2)

Fig. 3. Growth dynamics of *Crassostrea gigas* oyster larvae whose diet included *Chaetoceros calcitrans* f. *pumilus* cultivated on modified media F/2 (1) and Conway (2)

процесса выращивания личинок до оседания значительно увеличивается, а следовательно, работа питомника становится нерентабельной.

Заключение. Анализ результатов проведённого исследования позволил установить, что модифицированная питательная среда F/2 близка к оптимальной для увеличения скорости роста *C. calcitrans* f. *pumilus* в питомнике. Максимальное накопление биомассы водоросли ($4,93 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$) отмечено при температуре $22\text{--}24 \text{ }^\circ\text{C}$, освещённости 10 кЛк и барботаже смесью воздуха и CO_2 (2 %). Включение в рацион личинок гигантской устрицы водоросли в концентрации $150 \times 10^3 \text{ кл} \cdot \text{мл}^{-1}$, культивируемой на модифицированной питательной среде F/2, обеспечивает их высокий темп роста, а также позволяет сократить продолжительность периода выращивания личинок в питомнике до оседания на субстрат.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ИМБИ 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 АААА-А18-118021350003-6).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Пиркова А. В., Ладыгина Л. В. Определение оптимальных условий роста и выживаемости личинок устрицы *Crassostrea gigas* (Th.) // *Рыбное хозяйство Украины*. 2004. Спец. вып. 7. С. 174–177. [Pirkova A. V., Ladygina L. V. Opredelenie optimalnykh uslovii rosta i vyzhivaemosti lichinok ustritsey *Crassostrea gigas* (Th.). *Rybnoe khozyaistvo Ukrainy*, 2004, suppl. 7, pp. 174–177. (in Russ.)]
2. Стельмах Л. В., Мансурова И. М. Эколого-физиологические основы биоразнообразия фитопланктона Чёрного моря // *Экосистемы, их оптимизация и охрана*. 2012. Вып. 7. С. 149–158. [Stel'makh L. V., Mansurova I. M. Ecological and physiological basis of phytoplankton biodiversity in the Black Sea. *Ekosistemy, ikh optimizatsiya i okhrana*, 2012, iss. 7, pp. 149–158. (in Russ.)]
3. Тренкеншу Р. П. Простейшие модели роста микроводорослей. 1. Периодические культуры // *Экология моря*. 2005. Вып. 67. С. 89–97. [Trenkenshu R. P. Simplest models of microalgae growth. 1. Batch culture. *Ekologiya morya*, 2005, iss. 67, pp. 89–97. (in Russ.)]

4. Холодов В. И., Пиркова А. В., Ладыгина Л. В. *Выращивание мидий и устриц в Чёрном море* / ред. В. И. Рябушко ; 2-е изд., доп. Воронеж : ООО «Издат-Принт», 2017. 508 с. [Kholodov V. I., Pirkova A. V., Ladygina L. V. *Vyrashchivanie midii i ustrits v Chernom more* / V. I. Ryabushko (Ed.) ; 2-е изд., доп. Voronezh: ООО «Izdat-Print», 2017, 508 p. (in Russ.)]
5. Banerjee S., Hew W. E., Khatoon H., Shariff M., Yusoff F. Growth and proximate composition of tropical marine *Chaetoceros calcitrans* and *Nannochloropsis oculata* cultured outdoors and under laboratory conditions. *African Journal of Biotechnology*, 2011, vol. 10, no. 8, pp. 1375–1383.
6. Bindhu K. B. Optimum nutritional requirement for the growth of *Chaetoceros calcitrans*. *Research Journal Marine Science*, 2013, vol. 1, no. 3, pp. 1–9.
7. Brown M. R., Jeffrey S. W., Volkman J. K., Dunstan G. A. Nutritional properties of microalgae for mariculture. *Aquaculture*, 1997, vol. 151, iss. 1–4, pp. 315–331. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(96\)01501-3](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(96)01501-3)
8. Helm M., Bourne N. *Hatchery culture of bivalves. A practical manual*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2004, 177 p. (FAO Fisheries Technical Paper ; no. 471).
9. Kaspar H. F., Keys E. F., Smith K. F., Kesarcodi-Watson A., Miller M. R. Continuous production of *Chaetoceros calcitrans* in a system suitable for commercial hatcheries. *Aquaculture*, 2014, vol. 420–421, pp. 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.10.021>
10. Khoi C. M., Guong V. T., Hoa N. V., Sorgeloos P., Merckx R. Growth of *Chaetoceros calcitrans* sediment extracts from *Artemia franciscana* culture ponds points to phosphorus limitation. *Journal of the World Aquaculture Society*, 2009, vol. 40, iss. 1, pp. 104–112. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2008.00237.x>
11. Lai J. I., Yusoff F. M., Shariff M. Large-scale culture of a tropical marine microalga *Chaetoceros calcitrans* (Paulsen) Takano, 1968 at different temperatures using annular photobioreactors. *Pakistan Journal of Biology Science*, 2012, vol. 15, no. 13, pp. 635–640. <http://doi.org/10.3923/pjbs.2012.635.640>
12. Laing I. Growth response of *Chaetoceros calcitrans* (Bacillariophyceae) in batch culture to a range of initial silica concentrations. *Marine Biology*, 1985, vol. 85, iss. 1, pp. 37–41. <https://doi.org/10.1007/BF00396412>
13. Ponis E., Robert R., Parisi P. Nutritional value of fresh and concentrated algal diets for larval and juvenile Pacific oysters (*Crassostrea gigas*). *Aquaculture*, 2003, vol. 221, iss. 1–4, pp. 491–505. [http://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00075-9](http://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00075-9)
14. Vonshak A. Laboratory techniques for the culturing of microalgae. In: *Handbook of microalgae mass culture* / Richmond A. (Ed.). Boca Raton, Florida: CRC Press, 1986, pp. 117–146.

CULTIVATION OF THE DIATOM ALGAE

CHAETOCEROS CALCITRANS f. PUMILUS (PAULSEN) TAKANO, 1968 AS FOOD FOR GIANT OYSTER LARVAE CRASSOSTREA GIGAS (THUNBERG)

L. V. Ladygina and A. V. Pirkova

Kovalevsky Institute of Marine Biological Research RAS, Sevastopol, Russian Federation

E-mail: lvladygina@yandex.ru

An impact of modified nutrient media F/2 and Conway on the growth and biomass accumulation of the diatom algae *Chaetoceros calcitrans* f. *pumilus*, which is a part of the food for cultivated larvae of the giant oyster *Crassostrea gigas* in the IMBR RAS nursery, was studied. Maximum values of cell and biomass concentrations were obtained on the modified F/2 nutrient medium (11.22×10^6 cells·ml⁻¹ and 4.93 g·l⁻¹, respectively), and they were much larger than those obtained on Conway medium. Growth parameters of *C. calcitrans* f. *pumilus* depended on the ratio of inorganic nitrogen and phosphorus, as well as on the silicon content in nutrient media. The ratio N : P = 12.5 and the silicon concentration of 24 mg·l⁻¹ in the modified F/2 nutrient medium are shown to be approaching the optimal ones for increasing growth rate of diatom algae. It is found that the microalga in concentration 150×10^3 cells·ml⁻¹, cultivated on different nutrient media and included in food composition, has impact on the growth rate of giant oyster larvae. An average daily amount of growth of larvae, whose diet included algae cultivated on modified F/2 nutrient medium, was higher than that of larvae cultivated on Conway medium.

Keywords: diatom algae *Chaetoceros calcitrans* f. *pumilus*, cultivation, nutrient medium, fodder, larvae *Crassostrea gigas*



УДК 546.798.22:551.35(285.32)(262.5)

СОДЕРЖАНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ ПЛУТОНИЯ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ СОЛЁНЫХ ОЗЁР КРЫМА В СРАВНЕНИИ С ПРИБРЕЖНЫМИ АКВАТОРИЯМИ ЧЁРНОГО МОРЯ

© 2019 г. А. А. Параскив, Н. Н. Терещенко, В. Ю. Проскурнин

Институт морских биологических исследований имени А. О. Ковалевского РАН, Севастополь, Россия

E-mail: artem.paraskiv@mail.ru

Поступила в редакцию 07.11.2018; после доработки 13.12.2018;
принята к публикации 22.05.2019; опубликована онлайн 24.06.2019.

Выполнена оценка уровней концентрации активности альфа-излучающих изотопов $^{239+240}\text{Pu}$ в поверхностном слое (0–5 см) донных отложений десяти солёных озёр Крымского полуострова из четырёх географических групп. Установлено, что максимальные значения $^{239+240}\text{Pu}$ характерны для донных осадков озёр морского происхождения из разных географических групп: оз. Кызыл-Яр — (419 ± 27) , оз. Джарылгач — (443 ± 24) , оз. Тобечикское — (451 ± 43) мБк·кг⁻¹ $^{239+240}\text{Pu}$. Наименьшие уровни зафиксированы в озёрах континентального происхождения из Перекопской группы: оз. Киятское — (24 ± 6) , оз. Кирлеутское — (48 ± 4) , оз. Красное — (95 ± 9) мБк·кг⁻¹ $^{239+240}\text{Pu}$. Сравнительный анализ концентрации активности $^{239+240}\text{Pu}$ в поверхностном слое донных отложений показал, что в осадках прибрежных черноморских акваторий уровни $^{239+240}\text{Pu}$ в среднем в 2 раза выше, чем в исследованных солёных озёрах западной части Крыма. Оценены дозовые нагрузки в илах поверхностного слоя солёных озёр. Показано, что мощности эквивалентных доз не превышали диапазон мощностей доз от природного радиационного фона.

Ключевые слова: солёные озера Крыма, донные отложения, радионуклиды плутония $^{239+240}\text{Pu}$, Чёрное море

На территории Крымского полуострова известно около 300 солёных водоёмов, различающихся по химическому составу, минерализации и происхождению. Они располагаются группами, как правило вдоль берегов Чёрного и Азовского морей, и занимают часть Евпаторийско-Сакского и Тарханкутского плато, а также север Крыма и районы Керченского полуострова. Каждое из этих озёр в зависимости от его большей или меньшей связи с морем и преобладающего типа питания (морская вода либо вода поверхностного и подземного стока) относят к одной из двух больших генетических групп — к континентальной или морской [1]. Озёра континентальной группы представляют собой котловины, выработанные потоками воды, сильными ветрами или образовавшиеся в результате провалов и просадок участков суши. К этой группе относятся озёра Перекопской группы, а также, частично, Керченской; они питаются водами поверхностного и подземного стока. Для питания озёр морской группы большее значение имеет близость к акваториям Чёрного или Азовского моря, с которыми они соединяются либо напрямую протоками, либо сплошными пересыпями, через которые происходит слабая фильтрация морской воды в озёрные котловины. Также морские воды могут прорываться через пересыпи в условиях штормовой погоды. Большинство окраинных солёных озёр Крыма имеет морское происхождение.

Многие солёные озёра Крымского полуострова с конца XIX века используют для добычи поваренной соли и соды, а также брома и хлористого магния — важных компонентов химической промышленности [6]. Кроме того, донные отложения солёных озёр применяют в бальнеологических санаториях в качестве лечебных грязей [7].

Вследствие испытаний ядерного оружия в открытых средах (наиболее мощные взрывы — 1962–1963 гг.), а также аварии на Чернобыльской АЭС (1986), Чёрное море и экосистемы Крымского полуострова подверглись радиационному загрязнению [5]. В современный период в регионе одними из основных дозообразующих техногенных радиоизотопов, попавших в окружающую среду, являются, наряду с ^{90}Sr и ^{137}Cs , альфа-излучающие изотопы $^{239+240}\text{Pu}$.

С глобальными выпадениями на поверхность Земли поступило около 12 ПБк $^{239+240}\text{Pu}$ [4]. Самая высокая плотность выпадений отмечена в северном полушарии на широтах 40–50°, где расположен в том числе и Крымский полуостров. Суммарную плотность выпадений радионуклидов плутония на поверхность солёных озёр Крыма до 1986 г. можно оценить по плотности выпадений на Чёрное море, составлявшей для $^{239+240}\text{Pu}$ 81,4 Бк·м⁻² [5]. После аварии на ЧАЭС Крымский регион попал в зону «южного следа» — усиленных радиоактивных выпадений в мае 1986 г. В 1990-х гг. суммарная плотность выпадений $^{239+240}\text{Pu}$ в Крыму составляла 0,1–0,2 кБк·м⁻² [10].

Периоды полураспада ^{239}Pu и ^{240}Pu — 24 400 и 6 620 лет соответственно, что существенно больше времени жизни биологических организмов. Эти радионуклиды попадают в экосистемы, и их активность в течение сотен лет практически не уменьшается за счёт радиоактивного распада. Она суммируется от разных источников. В процессе перераспределения плутония в различные компоненты экосистем формируется долговременный хронический техногенный радиоэкологический фактор.

Основное депо для радиоизотопов плутония как в морских, так и в пресноводных водоёмах — донные отложения [9, 14], поэтому ключевой объект нашего исследования — именно донные отложения солёных озёр. Учитывая их использование в лечебных и косметических целях, важно не только изучить уровни концентраций активности радионуклидов плутония в осадках, но и оценить возможные дозовые нагрузки на живые организмы при непосредственном контакте с осадками от ионизирующей радиации, излучаемой радиоизотопами. Ранее таких исследований в солёных озёрах Крыма не проводили.

Цель работы — определение уровней концентрации активности $^{239+240}\text{Pu}$ в поверхностном слое (0–5 см) донных отложений десяти солёных озёр Крыма и их сравнительный анализ с уровнями концентрации в донных осадках смежных прибрежных районов Чёрного моря, а также оценка уровня дозовых нагрузок от ионизирующего излучения $^{239+240}\text{Pu}$ в донных осадках.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования выполнены в десяти солёных водоёмах из четырёх географических групп озёр Крымского полуострова [3] (рис. 1) морского (I, II, IV группы) и континентального (III группа) происхождения [1]. Пробы поверхностного слоя (0–5 см) донных отложений отбирали в экспедициях 2016 г. с помощью специального пробоотборника — акриловой трубки, имеющей диаметр 57 мм, с вакуумным затвором. Образцы черноморских донных осадков отбирали в морских экспедициях на НИС «Профессор Водяницкий». Параллельно с отбором проб в озёрах осуществляли измерения физико-химических параметров воды [рН, солёность, редокс-потенциал (Eh)]. Для определения рН и Eh использовали портативные тестеры рН-911 (точность измерений — ±0,1 ед. рН) и ORP-16911 (точность измерений — ±5 мВ) соответственно. Солёность воды измеряли портативным рефрактометром Kelilong RHS-10BATS (точность измерений — ±1 ‰). После высушивания осадков до постоянного веса по общепринятой методике рассчитывали их влажность, а после термической обработки оценивали долю органического вещества в них [5].

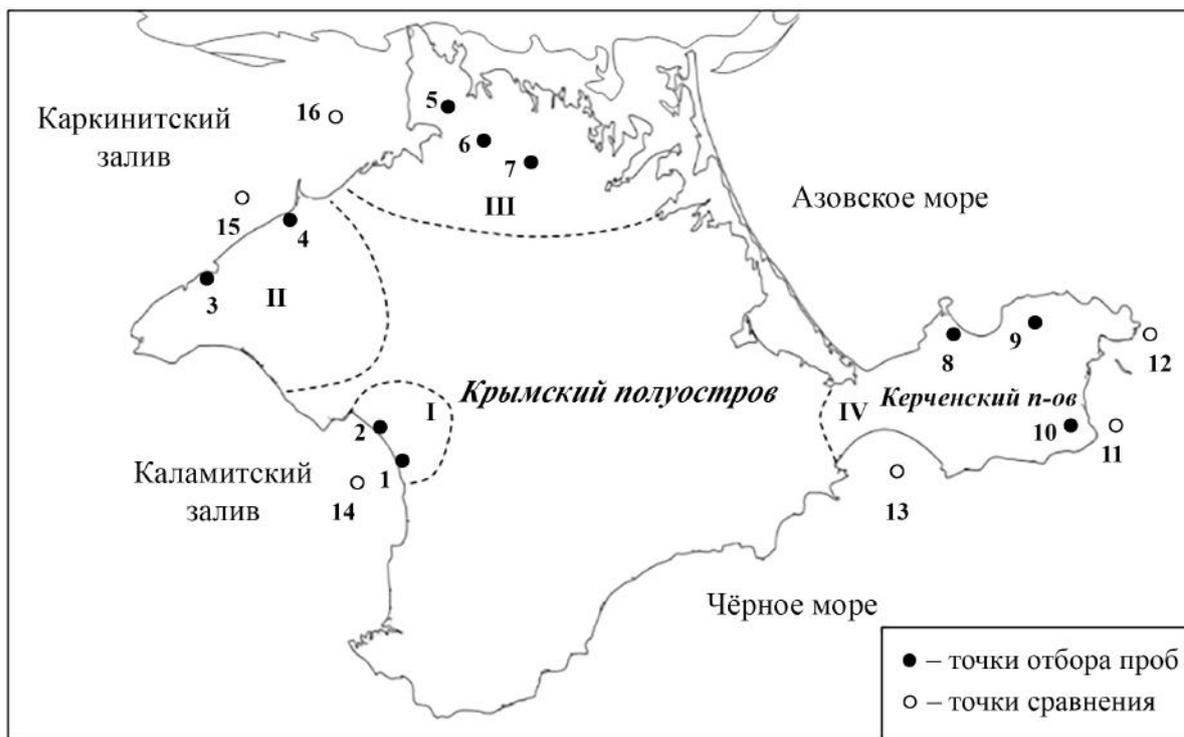


Рис. 1. Карта-схема мест отбора проб в солёных озёрах Крыма. Евпаторийская группа (I): 1 — оз. Кызыл-Яр; 2 — оз. Сасык-Сиваш. Тарханкутская группа (II): 3 — оз. Джарылгач; 4 — оз. Бакальское. Перекопская группа (III): 5 — оз. Красное; 6 — оз. Киятское; 7 — оз. Кирлеутское. Керченская группа (IV): 8 — оз. Акташское; 9 — оз. Чокракское; 10 — оз. Тобечикское. Точки сравнения в Чёрном море: 11 — южная часть Керченского пролива; 12 — северная часть Керченского пролива; 13 — Феодосийский залив; 14 — Каламитский залив; 15 — Каркинитский залив (илы); 16 — Каркинитский залив (песок)

Fig. 1. The map of sampling in Crimean salt lakes. Yevpatoriya group (I): 1 – Kyzyl-Yar; 2 – Sasyk-Sivash. Tarkhankut group (II): 3 – Dzharylhach; 4 – Bakal. Perekop group (III): 5 – Krasnoye; 6 – Kiyat; 7 – Kirleut. Kerch group (IV): 8 – Aktash; 9 – Chokrak; 10 – Tobechik. The reference points in the Black Sea: 11 – south part of the Kerch Strait; 12 – north part of the Kerch Strait; 13 – Feodosiya Gulf; 14 – Kalamite Gulf; 15 – Karkinite Gulf (mud); 16 – Karkinite Gulf (sand)

В лаборатории пробы высушивали, гомогенизировали, а затем подвергали высокотемпературной и радиохимической обработке. Последняя включала двухступенчатую очистку и выделение радионуклидов плутония при помощи колоночной хроматографии на ионообменных смолах с предварительным внесением стандартного раствора ^{242}Pu — трассера химического выхода плутония [12, 13] (рис. 2).

Далее посредством электролитического осаждения плутония на диски из нержавеющей стали изготавливали тонкослойные счётные образцы [15], которые затем измеряли на альфа-спектрометрическом комплексе EG&G ORTEC OSTE PC BERTHOLD-WALLAC. Результаты определения суммарной концентрации активности $^{239+240}\text{Pu}$ в донных отложениях представлены в мБк·кг⁻¹ сухой массы осадка. Ошибка измерения $^{239+240}\text{Pu}$ не превышала 10%; только для пробы из оз. Киятское ошибка составила 25%. Мощности доз от ионизирующего излучения радионуклидов плутония оценивали по общепринятой методике [8].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные данные позволили определить концентрации активности радионуклидов $^{239+240}\text{Pu}$ в поверхностном слое донных отложений десяти солёных озёр Крыма из разных географических групп (рис. 3). Уровни концентрации активности изучаемых изотопов варьировали как между территориальными группами, так и между водоёмами в пределах одной группы. На рис. 3 также

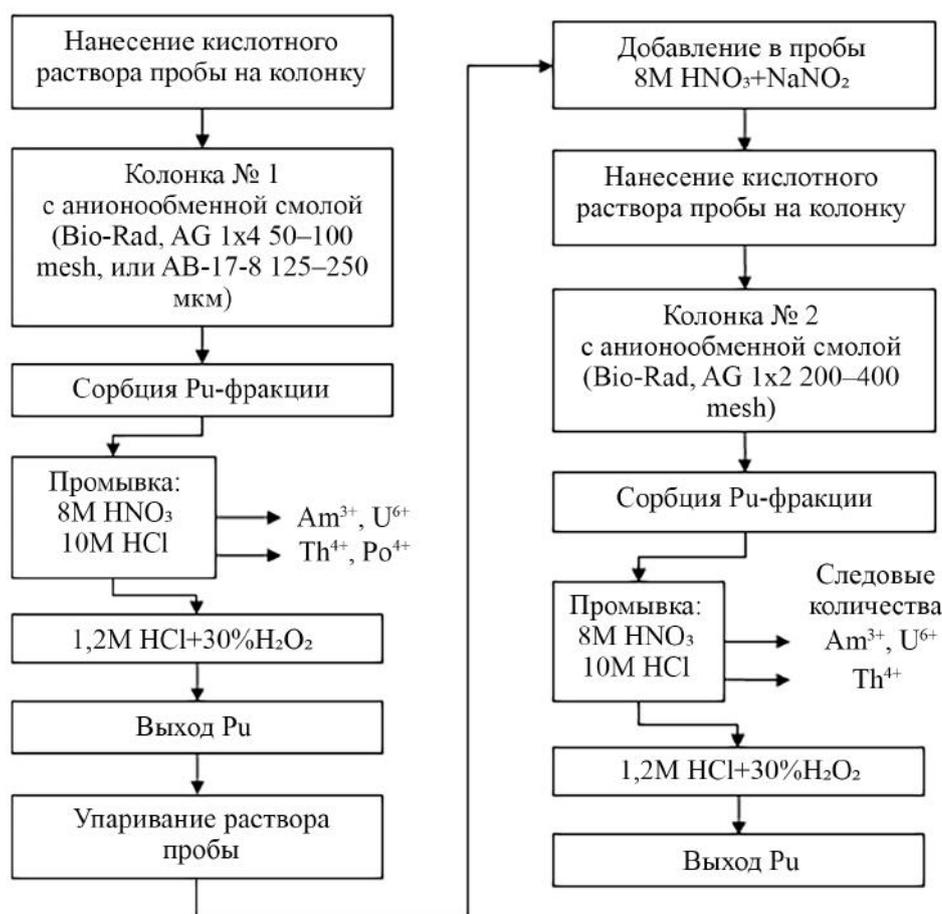


Рис. 2. Схема двухступенчатой очистки и выделения плутония при помощи колоночной ионообменной хроматографии

Fig. 2. The scheme of two-stage purification and separation of plutonium by column ion exchange chromatography

показаны результаты исследований в Каркинитском, Каламитском и Феодосийском заливах Чёрного моря и в Керченском проливе [14], то есть в прибрежных морских районах, прилегающих к месту расположения солёных озёр.

Изучаемые озёрные и морские экосистемы характеризуются различными уровнями содержания плутония в поверхностном слое донных осадков. Так, в Каламитском заливе концентрации плутония в 1,6–2,4 раза больше, чем в солёных озёрах Евпаторийской группы (Кызыл-Яр и Сасык-Сиваш), расположенных на побережье залива.

В Тарханкутской группе исследованы озёра Джарылгач и Бакальское. Значения концентрации активности в них отличаются практически в 9 раз, составляя (443 ± 24) и (49 ± 6) мБк·кг⁻¹ соответственно, из-за разного гранулометрического состава осадков (илистые и песчаные соответственно). Анализ данных, полученных в пробах из Каркинитского залива, свидетельствует о том, что в черноморских илистых донных осадках концентрации активности плутония находились в пределах (815 ± 81) мБк·кг⁻¹, а в песчаных осадках — (95 ± 9) мБк·кг⁻¹.

Следовательно, различия в значениях концентрации активности ²³⁹⁺²⁴⁰Pu в озёрах Тарханкутской группы связаны, как и в водоёмах Каркинитского залива, с гранулометрическим составом осадков. Уровни накопления ²³⁹⁺²⁴⁰Pu, характерные для илистых осадков, на порядок выше уровней, характерных для песчаных донных отложений, как в озёрах, так и в морских акваториях. В озёрах уровни ²³⁹⁺²⁴⁰Pu в илистых и песчаных донных отложениях почти в 2 раза ниже, чем в прилегающих морских акваториях (рис. 3).

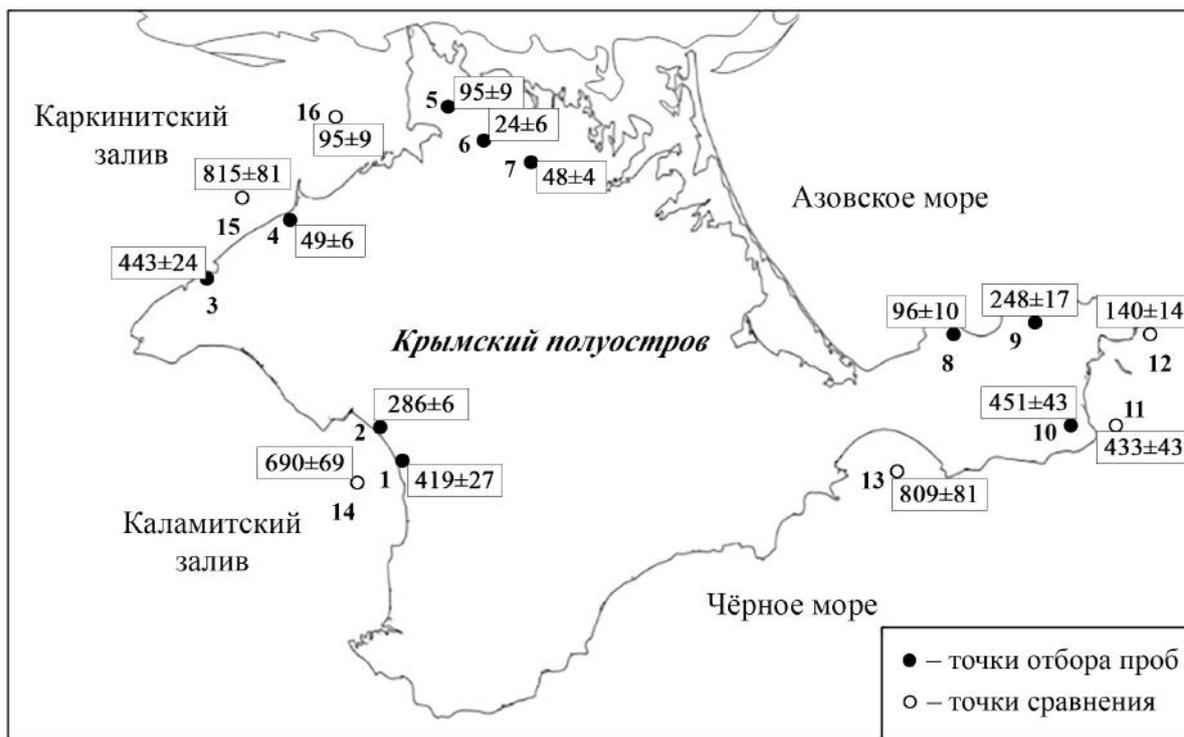


Рис. 3. Концентрации активности $^{239+240}\text{Pu}$ (мБк·кг⁻¹) в поверхностном слое (0–5 см) донных отложений солёных озёр Крыма и в точках сравнения в Чёрном море и Керченском проливе (названия озёр и точек сравнения приведены в подписи к рис. 1)

Fig. 3. Activity concentration of $^{239+240}\text{Pu}$ (mBq·kg⁻¹) in the surface layer (0–5 cm) of the bottom sediments in Crimean salt lakes and in the reference points in the Black Sea and the Kerch Strait (for the names of the lakes and the reference points see Fig. 1)

Для донных осадков озёр Перекопской группы характерны самые низкие концентрации активности плутония среди донных осадков озёр всех географических групп (24–95 мБк·кг⁻¹), что связано, вероятно, с континентальным происхождением этих озёр.

Наибольшие уровни плутония в донных осадках озёр Керченской группы характерны для оз. Тобечикское (451 мБк·кг⁻¹), которое находится на побережье Керченского пролива со стороны Чёрного моря. В озёрах Чокракское и Акташское, расположенных на побережье Азовского моря, уровни $^{239+240}\text{Pu}$ в 1,8–4,7 раза ниже, чем в оз. Тобечикское. Вместе с тем оз. Тобечикское находится на побережье южной части Керченского пролива, на границе его соединения с Чёрным морем, где в донных осадках уровень изотопов $^{239+240}\text{Pu}$ был равен 433 мБк·кг⁻¹, тогда как в северной части пролива, у границы с Азовским морем, он составлял 140 мБк·кг⁻¹. Это может говорить о различиях между уровнями концентрации активности $^{239+240}\text{Pu}$ в донных осадках северо-восточной части Чёрного моря и южной части Азовского, что могло обусловить разницу в уровнях содержания плутония в озёрах. Вопрос требует дополнительного изучения, поскольку радиоэкологические исследования в отношении $^{239+240}\text{Pu}$ в южной части Азовского моря ранее не проводили.

В целом максимальные значения концентрации активности радионуклидов плутония в поверхностном слое донных осадков наблюдали в озёрах морского происхождения из разных географических групп (рис. 1) — в озёрах Кызыл-Яр [(419 ± 27) мБк·кг⁻¹ $^{239+240}\text{Pu}$], Джарылгач [(443 ± 24) мБк·кг⁻¹ $^{239+240}\text{Pu}$] и Тобечикское [(451 ± 43) мБк·кг⁻¹ $^{239+240}\text{Pu}$] (рис. 3). Средние уровни изучаемых радионуклидов плутония в поверхностном слое донных отложений в озёрах Евпаторийской группы составили 353 мБк·кг⁻¹. Для озёр Тарханкутской и Керченской групп значения были ниже на 25–30 % (246 и 265 мБк·кг⁻¹ соответственно), а для озёр Перекопской группы — на 84 % (56 мБк·кг⁻¹ $^{239+240}\text{Pu}$).

В осадках прибрежных черноморских экосистем средние уровни плутония почти в 2 раза выше, чем в экосистемах исследованных солёных озёр в западной части Крыма. В озёрах Керченской группы различие менее выражено. Так, для связанного с Чёрным морем озера Тобечикское разница составила 1,3 раза, а для озёр азовоморского побережья — 0,8 раза. Различие в концентрации активности $^{239+240}\text{Pu}$ в донных осадках крымских озёр на побережье Азовского моря и в приазовском районе Керченского пролива может быть обусловлено разным типом осадка в этих акваториях. Если в озёрах донные отложения представлены преимущественно илами, то в исследованном морском районе донные осадки отнесены к смешанному типу (алевритово-илисто-песчаный) [2]. Как известно, радионуклиды плутония интенсивнее накапливаются иловыми осадками [8]. Более высокие уровни концентрации активности $^{239+240}\text{Pu}$ в черноморских исследованных прибрежных районах на западе Крыма можно объяснить влиянием вод северо-западной части Чёрного моря. В эти акватории в течение более продолжительного времени поступали радионуклиды плутония со стоком Дуная и Днепра. Эти реки имеют огромные водосборные бассейны, попавшие в зону влияния аварии на Чернобыльской АЭС, что привело к усиленному поступлению радионуклидов в черноморские донные осадки у западных берегов Крыма. На формирование более высокой концентрации активности плутония в Каркинитском заливе могли оказывать влияние днепровские воды, которые поступали туда до 2014 г. по руслу Северо-Крымского канала. С его водами плутоний мог поступать и в водные объекты Керченского полуострова. Между тем полученные данные о низких уровнях содержания плутония в верхнем слое (0–5 см) донных отложений в озёрах Перекопской группы свидетельствуют о том, что в последнее десятилетие Северо-Крымский канал не оказывал определяющего влияния на транспорт плутония в крымские водные экосистемы. Именно поэтому, вероятно, одним из значимых источников радионуклидов плутония для озёр были (в годы после атмосферных радиоактивных выпадений) воды Чёрного и Азовского моря.

Проведение измерений физико-химических параметров вод и донных отложений в исследуемых озёрах показало их широкую вариабельность (табл. 1).

Таблица 1. Физико-химические характеристики вод и донных отложений исследуемых озёр
Table 1. Physical-chemical characteristics of the lake water and the bottom sediments

№	Название озера	pH вод	Редокс-потенциал вод, мВ	S вод, ‰	Влажность осадка, %	Доля органического вещества в осадке, %
1	Кызыл-Яр	7,9 ± 0,1	150 ± 5	4 ± 0,1	70 ± 1	12 ± 1
2	Сасык-Сиваш	7,7 ± 0,1	66 ± 5	280 ± 2,8	23 ± 1	12 ± 1
3	Джарылгач	8,5 ± 0,1	170 ± 5	115 ± 1,2	28 ± 1	6 ± 1
4	Бакальское	8,6 ± 0,1	94 ± 5	47 ± 0,5	13 ± 1	8 ± 1
5	Красное	9,3 ± 0,1	133 ± 5	330 ± 3,3	17 ± 1	15 ± 1
6	Киятское	7,7 ± 0,1	125 ± 5	200 ± 2,0	16 ± 1	11 ± 1
7	Кирлеутское	7,9 ± 0,1	97 ± 5	235 ± 2,4	19 ± 1	16 ± 1
8	Акташское	8,5 ± 0,1	123 ± 5	89 ± 0,9	29 ± 1	6 ± 1
9	Чокракское	7,9 ± 0,1	-326 ± 5	226 ± 2,3	34 ± 1	12 ± 1
10	Тобечикское	8,2 ± 0,1	370 ± 5	176 ± 1,8	36 ± 1	13 ± 1

Особый интерес вызывало возможное влияние солёности воды на аккумуляцию плутония осадками, так как солёность вод озёр существенно отличалась в разных водоёмах (диапазон значений — от (4 ± 0,1) до (330 ± 3,3) ‰). При этом достоверной корреляции между концентрацией активности радиоизотопов плутония и солёностью вод не обнаружено (рис. 4). Коэффициент корреляции между исследуемыми параметрами был равен -0,24, что говорит об очень слабой степени отрицательной корреляционной связи этих величин. Возможно, эту связь нивелировали некоторые климатические,

географические и молисмологические факторы. Имеет значение и тот факт, что массовые концентрации плутония в экосистемах озёр являются очень низкими, что отвечает условиям прямого влияния уровня самого плутония в воде на аккумуляционную способность осадков, а не повышенных концентраций других элементов в водной среде [9].

В поверхностных черноморских осадках со средней солёностью вод около 18‰ в прибрежных районах исследований уровни $^{239+240}\text{Pu}$ были выше, чем в озёрах с более высокой солёностью (в 2,6–18,3 раза). Исключение — оз. Кызыл-Яр, где солёность была равна 4‰ (табл. 1).

Вероятно, на аккумуляцию плутония донными отложениями оказывал влияние окислительно-восстановительный потенциал водной среды; значения показателя находились в широком диапазоне — от +370 до -326 мВ (табл. 1). Плутоний — поливалентный элемент, и степень его окисления зависит от окислительно-восстановительного потенциала среды [4], что влияет, в свою очередь, на сродство плутония к частицам взвеси, с оседанием которых плутоний и поступает в донные осадки водоёмов. Отрицательный редокс-потенциал вод способствует увеличению этого сродства; именно данное обстоятельство может служить причиной более высоких уровней $^{239+240}\text{Pu}$ в Чокракском озере, чем в Акташском, хотя оба расположены на берегу Азовского моря (табл. 1).

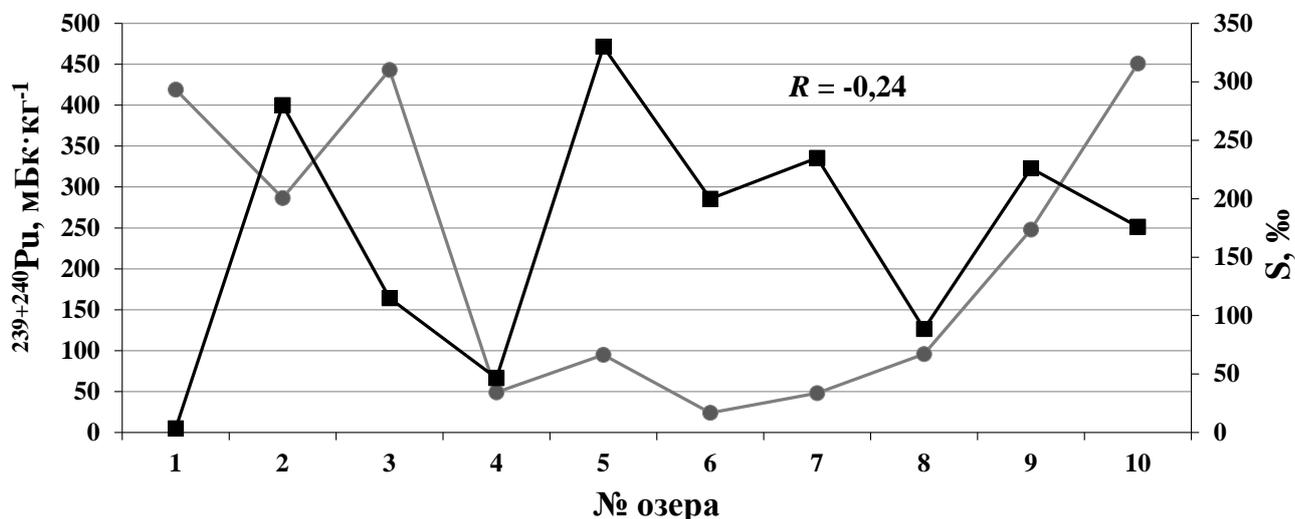


Рис. 4. Концентрация активности изотопов $^{239+240}\text{Pu}$ (серая линия с круглыми маркерами) при разной солёности (S) воды (чёрная линия с квадратными маркерами) в исследуемых озёрах: 1 — Кызыл-Яр; 2 — Сасык-Сиваш; 3 — Джарылгач; 4 — Бакальское; 5 — Красное; 6 — Киятское; 7 — Кирлеутское; 8 — Акташское; 9 — Чокракское; 10 — Тобечикское. R — коэффициент корреляции

Fig. 4. Activity concentration of isotopes $^{239+240}\text{Pu}$ (gray line with round markers) against different salinity (S) of water (black line with square markers) in salt lakes: 1 – Kyzyl-Yar; 2 – Sasyk-Sivash; 3 – Dzharylhach; 4 – Bakal; 5 – Krasnoye; 6 – Kiyat; 7 – Kirleut; 8 – Aktash; 9 – Chokrak; 10 – Tobechik. R – correlation coefficient

Известно, что гранулометрический состав осадков сказывается на величине аккумуляции радионуклидов плутония донными отложениями [5, 9]. Поверхностный слой донных отложений с различным гранулометрическим составом характеризуется, как правило, разной степенью обводнённости (влажности). Мелкодисперсным осадкам поверхностного слоя присуща более высокая влажность, чем песчанистым поверхностным донным отложениям. Обводнённость поверхностного слоя осадков солёных озёр Крыма изменялась в широких пределах от (13 ± 1) до (70 ± 3) % (табл. 1), поэтому был проведён поиск взаимосвязи между концентрацией активности радионуклидов плутония и другими физико-химическими параметрами (рис. 5). Значимой корреляции для всех исследованных озёр в целом в отношении редокс-потенциала ($R = 0,23$) и pH воды ($R = -0,16$), а также доли органического вещества в донных осадках ($R = -0,10$) не наблюдали.

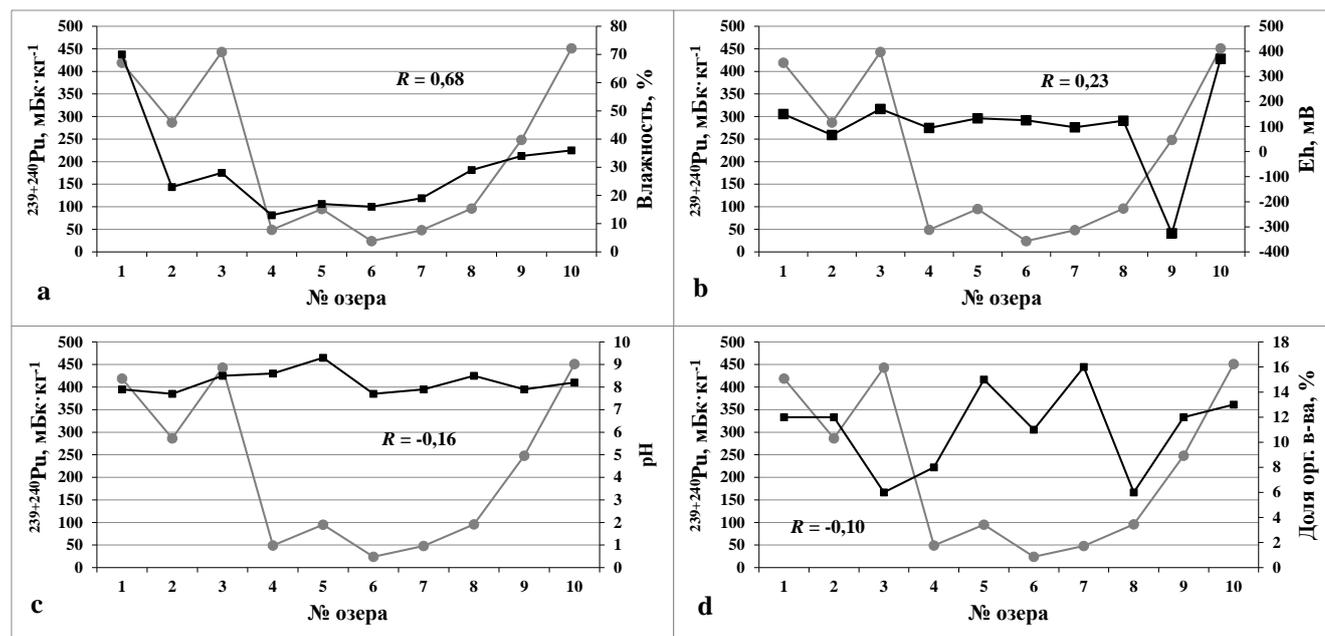


Рис. 5. Изменение концентрации активности изотопов $^{239+240}\text{Pu}$ (серая линия с круглыми маркерами) при разных значениях влажности донных осадков (а), редокс-потенциала воды E_h (б), pH воды (с) и доли органического вещества (д) в осадке (чёрная линия с квадратными маркерами) в исследуемых озёрах: 1 — Кызыл-Яр; 2 — Сасык-Сиваш; 3 — Джарылгач; 4 — Бакальское; 5 — Красное; 6 — Киятское; 7 — Кирлеутское; 8 — Акташское; 9 — Чокракское; 10 — Тобечикское. R — коэффициент корреляции

Fig. 5. Change in the $^{239+240}\text{Pu}$ activity concentration (gray line with round markers) against different humidity of bottom sediment (a), redox potential of water E_h (b), pH of water (c), and percentage of organic matter (d) in the sediment (black line with square markers) in the salt lakes: 1 – Kyzyl-Yar; 2 – Sasyk-Sivash; 3 – Dzharylhach; 4 – Bakal; 5 – Krasnoye; 6 – Kiyat; 7 – Kirleut; 8 – Aktash; 9 – Chokrak; 10 – Tobechnik. R – correlation coefficient

Положительная корреляция отмечена между уровнем $^{239+240}\text{Pu}$ в донных отложениях и влажностью осадка ($R = 0,68$) (рис. 5). Она подтверждает, что мелкодисперсные поверхностные осадки, имея более высокую влажность, в большей степени накапливают плутоний, чем крупнодисперсные. Как уже отмечалось, в Чёрном море аккумуляционная способность иловых донных отложений на порядок выше, чем таковая песчаных осадков [12]. Различия значений концентрации активности изотопов плутония в донных отложениях разных солёных озёр Крыма и в осадках прибрежных черноморских акваторий могут быть связаны не только с физико-химическими характеристиками воды и донных отложений, но и с историей поступления $^{239+240}\text{Pu}$ в изучаемые водные экосистемы, а также с пятнистостью радиоактивных выпадений на территории Крымского полуострова [10].

На уровнях концентрации активности $^{239+240}\text{Pu}$ в озёрах морского происхождения могло сказываться и дополнительное поступление радионуклидов плутония в Чёрное море с загрязнённых территорий водосборного бассейна моря в разные годы после аварии на ЧАЭС со стоком крупных рек (Днепр, Дунай, Днестр, Южный Буг) [5, 11]. Вариабельность концентрации активности $^{239+240}\text{Pu}$ в осадках озёр также может быть обусловлена различиями в их связях с другими водосборными системами как природного, так и искусственного происхождения (воды Северо-Крымского канала, поверхностный сток, речной сток и др.).

Оценка дозовых нагрузок от ионизирующего излучения $^{239+240}\text{Pu}$ показала, что максимальные мощности эквивалентных доз характерны для донных отложений озёр Сасык-Сиваш, Джарылгач и Тобечикское: $1,37 \cdot 10^{-4}$; $1,67 \cdot 10^{-4}$; $1,50 \cdot 10^{-4}$ Зв·год $^{-1}$ соответственно (табл. 2).

В остальных озёрах уровни дозовых нагрузок были ниже. Согласно концептуальной модели зональности хронического действия мощностей доз ионизирующих излучений в природе Г. Г. Поликарпова [5], полученные максимальные значения соответствуют таковым зоны радиационного

Таблица 2. Значения мощности поглощённой дозы ($M_{Дп}$) и мощности эквивалентной дозы ($M_{Дэв}$) от ионизирующего излучения $^{239+240}\text{Pu}$ в 0–5 см слое донных отложений солёных озёр Крыма**Table 2.** Commitment dose rates and equivalent dose rates from ionizing radiation of $^{239+240}\text{Pu}$ in bottom sediments (0–5 cm) of Crimean salt lakes

№	Название озера	$M_{Дп}$, Гр·год ⁻¹	$M_{Дэв}$, Зв·год ⁻¹
1	Кызыл-Яр	$(3, 27 \pm 0, 21) \cdot 10^{-6}$	$(6, 54 \pm 0, 42) \cdot 10^{-5}$
2	Сасык-Сиваш	$(6, 86 \pm 0, 14) \cdot 10^{-6}$	$(1, 37 \pm 0, 03) \cdot 10^{-4}$
3	Джарылгач	$(8, 34 \pm 0, 45) \cdot 10^{-6}$	$(1, 67 \pm 0, 09) \cdot 10^{-4}$
4	Бакальское	$(1, 17 \pm 0, 14) \cdot 10^{-6}$	$(2, 35 \pm 0, 29) \cdot 10^{-5}$
5	Красное	$(2, 05 \pm 0, 26) \cdot 10^{-6}$	$(4, 11 \pm 0, 52) \cdot 10^{-5}$
6	Киятское	$(3, 70 \pm 0, 62) \cdot 10^{-7}$	$(7, 41 \pm 1, 23) \cdot 10^{-6}$
7	Кирлеутское	$(1, 02 \pm 0, 06) \cdot 10^{-6}$	$(2, 03 \pm 0, 13) \cdot 10^{-5}$
8	Акташское	$(1, 78 \pm 0, 18) \cdot 10^{-6}$	$(3, 57 \pm 0, 37) \cdot 10^{-5}$
9	Чокракское	$(4, 26 \pm 0, 29) \cdot 10^{-6}$	$(8, 52 \pm 0, 58) \cdot 10^{-5}$
10	Тобечикское	$(7, 49 \pm 0, 24) \cdot 10^{-6}$	$(1, 50 \pm 0, 47) \cdot 10^{-4}$

благополучия, то есть зоны природного радиационного фона, для которого характерен диапазон мощностей доз хронического облучения от $4 \cdot 10^{-5}$ до $5 \cdot 10^{-3}$ Зв·год⁻¹. Таким образом, вклад дозовых нагрузок от радионуклидов плутония $^{239+240}\text{Pu}$ не приводит к их увеличению до значений выше природного фона. Современные уровни радионуклидов плутония в поверхностных (0–5 см) донных отложениях не ухудшают ни качество лечебных грязей крымских солёных озёр, ни экологическую ситуацию в них для гидробионтов. Для полной оценки величин дозовых нагрузок необходимо исследование содержания радионуклидов в более глубоких слоях донных отложений, в том числе в тех, которые формировались в периоды максимальных радиоактивных выпадений.

Выводы:

1. Впервые определены уровни концентрации активности $^{239+240}\text{Pu}$ в поверхностном слое донных отложений десяти солёных озёр Крыма морского и континентального происхождения из четырёх географических групп, а также проведена сравнительная оценка с уровнями концентрации в донных осадках прибрежных акваторий Чёрного моря и Керченского пролива.
2. Полученные уровни $^{239+240}\text{Pu}$ варьировали в широком диапазоне значений — от 24 до 451 мБк·кг⁻¹. Максимальные средние уровни плутония в поверхностном слое (0–5 см) илистых донных отложений обнаружены в Евпаторийской группе озёр — 353 мБк·кг⁻¹. Средние уровни $^{239+240}\text{Pu}$ в осадках озёр Тарханкутской и Керченской групп были ниже на 25–30 % (246 и 265 мБк·кг⁻¹ соответственно), в осадках Перекопской группы — на 84 % (56 мБк·кг⁻¹).
3. Уровни $^{239+240}\text{Pu}$ в осадках озёр морского происхождения (озёра Евпаторийской, Тарханкутской и Керченской групп) были в среднем в 5 раз выше таковых в озёрах континентального происхождения (Перекопская группа).
4. Установлено, что в осадках прибрежных черноморских экосистем уровни $^{239+240}\text{Pu}$ в среднем в 2 раза выше таковых в исследованных солёных озёрах в западной части Крыма.
5. Измерение физико-химических параметров вод в исследуемых озёрах показало их широкую изменчивость, а также наличие положительной корреляционной связи между концентрацией активности $^{239+240}\text{Pu}$ в осадках и их влажностью ($R = 0,68$).
6. Оценка мощностей доз от ионизирующего излучения $^{239+240}\text{Pu}$ в донных отложениях озёр показала, что максимальные значения мощности эквивалентной дозы характерны для осадков озёр Сасык-Сиваш, Тобечикское и Джарылгач. Вклад этих дозовых нагрузок от радионуклидов плутония не приводит к росту дозовых нагрузок до значений выше диапазона естественного радиационного фона. Современные уровни радионуклидов плутония в поверхностных (0–5 см) донных отложениях озёр не ухудшают ни качество лечебных грязей, ни экологическую ситуацию в крымских солёных озёрах для гидробионтов.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ИМБИ по теме «Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем» (№ гос. регистрации АААА-А18-118020890090-2), а также при поддержке гранта РФФИ «Биогеохимические процессы, определяющие радиохемозкологическое и экотоксикологическое состояние солёных озёр Крыма и возможности использования их биоресурсов» (проект № 16-05-00134).

Благодарности. Авторы выражают благодарность Короткову А. А., Мосейченко И. Н. и Евтушенко Д. Б. за помощь в отборе проб.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Дзенс-Литовский А. И., Морачевская О. Г. Соляные водоемы Азово-Черноморского побережья и степного Крыма // *Труды Украинского научно-исследовательского института соляной промышленности*. 1962. Вып. 4, № 12. С. 21–44. [Dzens-Litovskiy A. I., Morachevskaya O. G. Solyanye vodoemy Azovo-Chernomorskogo poberezh'ya i stepnogo Kryma. *Trudy Ukrain'skogo nauchno-issledovatel'skogo instituta solyanoi promyshlennosti*, 1962, iss. 4, no. 12, pp. 21–44. (in Russ.)]
2. Матишов Г. Г., Буфетова М. В., Егоров В. Н. Нормирование потоков поступления тяжелых металлов в Азовское море по оценкам интенсивности седиментационного самоочищения вод // *Наука Юга России*. 2017. Т. 13, № 1. С. 44–58. [Matishov G. G., Bufetova M. V., Egorov V. N. The regulation of flows of heavy metals into the Sea of Azov according to the intensity of sedimentation of water self-purification. *Nauka Yuga Rossii*, 2017, vol. 13, no. 1, pp. 44–58. (in Russ.)]. <https://doi.org/10.23885/2500-0640-2017-13-1-44-58>
3. Олиферов А. Н., Тимченко З. В. *Реки и озера Крыма*. Симферополь : Доля, 2005. 216 с. [Oliferov A. N., Timchenko Z. V. *Reki i ozera Kryma*. Simferopol: Dolya, 2005, 216 p. (in Russ.)]
4. *Плутоний. Фундаментальные проблемы* : в 2 т. / под ред. Б. А. Надытко, Л. Ф. Тимофеевой ; пер. с англ. Саров : «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2003. Т. 1 – 498 с. ; Т. 2 – 495 с. [Plutonium. *Fundamental'nye problemy* : in 2 vol. / B. A. Nadytko, L. F. Timofeeva (Eds). Sarov: "RFYATs-VNIIЭФ", 2003, vol. 1 – 498 p. ; vol. 2 – 495 p. (in Russ.)]
5. Поликарпов Г. Г., Егоров В. Н., Гулин С. Б., Стокозов Н. А., Лазоренко Г. Е., Мирзоева Н. Ю., Терещенко Н. Н., Цыцугина В. Г., Кулебакина Л. Г., Поповичев В. Н., Коротков А. А., Евтушенко Д. Б., Жерко Н. В., Малахова Л. В. *Радиоэкологический отклик Черного моря на чернобыльскую аварию* / под ред. Г. Г. Поликарпова, В. Н. Егорова. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2008. 667 с. [Polikarpov G. G., Egorov V. N., Gulyn S. B., Stokozov N. A., Lazorenko G. E., Mirzoyeva N. Yu., Tereshchenko N. N., Tsytugina V. G., Kulebakina L. G., Popovichev V. N., Korotkov A. A., Yevtushenko D. B., Zherko N. V., Malakhova L. V. *Radioekologicheskii otklik Chernogo morya na chernobyl'skuyu avariyu* / G. G. Polikarpov, V. N. Egorov (Eds). Sevastopol: EKOSI-Gidrofizika, 2008, 667 p. (in Russ.)]
6. Понизовский А. М. *Соляные ресурсы Крыма*. Киев : Изд-во Крым. 1965. 164 с. [Ponizovskii A. M. *Solyanye resursy Kryma*. Kiev: Izd-vo Krym, 1965, 164 p. (in Russ.)]
7. Соцкова Л. М., Смирнов В. О., Окара И. В., Малищук И. О. Сохранение бальнеологических ресурсов грязевых соленых озер западного Крыма // *Современные научные исследования и инновации*. 2015. № 7. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2015/07/56691> [дата обращения: 29.07.2018]. [Sotskova L. M., Smirnov V. O., Okara I. V., Malishchuk I. O. Saving balneological resources mud of salt lakes of Western Crimea. *Modern scientific researches and innovations*, 2015, no. 7. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2015/07/56691> [accessed 2018.07.29]. (in Russ.)]
8. Терещенко Н. Н., Поликарпов Г. Г. Радиоэкологическая ситуация в Черном море в отношении радиоизотопов ^{238,239,240}Pu после Чернобыльской аварии по сравнению с некоторыми другими водоемами вне и в пределах 30-км зоны // *Проблемы радиозкологии и пограничных дисциплин* / под ред. В. И. Мигунова, А. В. Трапезникова. Нижневартовск, 2007. Вып. 10. С. 12–29. [Tereshchenko N. N., Polikarpov G. G. Radioekologicheskaya situatsiya v Chernom more v otноshenii radioizotopov ^{238,239,240}Pu posle Chernobyl'skoi avarii po sravneniyu s nekotorymi drugimi vodoemami vne i v predelakh 30-km zony. In:

- Problemy radioekologii i pogranichnykh distsiplin* / V.I. Migunov, A.V. Trapeznikov (Eds). Nizhnevartovsk, 2007, vol. 10, pp. 12–29. (in Russ.)]
9. Трапезников А.В., Молчанова И.В., Каравая Е.Н., Трапезникова В.Н. *Миграция радионуклидов в пресноводных и наземных экосистемах*. Екатеринбург : Изд-во Урал. ин-та, 2007. Т. 1. 400 с. [Trapeznikov A. V., Molchanova I. V., Karavaeva E. N., Trapeznikova V. N. *Migratsiya radionuklidov v presnovodnykh i nazemnykh ekosistemakh*. Ekaterinburg: Izd-vo Ural. in-ta, 2007, vol. 1, 400 p. (in Russ.)]
 10. *Чернобыльская катастрофа* / под ред. В.Г. Барьяхтара. Киев : Наукова думка, 1995. 473 с. [*Chernobyl'skaya katastrofa* / V.G. Bar'yakhtar (Ed.). Kiev: Naukova dumka, 1995, 473 p. (in Russ.)]
 11. Gulin S. B., Mirzoyeva N. Yu., Egorov V. N., Polikarpov G. G., Sidorov I. G., Proskurnin V. Yu. Secondary radioactive contamination of the Black Sea after Chernobyl accident: Recent levels, pathways and trends. *Journal of Environmental Radioactivity*, 2013, no. 124, pp. 50–56. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2013.04.001>
 12. *Measurement of Radionuclides in Food and the Environment*. Vienna: IAEA, 1989, 182 p. (Technical Report Series ; no. 295).
 13. Tereshchenko N. N., Proskurnin V. Yu., Paraskiv A. A., Chuzhikova-Proskurnina O. D. Man-made plutonium radioisotopes in the salt lakes of the Crimean peninsula. *Journal of Oceanology and Limnology*, 2018, vol. 36, iss. 6, pp. 1917–1929. <https://doi.org/10.1007/s00343-018-7312-5>
 14. Tereshchenko N. N., Mirzoyeva N. Yu., Gulin S. B., Milchakova N. A. Contemporary radioecological state of the North-western Black Sea and the problems of environment conservation. *Marine Pollution Bulletin*, 2014, vol. 81, iss. 1, pp. 7–23. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.01.003>
 15. Wong K. M., Jokela T. A., Noshkin V. E. *Radiochemical procedures for analysis of Pu, Am, Cs and Sr in water, soil, sediments and biota samples*. Lawrence Livermore National Lab., CA (United States), 1994, 19 p.

CONTENT OF PLUTONIUM RADIONUCLIDES IN THE BOTTOM SEDIMENTS OF THE SALT LAKES OF THE CRIMEAN PENINSULA IN COMPARISON WITH COASTAL AREAS OF THE BLACK SEA

A. A. Paraskiv, N. N. Tereshchenko, and V. Yu. Proskurnin

Kovalevsky Institute of Marine Biological Research RAS, Sevastopol, Russian Federation

E-mail: artem.paraskiv@mail.ru

The level of radioactive alpha-emitting radionuclides $^{239+240}\text{Pu}$ activity concentration assessment in the surface (0–5 cm) bottom sediments from 10 Crimean salt lakes from 4 geographical groups was carried out. The highest values were observed in the lakes from different geographical groups: Kyzyl-Yar – (419 ± 27) , Dzharylhach – (443 ± 24) , Tobechnik – (451 ± 43) mBq·kg $^{-1}$ of $^{239+240}\text{Pu}$. The lowest values were observed in 3 studied lakes of Perekop group: Kiyat – (24 ± 6) , Kirlcut – (48 ± 4) , Krasnoye – (95 ± 9) mBq·kg $^{-1}$ of $^{239+240}\text{Pu}$. The comparative analysis showed that in the bottom sediment surface layer of the coastal Black Sea areas the $^{239+240}\text{Pu}$ levels were on average twice as high as those in the surface bottom sediment of the salt lakes of the Crimean peninsula. The dose rates in the surface layer mud from the salt lakes were estimated to be within the natural radioactive background.

Keywords: Crimean salt lakes, bottom sediments, plutonium radionuclides $^{239+240}\text{Pu}$, Black Sea



UDC 582.261.1

**DIFFERENT ASPECTS OF STUDYING A DIATOM
CYLINDROTHECA CLOSTERIUM (EHRENBERG) REIMANN ET LEWIN 1964
IN NATURAL AND LABORATORY CONDITIONS**

© 2019 **L. I. Ryabushko¹, D. S. Balycheva¹, A. V. Bondarenko¹, S. N. Zheleznova¹,
A. A. Begun², and I. V. Stonik²**

¹Kovalevsky Institute of Marine Biological Research RAS, Sevastopol, Russian Federation

²Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology, FEB RAS, Vladivostok, Russian Federation

E-mail: larisa.ryabushko@yandex.ru

Received by the Editor 13.03.2019; after revision 16.04.2019;
accepted for publication 22.05.2019; published online 24.06.2019.

The article summarizes original and literary data on different aspects of studying *Cylindrotheca closterium* (Ehrenberg) Reimann et Lewin 1964 in two biotopes – phytoplankton and microphytobenthos – of the Black Sea, the Sea of Azov, and the Sea of Japan for the period from 1976 to 2016. The aim of the work is to present the results of the study mainly of own data on the morphology, systematics and ecology of *C. closterium* in different seas and under cultivation in the laboratory. Information on the history of the species origin and its nomenclature changes is given. *C. closterium* belongs to the phylum Bacillariophyta, class Bacillariophyceae, order Bacillariales Hendey 1937, family Bacillariaceae Ehrenb. 1831, genus *Cylindrotheca* Rabenhorst 1859 emend. Reim. et Lewin 1964. This benthoplanktonic species occurs in the plankton, in littoral and sublittoral zones of the seas. The species is marine and brackish-water; it is a cosmopolite common in different geographical zones of the World Ocean. The results of studying alga by various methods under natural and experimental conditions in light and transmission electron microscopes of C. Zeiss LIBRA-120 are presented. The quantitative data of *C. closterium* were determined by direct counting of the cells in the Goryaev' camera ($V = 0.9 \text{ mm}^3$) in light microscopes BIOLAM L-212, C. Zeiss Axioskop 40 with the program AxioVision Rel. 4.6 at 10×40, 10×100, and Olympus BX41 (Tokyo, Japan) with lenses UPLanF140× and 100×1/30 oil immersion. Cultivation of *C. closterium* was carried out in the cumulative mode on the nutrient medium F, volume of 1 L under light intensity of 13.7 klx and temperature of +20...+21 °C. Morphology data of this species from different seas were obtained. The average cell sizes of *C. closterium* are: 25–260 μm length, 1.5–8 μm width; 12–25 fibulae in 10 μm. The results of cultivation in the laboratory conditions showed that the average cell sizes reached 148.17 μm (length) and 8 μm (width) at the temperature of +19...+20 °C and light intensity of 13 klx; length of cells reached 162.12 μm in the exponential phase of growth and 172.07 μm – in the stationary phase. *C. closterium* has an important practical significance as a source of fucoxanthin, since this alga is intensively cultivated for production of biologically active substances. Our experimental data showed that during laboratory cultivation the fucoxanthin concentration in a diatom biomass can reach 11 mg·g⁻¹ of dry mass. The new data obtained are relevant and important; they can be used in different fields of science and medicine. The seasonal dynamics of population abundance of *C. closterium* in different ecotopes (epizoon of invertebrates and their food spectra, epiphyton of bottom vegetation, periphyton of the experimental and anthropogenic substrates of the different seas) is presented for the first time. The maximum abundance of the species population (65.6·10³ cells·cm⁻²) was registered in the epizoon of the mussel *Mytilus galloprovincialis* Lam. in March at the water temperature of +7.7 °C at a depth of 2.5 m in the Black Sea. The maximum abundance was registered in the epiphyton of green algae (896·10³ cells·cm⁻²) and in the periphyton of asbestos plates (728·10³ cells·cm⁻²) in August at the water temperature of +24.5 °C in the Sea of Japan.

The abundance dynamics of *C. closterium* natural populations in the local habitats changed depending on the season, the depth, and the type of substrate. The similarities and differences in the distribution of *C. closterium* in the sea microphytobenthos are discussed.

Keywords: diatom, *Cylindrotheca closterium*, taxonomy, morphology, phytogeography, ecology, ecotopes, abundance, laboratory cultivation, fucoxanthin

Cylindrotheca closterium is a species of great ecological and biotechnological importance. This alga is a rich source of proteins, polyunsaturated fatty acids, micro- and macroelements. It contains carotenoids, a pigment of fucoxanthin, which is found mainly in diatoms and brown algae [20]. As a part of the photosynthetic apparatus, fucoxanthin content reaches 78 % of the total content of carotenoids which makes up to 1.7 % of the dry mass. This species is also characterized by a high content of fat and ash [20]. Positive results of biomedical, pharmacological and clinical studies demonstrate the high efficiency of fucoxanthin in the treatment and prevention of obesity, diabetes, oncology, as well as diseases associated with disorders of the immune and cardiovascular system [8, 20]. It testifies the prospects of *C. closterium* study. The species is widely used in aquaculture for feeding aquatic organisms (larval shellfishes, mussels, oysters, etc.) and in medicine – as a source of fucoxanthin.

Working with the scientific papers related to different aspects of the taxa study it is important to identify them accurately, because sometimes definitions in the literary sources are incorrect. Therefore, for specialists not engaged in the taxonomy, the exact definition of the species in such papers is mandatory. Additional information for the species are ecological characteristics (relation to temperature, salinity, saprobity indicators, quantitative data on populations of the species in the different seasons of the year), as well as phytogeographic features (distribution of the species in local and main geographical areas of its habitat). Unfortunately, there are still very few papers on the synthesis of data on the study of individual species of diatoms, but they are necessary for having a complete picture. Long-term studies of *C. closterium* are of great interest not only for taxonomists and ecologists but also for those involved in laboratory cultivation. In general, the study of this species has not only theoretical but also practical significance in various fields of human activity.

The aim of this work is to generalize and analyze own and literary data on different aspects of *C. closterium* study in natural and laboratory conditions.

MATERIAL AND METHODS

The material for the analysis and generalization of the results of the study of *C. closterium* morphology, ecology and cultivation is used on the basis of original data from different natural geographical regions of the Black Sea, the Sea of Azov, and the Sea of Japan. Samples were collected in the microphytobenthos of the Black Sea in different years from 1987 to 2015, of the Sea of Japan – from 1976 to 2016. The quantitative data on populations of the species were determined by direct cell counting in the Goryaev's camera ($V = 0.9 \text{ mm}^3$) in light microscopes BIOLAM L-212 at $10 \times 40 \times 2.5$, $10 \times 90 \times 2.5$ magnification, and C. Zeiss Axioskop 40 with the program AxioVision Rel. 4.6 at 10×40 , 10×100 . In addition, the morphology was examined using an Olympus BX41 (Tokyo, Japan) light microscope with lenses UPLanF140 \times and $100 \times 1/30$ oil immersion, and C. Zeiss (Germany) LIBRA-120 transmission electron microscope.

Cultivation of the Black Sea clone of *C. closterium* from the collection of the Kovalevsky Institute of Marine Biological Research of RAS (Sevastopol) was carried out in the cumulative mode in the nutrient medium, the volume of one liter (hereinafter L), under light intensity of 13.7 klx and temperature of $+20 \dots +21 \text{ }^\circ\text{C}$. In the process of the clone growing, the culture medium was continuously bubbled with air through the compressor, using a sprayer to provide sufficient oxygen and carbon dioxide. The clone of *C. closterium* isolated from the Sea of Japan population is preserved in the collections of the Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology, Far Eastern Branch of RAS (Vladivostok).

RESULTS AND DISCUSSION

The history of this species. *C. closterium* has a continuous history, with many details presented by the authors who described the species [25] and with a large number of names that were included in its extensive synonyms [9, 29, 33, 34]. Originally, the species was described by H. Ehrenberg in 1839 as *Ceratoneis closterium* Ehrenb. W. Smith first recorded species in May 1851 off the coast of Britain [39] and in 1853. W. Smith transferred the species to another genus and listed it as *Nitzschia closterium* (Ehrenb.) W. Smith 1853. However, Rabenhorst (1859) described a new genus *Cylindrotheca* with a single species *C. gerstenberger* Rabenh. 1859, which was later renamed to *C. gracilis* (Brèb. ex Kütz.) Grunow in Van Heurck 1882. In 1864, Rabenhorst described the form *Nitzschiella closterium*. A century later (1964), Reimann and Lewin, examining the range of *Nitzschia* forms in the laboratory with a light microscope and then with a scanning electron microscope, came to the conclusion that *Nitzschia closterium* by its morphological features belonged to the genus *Cylindrotheca*. Thus, the authors described the following taxa: *Cylindrotheca closterium* (Ehrenb.) Reimann et Lewin, *C. closterium* var. *californica* (Mereshck.) Reimann et Lewin, *C. fusiformis* Reimann et Lewin, and *C. signata* Reimann et Lewin. However, the authors emphasized that the species *C. closterium* and *C. fusiformis* possessed only two chloroplasts. Currently, the genus is named *Cylindrotheca* Rabenhorst emend. Reimann et Lewin 1964 and includes 10 taxa [9].

The taxonomic classification of the species *C. closterium* and its synonymy is as follows: the nomenclatural type of this species belongs to the phylum Bacillariophyta, class Bacillariophyceae, order Bacillariales Hende 1937, family Bacillariaceae Ehrenb. 1831, genus *Cylindrotheca* Rabenhorst 1859 emend. Reimann et Lewin 1964 [9, 26].

Cylindrotheca closterium (Ehrenberg) Reimann et Lewin 1964 has many synonyms. Basionym: *Ceratoneis closterium* Ehrenb. 1839. Synonyms: *Nitzschia closterium* (Ehrenb.) W. Smith 1853; *N. reversa* W. Smith 1853; *N. closterium* var. *reversa* (W. Smith) Hauck; *Nitzschiella closterium* Rabenhorst 1864; *Nitzschia rostratum* Grunow 1880; *N. longissima* var. *closterium* (Ehrenb.) Van Heurck 1885; *N. curvirostris* var. *closterium* (Ehrenb.) De Toni 1892; *Nitzschiella longissima* var. *closterium* (Ehrenb.) Peragallo et Peragallo 1897; *Homoeocladia closterium* (Ehrenb.) Kuntze 1898; *Nitzschiella tenuirostris* Mereschk. 1901; *Nitzschia longissima* Gran 1930; *N. closterium* var. *recta* Gran 1931.

Comment. In the work of Crosby and Wood ([6], p. 38, pl. 1, Figs no. 16 and no. 17), Figure 16 shows the species *Nitzschia longissima* larger, and Figure 17 shows the *N. closterium* smaller with two chloroplasts. It should be noted that *N. longissima* is characterized by numerous granular chloroplasts, as noted by Proshkina-Lavrenko [22]. As detected by us in live samples from the Black Sea and the Sea of Japan, it is obvious that these authors specified the same species *Nitzschia closterium* (= *Cylindrotheca closterium*), which has typically only two chloroplasts. These data are confirmed by the authors [25].

The ecology. Ecological characteristics about *C. closterium* are given for a majority of the examined water areas of the Black Sea, the Sea of Azov, and the Sea of Japan on the basis of own and literary sources. This species is eurythermic, euryhaline, lives in marine and brackish waters. It is neritic, benthoplanktonic species that occurs in the plankton and in littoral and sublittoral zones of the seas. There are some limited data available on the phytoplankton of the Sea of Azov and estuaries, as well as on microphytobenthos [15, 21, 23, 34]. Thus, in the phytoplankton of summer of 1999 and 2003, *C. closterium* was observed at the temperature of +24...+25 °C with $59 \cdot 10^6$ cells·m⁻³ and the wet biomass of 41 mg·m⁻³ [14]. This species was identified in single individual cases in the microphytobenthos of the Crimean coastal waters of the Sea of Azov [2].

The study in natural conditions. Long-term observations and study of diatom from natural populations of microphytobenthos and phytoplankton from different regions and biotopes of the Black Sea and the Sea of Japan were carried out in different seasons and at different depths. *In vivo* cells of *C. closterium* from the Sea of Japan are shown on the Fig. 1.

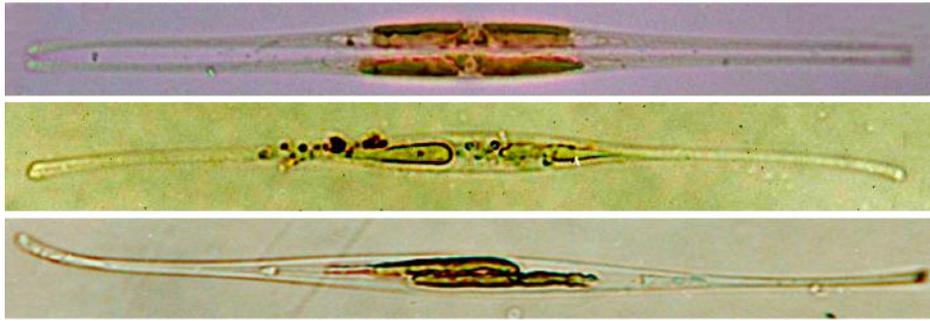


Fig. 1. Light microscopy. *In vivo* cells of *Cylindrotheca closterium* from the Sea of Japan with two chloroplasts (photo by A. Begun)

Рис. 1. Световая микроскопия. Прижизненные клетки *Cylindrotheca closterium* из Японского моря с двумя хлоропластами (фото А. Бегуна)

To study the morphology of *C. closterium* we conducted analyses of samples from the Black Sea and the Sea of Japan (Fig. 2) clones made with the transmission electron microscope. The analysis of original and literary data on the morphological parameters of the valves of *C. closterium* from different seas showed a wide size range. The valve sizes are: 25–180 μm length, 1.5–8.0 μm width, 12–25 fibulae in 10 μm [25]; 30–260 μm length, 2.0–6.0 μm width for the Black Sea population of the species; 45–65 μm length, 3–4 μm width for the Black Sea [10]; 50–160 μm length, 3–5 μm width, 14–16 fibulae in 10 μm for the Sea of Japan population [19]; 47.5–118.4 μm length, 2.9–5.0 μm width, 12–16 fibulae in 10 μm [22, 23, 24]; 12–14 fibulae in 10 μm [27, 33]. In the morphological parameters study of the valves in the Black Sea populations of *C. closterium*, the annual dynamics of development on the experimental glass-plates periphyton was characterized by a wide size range. In 2011–2012, the cells length varied from 24.9 to 97.2 μm , the width varied from 1.5 to 5.0 μm [1].

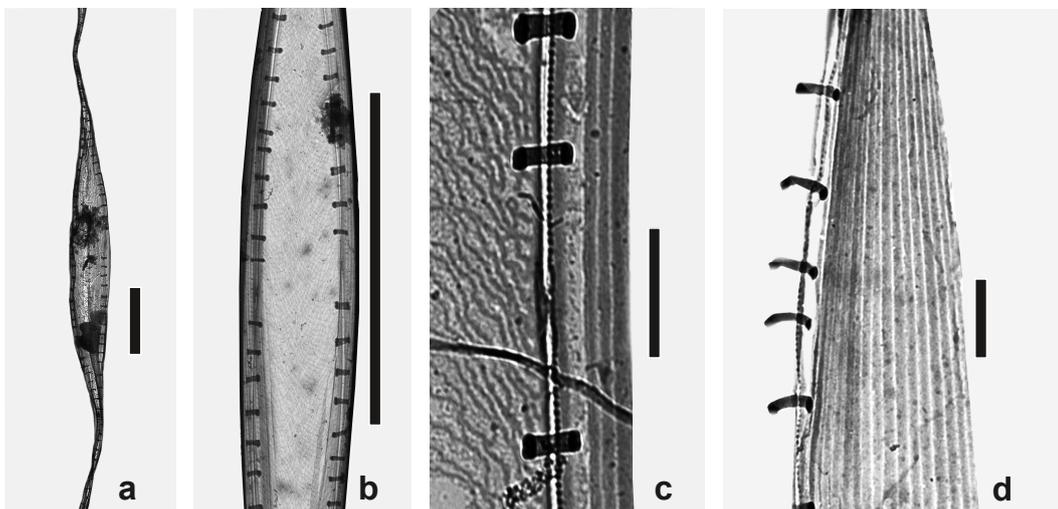


Fig. 2. Transmission electron microscopy. The structure of *Cylindrotheca closterium* valves from the Black Sea (a, b) and the Sea of Japan (c, d). Scale bar: 10 μm (a, b); 1.0 μm (c, d) (photo by I. Stonik)

Рис. 2. Трансмиссионная электронная микроскопия. Структура фрагментов створок *Cylindrotheca closterium* из Чёрного (a, b) и Японского (c, d) моря. Шкала измерения: 10 мкм (a, b); 1,0 мкм (c, d) (фото И. Стоник)

The occurrence and abundance of this species are registered in different ecotopes of the Black Sea [28, 30]. In the studies on “Ectocarpus” model substrates imitating macroalgae, the abundance of *C. closterium* ranged from $5.7 \cdot 10^3$ to $21.0 \cdot 10^3$ cells·cm⁻² during the exposure period near the Karantinnaya Bay (station of observations) from 1988.05.26 to 1988.06.07 [35]. The abundant growth of *C. closterium* was recorded in different seasons, on substrates and at depths in the water area at Sevastopol (Table 1).

Table 1. The occurrence of the diatom *Cylindrotheca closterium* on different substrates of the Black Sea (near Sevastopol)

Таблица 1. Встречаемость диатомовой водоросли *Cylindrotheca closterium* на разных субстратах Чёрного моря (возле г. Севастополя)

Sampling date	Sampling area	Depth, m	Substrate	Species
1987.04.28	Karantinnaya Bay	0.1	stone with detrite	in a mucous capsule
1987.08.27	Fiolent Cape	0.5	stone	normal cells
1995.09.27	Kazach'ya Bay	0.5	<i>Mytilus galloprovincialis</i>	normal cells
1995.10.25	Kazach'ya Bay	0.5	<i>Mytilus galloprovincialis</i>	high abundance

The species abundance of the phytoplankton in different regions of the Black Sea was noted in a number of works [16, 22, 24]. The maximum abundance ($16 \cdot 10^6 \text{ cells} \cdot \text{L}^{-1}$) was observed in phytoplankton of the eutrophic north-western part of the Black Sea [18].

The seasonal dynamics of abundance of *C. closterium* populations was investigated from May 1995 to May 1996 in the Kazach'ya Bay, simultaneously in phytoplankton and in microphytobenthos, at the depth of 0.5–4.5 m [30]. The phytoplankton maximum abundance $38 \cdot 10^3 \text{ cells} \cdot \text{L}^{-1}$ was recorded in March; it decreased to the minimum of $5.3 \cdot 10^3 \text{ cells} \cdot \text{L}^{-1}$ in summer. In the microphytobenthos of this bay the species occurred year-round, but the greatest abundance was recorded in spring in the range of water temperature of $+6.8 \dots +7.7 \text{ }^\circ\text{C}$ (Fig. 3).

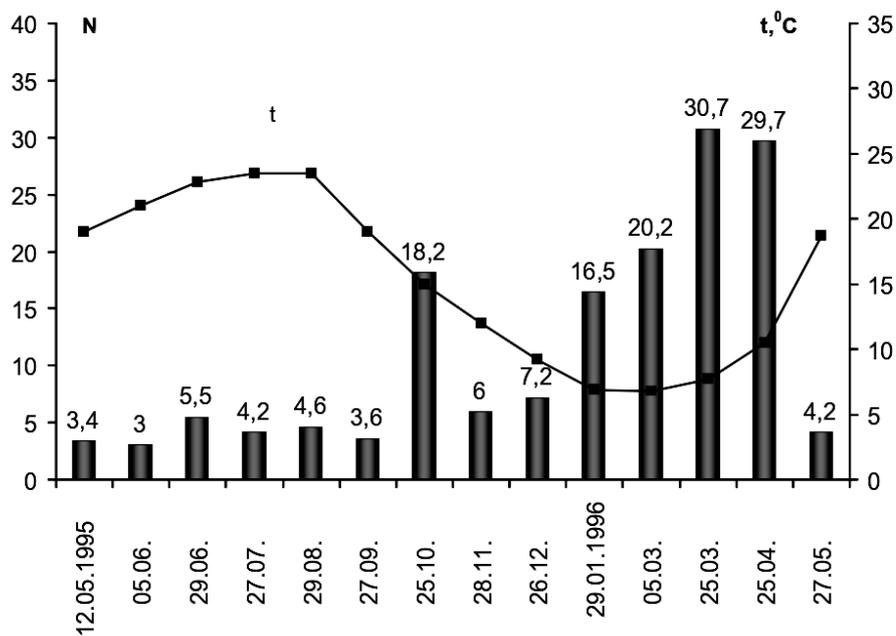


Fig. 3. The seasonal dynamics of abundance (N, $10^3 \text{ cells} \cdot \text{cm}^{-2}$) of *Cylindrotheca closterium* in the epizoon of mussel *Mytilus galloprovincialis* Lam. and water temperature (t) in the Kazach'ya Bay of the Black Sea (1995–1996) [28]

Рис. 3. Сезонная динамика численности (N, $10^3 \text{ кл} \cdot \text{см}^{-2}$) *Cylindrotheca closterium* в эпизооне мидии *Mytilus galloprovincialis* Lam. и температура воды (t) в бухте Казачья Чёрного моря (1995–1996) [28]

The abundance of *C. closterium* on the surface of shells of live mussels *Mytilus galloprovincialis* Lam. was investigated for the first time depending on the age in the range from 0.5 to 10 years. The abundance of species ranged from $3.0 \cdot 10^3$ to $65.6 \cdot 10^3 \text{ cells} \cdot \text{cm}^{-2}$ (June and March, respectively).

In October 1995 in the same bay the average abundance of *C. closterium* population was from $20 \cdot 10^3$ to $28 \cdot 10^3 \text{ cells} \cdot \text{cm}^{-2}$ at a depth of 0.5 m at the water temperature of $+15 \text{ }^\circ\text{C}$. In July 1998 the population abundance was $70.88 \cdot 10^3 \text{ cells} \cdot \text{cm}^{-2}$, or 48 % of diatom community of periphyton polyethylene film (mesocosm) [30]. In the experiments on the exposure of the glass-plates in the sea during 2007–2008, the species

was found year-round, and the greatest abundance ($152.9 \cdot 10^3$ cells·cm⁻²) was observed at the water temperature of +10.5 °C [30] in December. During the study of experimental glass-plates in the sea at monthly exposure, maximum abundance ($868 \cdot 10^3$ cells·cm⁻², or 71 % of the diatom community of the phytoperiphyton) was registered in January at the water temperature of +8 °C (Fig. 4) [1].

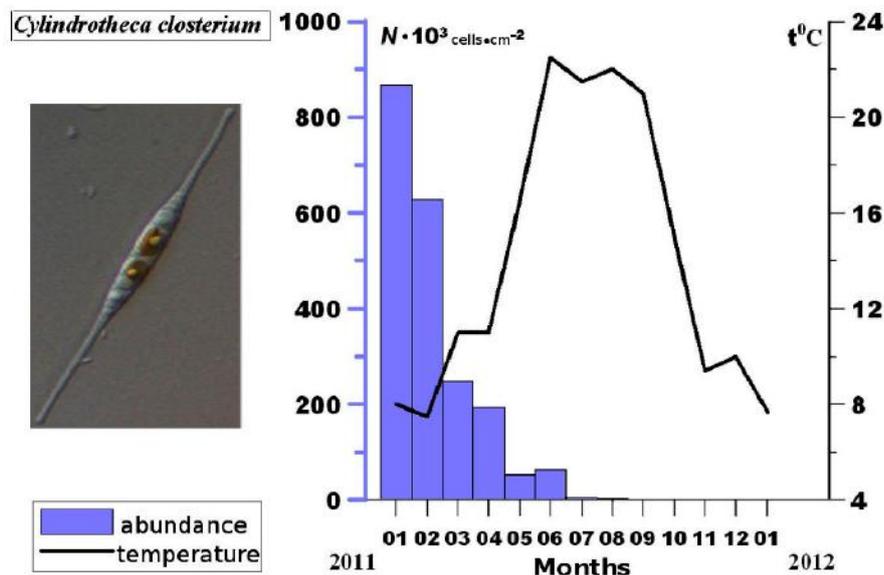


Fig. 4. The abundance of *Cylandrotheca closterium* on the glass-plates periphyton in the Karantinnaya Bay of the Black Sea (2011–2012) [1]

Рис. 4. Численность *Cylandrotheca closterium* перифитона стеклянных пластин в Карантинной бухте Чёрного моря (2011–2012) [1]

The degree of its dominance by the Berger – Parker index decreased to 57 %. After the peak of development, the abundance decreased to $0.3 \cdot 10^3$ cells·cm⁻² by June. In the following months the alga cells of the species were only sparse. The abundance values of *C. closterium* cells changed depending on the cumulative exposure on the glass-plates (Table 2). In July 2015, at the water temperature of +21.4 °C the species dominated on the shells mussel in the Karantinnaya Bay, reaching $21 \cdot 10^3$ cells·cm⁻² at depth of 6 m.

Table 2. Seasonal dynamics of the abundance (N) of *Cylandrotheca closterium* cells on the glass-plates of the periphyton of cumulative exposure in the Black Sea (2007–2008)

Таблица 2. Сезонная динамика численности (N) клеток *Cylandrotheca closterium* в перифитоне стеклянных пластин при накопительной экспозиции в Чёрном море (2007–2008)

Date of substrate exposure	Temperature, °C	N, cells·cm ⁻²
2007.01.17 – 2007.02.21	+8.5	single
2007.01.17 – 2007.03.20	+9.0	$15.7 \cdot 10^3$
2007.01.17 – 2007.04.08	+10.0	$33.3 \cdot 10^3$
2007.01.17 – 2007.05.21	+18.0	$279.1 \cdot 10^3$
2007.01.17 – 2007.06.21	+22.0	$36.1 \cdot 10^3$
2007.01.17 – 2007.07.19	+25.0	$46.9 \cdot 10^3$
2007.01.17 – 2007.08.21	+28.0	$17.5 \cdot 10^3$
2007.01.17 – 2007.09.19	+21.0	single
2007.01.17 – 2007.10.22	+18.0	single
2007.01.17 – 2007.11.20	+11.0	single
2007.01.17 – 2007.12.20	+10.5	$206.8 \cdot 10^3$
2007.01.17 – 2008.01.22	+9.0	single
2007.01.17 – 2008.02.21	+6.0	single

Laboratory cultivation. Along with the data obtained in the study of the species under natural conditions, we present some complementary results of cultivation in the laboratory. Traditionally, *C. closterium* is cultivated in the laboratory on the nutrient medium F, specially formulated for the diatoms (Fig. 5).

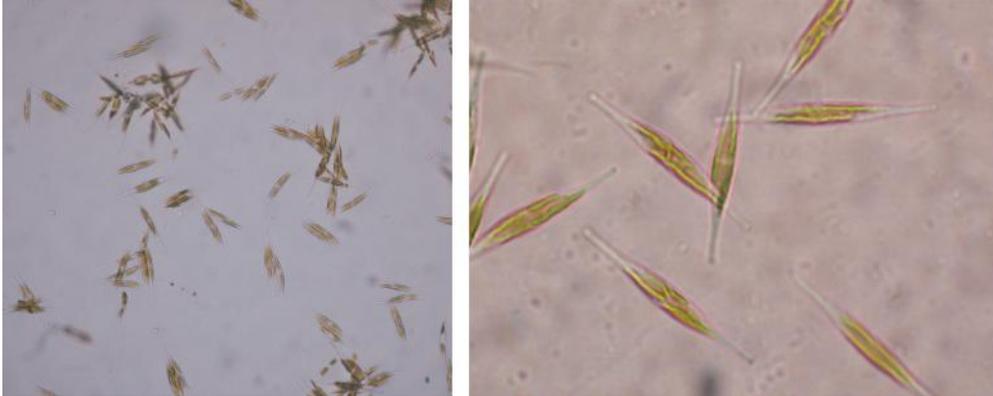


Fig. 5. Light microscopy. The cells of *Cylandrotheca closterium* (from the Black Sea) in the medium F (photo by S. Zheleznova)

Рис. 5. Световая микроскопия. Клетки *Cylandrotheca closterium* (из Чёрного моря) в среде F (фото С. Железновой)

In this medium, the ratio of nitrogen to phosphorus is close to optimal and is 12. The results of determining the cell size in the culture of *C. closterium* at various growth stages in the experimental conditions on the nutrient medium F for 24 hours with light intensity of 13.7 klx, temperature of $(19 \pm 1)^\circ\text{C}$ and pH of 8–9 are presented. The length of *C. closterium* cells varied from 120 to 220 μm , and the width of the cells – from 6 to 9 μm for 3 days. Our experimental data showed that under these conditions the concentration of fucoxanthin in the diatom biomass can reach 11 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ of dry mass. The optimum temperature for the growth of this species is $+16^\circ\text{C}$. At the temperature of $+26\dots+27^\circ\text{C}$ the culture stops growing. The growth of diatom in the culture is described by an S-shaped curve. In the stationary phase of growth, the culture reaches its maximum density of 0.1 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ of dry biomass on the 8th day. At this stage, larger cells dominate; numerous cells appear mainly due to an increase in lipid content. This shows that cells are able to accumulate valuable biologically active substances.

In the composition of the photosynthetic apparatus of *C. closterium*, the content of fucoxanthin under certain conditions of cultivation can reach 1.5–1.7 % of the dry weight of the algae [36]. An increase of the nitrogen concentration in the nutrient medium F leads to a noticeable increase in the productivity of the cells and the accumulation of fucoxanthin in the culture. At a sodium nitrate concentration of 225–300 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, the amount of fucoxanthin in the dry biomass of *C. closterium* reaches 15 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$. Despite the fact that fucoxanthin has a high antitumor activity and is able to inhibit the growth of human leukemia cells, prostate cancer and breast cancer [37], its use in the medical and food industries has not been wide enough yet.

The Sea of Japan. For comparison with the Black Sea and the Sea of Azov, we present similar data for the Sea of Japan. *C. closterium* is widely found in the phytoplankton of the Peter the Great Bight [12, 13], as well as in macrophytes epiphyton of the Amursky Gulf [37], among epilithon and epiphyton of the Posyet Bay [19]. The species is regularly observed on different substrates (sand, rock, in the stomachs of invertebrates) at depths of 0.5–10.0 m in different seasons of the year in the Vostok Bay [27, 31, 33]. In addition, *C. closterium* was found in periphyton of anthropogenic substrates of different types and in epiphyton of macrophytes, including for the first time sea flax *Phyllospadix iwatensis* Makino in the Lazurnaya Bay, as well as in the gulfs of Amursky, Uglovoy, Ussuriisky, Vostok, Nakhodka and Slavyanka, in the Tavrichansky estuary, and in the Golden Horn Bay in the artificial lagoon near Vladivostok [33]. The size of the population cells of *C. closterium* from the Sea of Japan varied: there were valves

of 50–160 μm length, 3–5 μm width, and 14–16 fibulae in 10 μm [19]; of 47.5–118.4 μm length, 2.9–5.0 μm width, and 12–14 fibulae in 10 μm [28]. Seasonal changes of *C. closterium* cell sizes on different substrates in the Sea of Japan are shown (Table 3).

Table 3. Seasonal changes of *Cylindrotheca closterium* cell sizes on different substrates of the Sea of Japan

Таблица 3. Сезонные изменения размера клеток *Cylindrotheca closterium* на разных субстратах Японского моря

Date	Sampling area	Depth, m	Substrate	Cell size
1976.06.01	Vostok Bay	0.5	stone	68–78 μm length, 3.4 μm width
1979.07.09	Vostok Bay	0.5–10.0	stone	23.8–85 μm length, 3.4 μm width
1979.07.11	Vostok Bay	5.0	sand	76 μm length, 3.5 μm width
1979.09.30	Vostok Bay	0.5	coral	110 μm length, 1.5–5 fibulae in 10 μm
1984.05.08	Vityaz Bay of the Posyet Gulf	0.5–1.0	<i>Zostera marina</i>	in a mucous capsule with <i>Parlibellus delognei</i> diatom

The abundance of *C. closterium* in phytoplankton of the Sea of Japan changed in different years from $4.87 \cdot 10^6$ cells·L⁻¹ at the temperature of +22 °C (August 1999, the Amursky Bay) to $122.5 \cdot 10^6$ cells·L⁻¹ at the temperature of +24.5 °C and salinity of 27 ‰ (August 2002, an artificial lagoon near the city of Vladivostok). The values of species abundance on different substrates of microphytobenthos and in the periphyton of experimental plates of plexiglas were $40 \cdot 10^3$ cells·cm⁻²; on wood substrate – $120 \cdot 10^3$; on high-alloy steel – $160 \cdot 10^3$; on asbestos – $728 \cdot 10^3$ cells·cm⁻²; in the epizoon of barnacles *Amphibalanus improvisus* (Darwin), on valves of the mussels *Mytilus trossulus* Gould, on the ascidians *Aplidium tenuicaudum* (Beniaminsson) and *Styela clava* (Herdman) – $100 \cdot 10^3$ cells·cm⁻²; in epiphyton of green algae – $896 \cdot 10^3$; on brown algae – $463 \cdot 10^3$; on red algae – $292 \cdot 10^3$; on sea grasses – $15 \cdot 10^3$ cells·g⁻¹ of their wet biomass [33].

Indicator role. *C. closterium* is the causative algal bloom in the sea. Sometimes it is found in the area of “red tides” [28]. Being alkaliphilic and β -mesosaprobic, the species is an organic indicator of moderately polluted waters [10].

Phylogeography. *C. closterium* is cosmopolitan, it is found in all geographical zones of the World Ocean. The species is known in the Amursky Liman [11], in the ice of the Laptev Sea, in Arctic, Barents, White, Bering, Caribbean, Mediterranean, Adriatic, Aral, Caspian, Norwegian, Kara, Chukchi, Baltic, Black seas, in the Sea of Azov. There are numerous literary data on the occurrence of this species in the East China Sea, off the coast of Greenland, Northern California, Spitsbergen, Brazil, Mexico, Finland, Sweden, Spain, Croatia, Romania, Germany, Denmark, Turkey, Kuwait, West India, Japan, Australia, New Zealand, Singapore, Sakhalin and Primorye, the Hawaiian and Canary Islands [6, 9, 12, 13, 27, 30, 31, 33, 38], as well as in the microphytobenthos of the Antarctic [32]. The abundant growth of the species in the phytoplankton of the Urias Estuary (Mexico) was recorded in the winter of 1980; it gave $0.5 \cdot 10^6$ cells·L⁻¹, decreased in January and increased again in February [5]. The species was found in the columns of sea ice and on the ice surface in the Weddell Sea of Antarctic [4], as well as in sand of the Florida Bay [7]. *C. closterium* was found in the northern Adriatic Sea in August at the water temperature of +24.0...+25.5 °C [17], as well as on the northwest coast of Brazil in the periphyton of experimental glass-plates year-round at the water temperature of +16...+26 °C [3].

Conclusion. The paper presents a retrospective analysis and synthesis of the results of original studies of *C. closterium* on the systematics, morphology, ecology and phylogeography. Comparative data on the study of morphology and ecology of *C. closterium* from different seas showed that this marine and brackish-water, cosmopolitan species occurs throughout the World Ocean, so the optimum of its development in different seas and in laboratory cultivation have a wide range of environmental factors (temperature, salinity, and illumination of water). This species is found in marine phytoplankton and microphytobenthos, including different ecotopes: epizoon of invertebrates and their food spectra, epiphyton of bottom vegetation, periphyton of the experimental and anthropogenic substrates.

The average cell sizes of *C. closterium* range for different seas: 25–260 µm length, 1.5–8 µm width, 12–25 fibulae in 10 µm; in the culture at the temperature of +19...+20 °C and light intensity of 13 klx the cell sizes reached 148.17 µm length and 8.0 µm width in the culture inoculum, 162.12 µm length – in the exponential growth phase, 172.07 µm length – in the stationary phase.

The abundance dynamics of *C. closterium* natural populations in the local habitats changed depending on the season, the depth of habitat and the type of substrate. The maximum abundance ($65.6 \cdot 10^3$ cells·cm⁻²) was registered in the epizoon of the mussel in March at the water temperature of +7.7 °C at a depth of 2.5 m in the Black Sea. The maximum abundance was in the epiphyton of green algae ($896 \cdot 10^3$ cells·cm⁻²) and in the periphyton of asbestos plates ($728 \cdot 10^3$ cells·cm⁻²) in August at the water temperature of +24.5 °C in the Sea of Japan.

C. closterium has an important practical significance, since this alga is intensively cultivated for production of biologically active substances, for example of fucoxanthin. *C. closterium* contains a unique set of components necessary for humans and is a promising fucoxanthin manufacturer and a biotechnology object. In this regard, further thorough study of this species production and of biochemical characteristics of the obtained substances is necessary for the widespread introduction of scientific developments into practice.

This work was carried out within the framework of research issue of Kovalevsky Institute of Marine Biological Research RAS no. AAAA-A18-118021350003-6.

REFERENCES / СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Balycheva D.S. *Species composition, structure and function characteristics of microalgae of antropogenic substrates periphyton in the Crimean coast of the Black Sea*. PhD thesis. Sevastopol, 2014, 24 p. (in Russ.)
2. Bondarenko A.V., Ryabushko L.I. Diatoms of the benthos of the Crimean coast of the Sea of Azov. In: *Modern Problems of Algology* : proceedings of the International Science Conference and the VII School for Marine Biology, Rostov-on-Don, 9–13 June, 2008. Rostov-on-Don: SSC RAS, 2008, pp. 61–63. (in Russ.)
3. Brandini F.P., de Silva E.T., Pellizari F.M., Fonseca A.L., Fernandes L.F. Production and biomass accumulation of periphytic diatoms growing on glass slides during a 1-year cycle in a subtropical estuarine environment (Bay of Paranagua, southern Brazil). *Marine Biology*, 2001, vol. 138, iss. 1, pp. 163–171. <https://doi.org/10.1007/s002270000427>
4. Burckle L.H. Diatom distribution in the Weddell gyre region during late winter. *Micropaleontology*, 1987, vol. 33, no. 2, pp. 177–184. <https://doi.org/10.2307/1485492>
5. Cortés A.R., Miranda N.P. Composición, abundancia y distribución del fitoplancton del Estero Urias, Sin. México. IV periodo de invierno (1980). *Revista Latinoamericana de Microbiología*, 1985, vol. 27, no. 2, pp. 123–133.
6. Crosby L.N., Wood E.J.F. Studies on Australian and New Zealand diatoms. II. *Transactions and Proceedings of the Royal Society of New Zealand*, 1959, vol. 86, no. 1–2, pp. 1–58.
7. De Felice D.R., Lynts G.W. Benthic Marine Diatom associations. Upper Florida Bay (Florida) and associated sounds. *Journal of Phycology*, 1978, vol. 14, iss. 1, pp. 21–24. <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.1978.tb00627.x>
8. Gammone M.A., D’Orazio N. Anti-Obesity Activity of the Marine Carotenoid Fucoxanthin. *Marine Drugs*, 2015, vol. 13, iss. 4, pp. 2196–2214. <https://doi.org/10.3390/md13042196>
9. Guiry M.D., Guiry G.M. *AlgaeBase*. Galway: National University of Ireland, 2018. URL: <http://www.algaebase.org> [accessed 2019.02.20].
10. Guslyakov N.E., Zakordonec O.A., Gerasimuk V.P. *Atlas diatomovykh vodoroslei bentosa severo-zapadnoi chasti Chernogo morya i prilegayushchikh vodoemov*. Kiev: Naukova dumka, 1992, 112 p. (in Russ.)
11. Kiselev I.A. Sostav i rasprostranenie fitoplanktona v ust’e reki Amur. *Issledovaniya morei SSSR*. Leningrad: Gidrologicheskii institut, 1931, vol. 14, 116 p. (in Russ.)
12. Kiselev I.A. Sostav i periodichnost’ fitoplanktona v zalive Patrokl Yaponskogo morya. *Issledovaniya*

- morei* SSSR. Leningrad: Hidrologicheskii institut, 1935, vol. 22, pp. 82–118. (in Russ.)
13. Konovalova G. V., Orlova T. Yu., Pautova L. A. *Atlas fitoplanktona Yaponskogo morya*. Vladivostok: Nauka, 1984, 160 p. (in Russ.)
 14. Maltsev V. N., Klyuchnikov A. V. O massovoi gibeli ryb u krymskogo poberezh'ya Azovskogo morya. *Veterinarnaya meditsina*, 2004, vol. 84, pp. 457–463. (in Russ.)
 15. Mereschkowsky C. S. A list of California diatoms. *Annals and Magazine of Natural History including Zoology, Botany and Geology*, 1901, vol. 7, no. 39–42, pp. 292–300; 474–480; 505–520.
 16. Morozova-Vodyanitskaya N. V. Fitoplankton Chernogo morya. Ch. 1. Fitoplankton v raione Sevastopolya i obshchii obzor fitoplanktona Chernogo morya. *Trudy Sevastopol'skoi biologicheskoi stantsii AN SSSR*, 1948, vol. 6, pp. 39–172. (in Russ.)
 17. Munda I. M. Seasonal fouling by diatoms on artificial substrata at different depths near Piran (Gulf of Trieste, Northern Adriatic). *Acta Adriatica*, 2005, vol. 46, no. 2, pp. 137–157.
 18. Nesterova D. A. Water bloom in the north-western part of the Black Sea (Review). *Al'gologiya*, 2001, vol. 11, no. 4, pp. 502–513. (in Russ.)
 19. Nikolaev V. A. *Diatomovye vodorosli bentosa zaliva Pos'et Yaponskogo morya*. [dissertation]. Leningrad, 1970, 227 p. (in Russ.)
 20. Peng J., Yuan J.-P., Wu C., Wan G. J. Fucoxanthin, a Marine Carotenoid Present in Brown Seaweeds and Diatoms: Metabolism and Bioactivities Relevant to Human Health. *Marine Drugs*, 2011, vol. 9, no. 10, pp. 1806–1828. <https://doi.org/10.3390/md9101806>
 21. Pitsyk G. K. O kachestvennom sostave fitoplanktona Azovskogo morya. *Trudy Sevastopol'skoi biologicheskoi stantsii SSSR*, 1963, vol. 14, pp. 71–89. (in Russ.)
 22. Proshkina-Lavrenko A. I. *Diatomovye vodorosli planktona Chernogo morya*. Moscow ; Leningrad: Akademiya nauk SSSR, 1955, 222 p. (in Russ.)
 23. Proshkina-Lavrenko A. I. *Diatomovye vodorosli planktona Azovskogo morya*. Moscow ; Leningrad: Akademiya nauk SSSR, 1963, 190 p. (in Russ.)
 24. Proshkina-Lavrenko A. I. *Diatomovye vodorosli bentosa Chernogo morya*. Moscow ; Leningrad: Nauka, 1963, 244 p. (in Russ.)
 25. Reimann B. E. F., Lewin J. C. The diatom genus *Cylindrotheca* Rabenhorst (with a reconsideration of *Nitzschia closterium*). *Journal of the Royal Microscopical Society*, 1964, vol. 83, iss. 3, pp. 283–296. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2818.1964.tb00542.x>
 26. Round F. E., Crawford R. M., Mann D. G. *The diatoms. Biology and morphology of the genera*. Cambridge: Cambridge University, 1990, 747 p.
 27. Ryabushko L. I. *Diatoms of the upper sublittoral North-Western part of the Japan Sea*. [dissertation]. Sevastopol, 1986, 244 p. (in Russ.)
 28. Ryabushko L. I. *Potentially harmful microalgae of the Azov and Black sea basin* / V. I. Ryabushko (Ed.). Sevastopol: EKOSI-Gidrofizika, 2003, 288 p. (in Russ.)
 29. Ryabushko L. I. *Microalgae of the Black Sea benthos (check-list, synonyms, comment)* / A. V. Gaevskaya (Ed.). Sevastopol: EKOSI-Gidrofizika, 2006, 143 p. (in Russ.)
 30. Ryabushko L. I. *Microphytobenthos of the Black Sea* / A. V. Gaevskaya (Ed.). Sevastopol: EKOSI-Gidrofizika, 2013, 416 p. (in Russ.)
 31. Ryabushko L. I. Diatoms (Bacillariophyta) of Vostok Bay, the Sea of Japan. *Biota and environment of nature reserves in the Far East*, 2014, vol. 2, pp. 4–17. (in Russ.)
 32. Ryabushko L. I. The state of knowledge microphytobenthos Argentine islands of Antarctica. *Proceedings of the Belarusian State University*, 2016, vol. 11 (1), pp. 337–350. (in Russ.)
 33. Ryabushko L. I., Begun A. A. *Diatoms of the microphytobenthos of the Sea of Japan*. In 2 vols. Sevastopol: PK "KIA", 2016, vol. 2, 324 p. (in Russ.)
 34. Ryabushko L. I., Bondarenko A. V. *Microalgae of the plankton and benthos of the Sea of Azov (check-list, synonyms, comment)* / A. V. Gaevskaya (Ed.). Sevastopol: EKOSI-Gidrofizika, 2011, 211 p. (in Russ.)
 35. Ryabushko L. I., Zavalko S. E. Microphytocolonizing of artificial and natural substrates in the Black Sea. *Botanicheskii zhurnal*, 1992, vol. 77, no. 5, pp. 33–39. (in Russ.)
 36. Ryabushko V. I., Zheleznova S. N., Nekhoroshev M. V. Effect of nitrogen on the accumulation of fucoxanthin by diatom *Cylindrotheca closterium* (Ehrenb.) Reimann et Lewin. *International Journal on Algae*, 2017, vol. 19, no. 1, pp. 79–84. <https://doi.org/10.1615/InterJAlgae.v19.i1.70>
 37. Satomi Y. Antitumor and Cancer-preventative Function of Fucoxanthin: A Marine Carotenoid. *Anticancer Research*, 2017, vol. 37, no. 4, pp. 1557–1562.
 38. Skvortzow B. W. Marine diatoms from the Kanazawa oyster experimental station of Japan.

Philippine Journal of Science, 1932, vol. 47, no. 1, pp. 119–126.

39. Smith W. F. *A synopsis of the British Diatomaceae*: with remarks on their structure, functions and distri-

bution; and instructions for collecting and preserving specimens. In 2 vols. Vol. 1. London: Printed for Smith and Beck, Pub. by J. Van Voorst, 1853, 89 p. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.10706>

РАЗЛИЧНЫЕ АСПЕКТЫ ИЗУЧЕНИЯ ДИАТОМОВОЙ ВОДОРΟΣЛИ *CYLINDROTHECA CLOSTERIUM* (EHRENBURG) REIMANN ET LEWIN 1964 В ПРИРОДНЫХ И ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

Л. И. Рябушко¹, Д. С. Балычева¹, А. В. Бондаренко¹, С. Н. Железнова¹,
А. А. Бегун², И. В. Стоник²

¹Институт морских биологических исследований имени А. О. Ковалевского РАН, Севастополь, Россия

²Национальный научный центр морской биологии имени А. В. Жирмунского ДВО РАН,
Владивосток, Россия

E-mail: larisa.ryabushko@yandex.ru

Обобщены собственные и литературные данные по разным аспектам изучения диатомовой водоросли *Cylindrotheca closterium* (Ehrenberg) Reimann et Lewin 1964 в двух биотопах — фитопланктоне и микрофитобентосе — Чёрного, Азовского и Японского морей за период с 1976 по 2016 г. Цель работы — представление результатов изучения в основном собственных данных по морфологии, систематике и экологии *C. closterium* в разных морях и при культивировании в лабораторных условиях. Приведена информация об истории происхождения вида и о номенклатурных изменениях. *C. closterium* принадлежит к отряду Bacillariophyta, классу Bacillariophyceae, порядку Bacillariales Hendey 1937, семейству Bacillariaceae Ehrenb. 1831, роду *Cylindrotheca* Rabenhorst 1859 emend. Reim. et Lewin 1964. Этот бентопланктонный вид встречается в планктоне, в литоральной и сублиторальной зонах морей. Вид является морским и солоноватоводным. Это космополит, распространённый в различных географических зонах Мирового океана. Приведены результаты изучения водоросли разными методами в естественных и экспериментальных условиях в световых и трансмиссионном электронном микроскопах С. Zeiss LIBRA-120. Численность *C. closterium* определяли путём прямого подсчёта клеток в камере Горяева (объём — 0,9 мм³) в световых микроскопах BIOLAM L-212, С. Zeiss Axioskop 40 с программой AxioVision Rel. 4.6 при 10×40, 10×100, Olympus BX41 (Токио, Япония) с иммерсионными объективами UPLanF140× и 100×1/30. Культивирование *C. closterium* осуществляли в кумулятивном режиме в питательной среде F объёмом 1 л при освещённости среды 13,7 клк и температуре +20...+21 °С. Получены данные по морфологии этого вида из разных морей. Средние размеры клеток *C. closterium* составляли: 25–260 мкм длина, 1,5–8 мкм ширина; количество фибул в 10 мкм — 12–25. По результатам культивирования в лабораторных условиях, средние размеры клеток — 148,17 мкм (длина) и 8 мкм (ширина) при температуре +19...+20 °С и освещённости 13 клк; длина клеток в экспоненциальной фазе роста достигала 162,12 мкм, в стационарной — 172,07 мкм. Как источник фукоксантина, *C. closterium* имеет важное практическое значение; водоросль интенсивно культивируют для получения биологически активных веществ. Результаты получения биомассы фукоксантина из клеток диатомовой водоросли при лабораторном культивировании — 11 мг·г⁻¹ сухой массы. Новые данные актуальны и важны, они могут быть использованы в различных областях науки и медицины. Впервые представлена сезонная динамика численности популяций *C. closterium* в разных экотопах: эпизооне беспозвоночных и их пищевых спектрах, эпифитоне донной растительности, перифитоне экспериментальных и антропогенных субстратов различных морей. Максимальная численность популяции вида (65,6·10³ кл·см⁻²) зарегистрирована в эпизооне мидии *Mytilus galloprovincialis* Lam. в марте при температуре воды +7,7 °С на глубине 2,5 м в Чёрном море. Максимальная численность отмечена в эпифитоне зелёных водорослей-макрофитов (896·10³ кл·см⁻²) и перифитоне асбестовых пластин (728·10³ кл·см⁻²) в августе при +24,5 °С в Японском море. Динамика численности природных популяций *C. closterium* в локальных местообитаниях изменялась в зависимости от сезона, глубины, типа субстрата. Рассмотрены сходства и различия в распределении *C. closterium* в микрофитобентосе нескольких морей.

Ключевые слова: диатомовая водоросль, *Cylindrotheca closterium*, таксономия, морфология, фитогеография, экология, экотопы, численность, лабораторное культивирование, фукоксантин



УДК 574.583(282.54)

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ГОЛО- И МЕРОПЛАНКТОНА АЗОВСКОГО МОРЯ В ПЕРИОД ФОРМИРОВАНИЯ ЛЕДОВОГО ПОКРОВА

© 2019 г. Ж. П. Селифонова^{1,2}

¹Государственный морской университет имени адмирала Ф. Ф. Ушакова, Новороссийск, Россия

²Институт морских биологических исследований имени А. О. Ковалевского РАН, Севастополь, Россия

E-mail: selifa@mail.ru

Поступила в редакцию 16.02.2019; после доработки 18.04.2019;
принята к публикации 22.05.2019; опубликована онлайн 24.06.2019.

Азовское море относится к внутренним замерзающим морским водоёмам. Зимний период считается одним из важнейших сезонов для понимания закономерностей функционирования и формирования продуктивности экосистемы Азовского моря. Между тем голо- и меропланктон в период формирования ледового покрова в водоёме исследован не полно. За последние годы в Азовское море вселилось несколько чужеродных видов, среди них — арктические виды многощетинковых червей, которые в своем развитии имеют стадию пелагической личинки. Цель работы — изучение таксономического состава и обилия зимнего голо- и меропланктона Азовского моря в декабре 2018 г. Материалом для исследования послужили сборы зоопланктона в Таганрогском и Темрюкском заливах Азовского моря в период формирования сезонного ледового покрова. Пробы зоопланктона собирали 3–14 декабря при температуре от 0 до +3 °С на 14 станциях, 9 из которых выполнены в Таганрогском заливе (район порта Ейск) в трёхкратной повторности, а 5 — в Темрюкском заливе (каждая — однократно). Зоопланктон собирали большой сетью Джели (диаметр входного отверстия — 37 см, размер ячеек — 120 мкм). Тотальные ловы проводили на глубинах от 4 до 8 м. Пробы фиксировали 2–4%-ным раствором нейтрального формальдегида и обрабатывали в лабораторных условиях по стандартной методике. Биомассу вычисляли по таблицам средних масс организмов. Результаты показали, что при аналогичных температурных условиях плотность организмов голо- и меропланктона в Таганрогском заливе была в четыре раза выше, чем в Темрюкском заливе. Зимний подлёдный зоопланктон представлен двумя группами организмов — нативными эвритермными формами голопланктона и личинками полихет. В составе каляноидных копепод доминировал, как и прежде, эвригалинный понто-каспийский вид *Eurytemora affinis* (Pope, 1880). Вместе с тем видовой состав зимнего меропланктона Азовского моря существенно изменился в сравнении с таковым периода до 2014 г. В Таганрогском заливе при температуре воды 0...+1,2 °С зарегистрирована необычайно высокая плотность личинок полихет рода *Marenzelleria* — недавнего вселенца в Азовское море (118–119,9 тыс. экз.·м⁻³). Впервые отмечен пик численности зоопланктона (128,9–136,7 тыс. экз.·м⁻³) в зимний сезон. Подлёдный зимний максимум численности личинок многощетинкового червя рода *Marenzelleria* был в 4–6 раз выше показателей обилия меропланктона, ранее отмечаемых в июне, наиболее продуктивном месяце года. Натурализация многощетинковых червей рода *Marenzelleria* может привести к коренной перестройке азовоморской экосистемы и к увеличению её продуктивности. Необходимы дальнейшие исследования фенологии личиночных стадий этих полихет в водоёме.

Ключевые слова: зимний подлёдный голо- и меропланктон, биоинвазии, многощетинковые черви, *Marenzelleria* sp., Азовское море

Азовское море — внутренний замерзающий морской водоём. В течение зимы вероятно неоднократное появление и исчезновение льда на определённых участках моря и даже его полное замерзание. Таганрогский залив — один из самых опреснённых районов Азовского моря, и для него

характерна наибольшая продолжительность ледового периода [3]. В Таганрогском заливе образование первичных форм льда обычно начинается в ноябре, в Темрюкском заливе — в декабре. Считается, что зимний период является одним из важнейших сезонов для понимания закономерностей функционирования и формирования продуктивности экосистемы Азовского моря [7]. Вместе с тем зоопланктон в период формирования ледового покрова в водоёме изучен не полно; ощущается недостаток актуальных сведений о состоянии зимнего голо- и меропланктона [7, 8]. За последние годы в Азовское море вселилось несколько чужеродных видов, в том числе арктические виды многощетинковых червей, которые в своём развитии имеют стадию пелагической личинки [2, 16, 17].

Цель работы — изучить таксономический состав и обилие голо- и меропланктона Азовского моря в декабре 2018 г.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Материалом для исследования послужили сборы зоопланктона в Таганрогском и Темрюкском заливах Азовского моря в период формирования сезонного ледового покрова. Пробы зоопланктона собирали 3–14 декабря 2018 г. при температуре от 0 до +3 °С на 14 станциях, 9 из которых выполнены в Таганрогском заливе (район порта Ейск) в трёхкратной повторности, а 5 — в Темрюкском заливе (каждая — однократно) (рис. 1). Голопланктон и меропланктон (ракообразные, личинки донных животных, крупные коловратки и прочие организмы размером > 200–500 мкм) собирали большой сетью Джеди (диаметр входного отверстия — 37 см, размер ячеей — 120 мкм). Тотальные ловы производили на глубинах от 4 до 8 м. Пробы фиксировали 2–4%-ным раствором нейтрального формальдегида и обрабатывали в лабораторных условиях по стандартной методике. Вычисление биомассы проводили по таблицам средних масс организмов [10, 11].

Для проверки гипотезы достоверности разницы средних значений при анализе количественных данных голо- и меропланктона использовали параметрический метод Стьюдента при уровне значимости $p = 0,05$ (расчёты выполнены в Microsoft Excel).

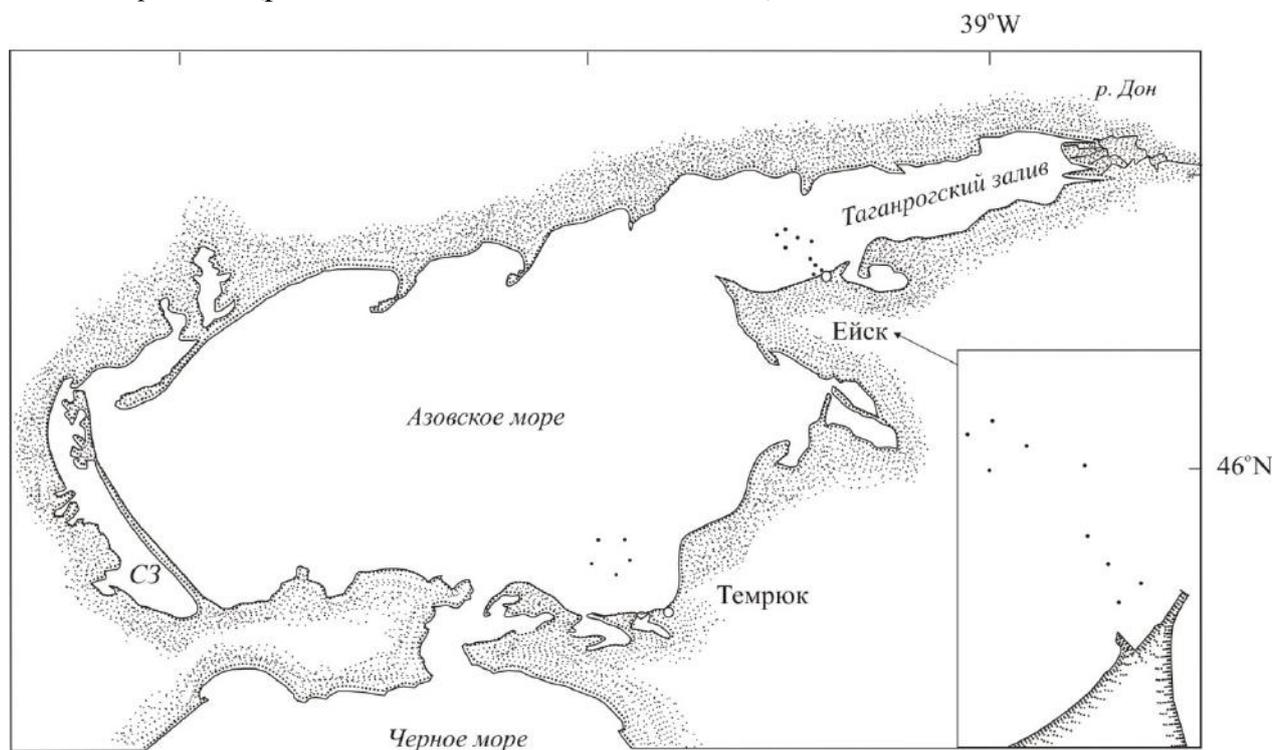


Рис. 1. Схема отбора проб зоопланктона в Азовском море (на врезке — район порта Ейск)

Fig. 1. The map of sampling survey in the Sea of Azov (the port of Yeisk is in the inset)

РЕЗУЛЬТАТЫ

Таганрогский залив. Суммарная численность голо- и меропланктона 03.12.2018 при температуре воды 0 °С в среднем составляла $(128,9 \pm 31,2)$ тыс. экз.·м⁻³, биомасса — $(1061 \pm 238,8)$ мг·м⁻³ (табл. 1).

Таблица 1. Средняя численность и биомасса голо- и меропланктона в различных районах Азовского моря в декабре 2018 г.

Table 1. The average numerical density and biomass of holo- and meroplankton in the different areas of the Sea of Azov in December 2018

Район, дата	Температура воды, °С	V _{общ} , мг·м ⁻³	Численность, тыс. экз.·м ⁻³			
			N _{общ}	N _{cop}	N _{rot}	N _{pol}
Таганрогский залив, 03.12.2018	0	1061 ± 238,8	128,9 ± 31,2	6	4,9	118,0
Таганрогский залив, 06.12.2018	1,2	1366 ± 214,1	136,7 ± 27,8	7,2	9,6	119,9
Таганрогский залив, 14.12.2018	3,0	606,1 ± 154,6	91,2 ± 20,0	9,0	26,8	55,4
Темрюкский залив, 06.12.2018	3,0	159,3 ± 71,9	17,6 ± 8,0	1,7	2,0	13,9

Примечание: V_{общ}, N_{общ} — общая биомасса и численность голо- и меропланктона; N_{cop}, N_{rot}, N_{pol} — численность Copepoda, Rotifera и Polychaeta соответственно

Note: V_{общ}, N_{общ} – total biomass and abundance of holo- and meroplankton; N_{cop}, N_{rot}, N_{pol} – abundance of Copepoda, Rotifera, and Polychaeta, respectively

В зоопланктоне на долю меропланктона приходилось 91,6 %, копепод — 3,8 %, коловраток — 4,6 %. В составе меропланктона абсолютно доминировали личинки многощетинковых червей *Marenzelleria* sp. Личинки находились на стадии 14–17 сегментов. Их численность колебалась от 45,9 до 303 тыс. экз.·м⁻³, в среднем 118 тыс. экз.·м⁻³, биомасса — от 139,9 до 2246 мг·м⁻³, в среднем 1015,6 мг·м⁻³ (рис. 2).

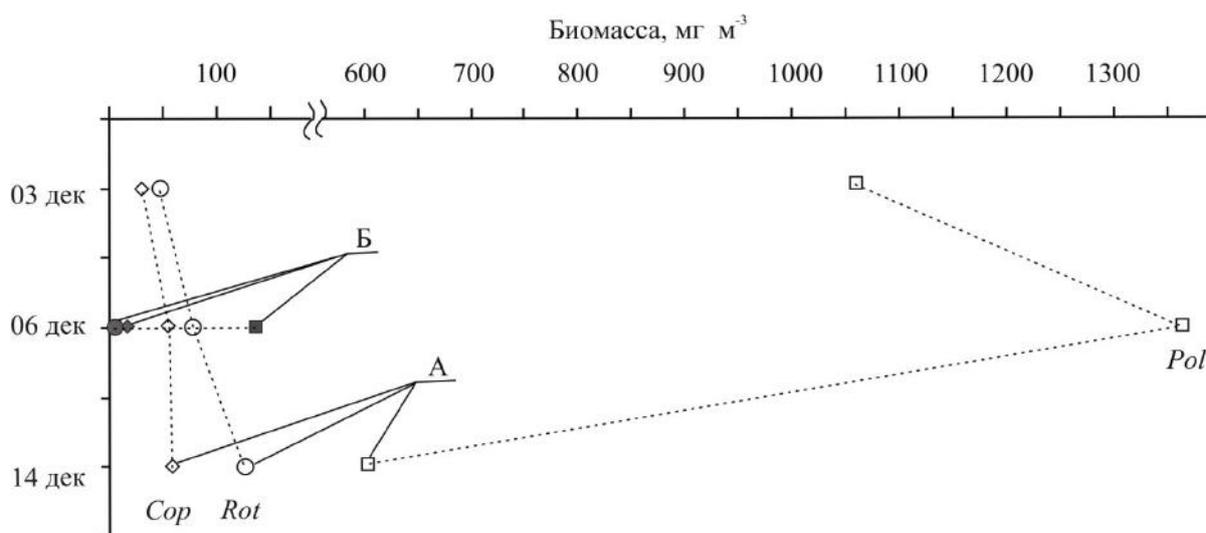


Рис. 2. Динамика средней биомассы голо- и меропланктона в Таганрогском (А) и Темрюкском (Б) заливах в декабре 2018 г. (Cop, Rot и Pol — Copepoda, Rotifera и Polychaeta соответственно)

Fig. 2. The dynamics of average biomass of holo- and meroplankton in the Taganrog Bay (A) and in the Temryuk Bay (B) in December 2018 (Cop, Rot, and Pol are for Copepoda, Rotifera, and Polychaeta, respectively)

В голопланктоне по численности преобладали науплиусы (66,5 %) и копеподиты (31,5 %) *Eurytemora affinis* (Pорре, 1880) (от 1,6 до 11,7 тыс. экз. \cdot м⁻³, в среднем 5,5 тыс. экз. \cdot м⁻³) и коловратки *Synchaeta* sp. (в среднем 4 тыс. экз. \cdot м⁻³). Также отмечены несозревшие (зимние) копеподиты IV–V стадии каляноидной копеподы *Calanipeda aquaedulcis*.

Через три дня при температуре воды +1,2 °С биомасса зоопланктона составила (1366 ± 214,1) мг \cdot м⁻³, численность — (136,7 ± 27,8) тыс. экз. \cdot м⁻³. Достоверных отличий по критерию Стьюдента ($p > 0,05$) по численности и биомассе по сравнению с данными 03.12.2018 не обнаружено. Как и ранее, высокая плотность (119,9 тыс. экз. \cdot м⁻³) зарегистрирована у личинок многощетинковых червей *Marenzelleria* sp. при биомассе 1285,9 мг \cdot м⁻³. Численность личинок полихет колебалась от 30,6 до 271,8 тыс. экз. \cdot м⁻³, биомасса — от 299 до 2609 мг \cdot м⁻³. Вклад меропланктона в общую численность зоопланктона составлял 87,7 %, коловраток — 7 %, копепод — 5,3 %; вклад в биомассу — 94 %, 2 % и 4 % соответственно. Численность коловраток увеличилась почти в два раза — до 9,6 тыс. экз. \cdot м⁻³. Популяция *E. affinis* (6,5 тыс. экз. \cdot м⁻³) состояла из науплиусов (72,4 %), копеподитов (15,4 %), самцов (6,2 %), взрослых самок (1 %), яйценосных (5 %). Популяция *C. aquaedulcis* была представлена только старшими копеподитами.

При температуре воды +3 °С 14.12.2018 наблюдали спад обилия зоопланктона в 1,5–2 раза (см. табл. 1, рис. 2). Это произошло за счёт сокращения численности и биомассы личинок многощетинковых червей *Marenzelleria* sp. до 55,4 экз. \cdot м⁻³ и 476,2 мг \cdot м⁻³ соответственно. Статистические различия между количественными параметрами зоопланктона были не достоверными ($p > 0,05$) и находились в пределах случайных колебаний этих показателей. Вклад меропланктона в общую численность зоопланктона снизился до 60,7 %, в биомассу — до 79 %. В то же время почти в три раза увеличилось обилие коловраток. Доля этих организмов в общей численности зоопланктона составила 29,3 % (26,8 тыс. экз. \cdot м⁻³), доля копепод — 10 % (*E. affinis* — 8,0 тыс. экз. \cdot м⁻³, *C. aquaedulcis* — 1,0 тыс. экз. \cdot м⁻³). Популяция *E. affinis* на 18 % была представлена взрослыми особями (самцы и самки), на 56 % — копеподитами и на 26 % — науплиусами. В популяции *C. aquaedulcis* наряду с копеподитами (89 %) отмечены половозрелые особи (11 %).

Темрюкский залив. Суммарная численность организмов зоопланктона 06.12.2018 в среднем составляла (17,6 ± 8,0) тыс. экз. \cdot м⁻³, биомасса — (159,3 ± 71,9) экз. \cdot м⁻³. Количество зоопланктона в Темрюкском заливе было существенно (в 3–5 раз) меньше, чем в Таганрогском заливе при аналогичной температуре воды (+3 °С). Основу численности также составляли полихеты. Численность личинок многощетинковых червей *Marenzelleria* sp. варьировала в пределах 5,1–28,9 тыс. экз. \cdot м⁻³, в среднем 13,9 тыс. экз. \cdot м⁻³; биомасса — 54–269,5 мг \cdot м⁻³, в среднем 137,6 мг \cdot м⁻³. Доля меропланктона в составе численности зоопланктона составляла 79 %; на долю коловраток приходилось 11,4 %, копепод — 9,6 %. В составе голопланктона отмечены каляноидные копеподы *E. affinis*, *C. aquaedulcis* и коловратки, среди которых доминировали *E. affinis* (11 %) и *Synchaeta* sp. (9 %). Численность *E. affinis* колебалась от 320 до 4186 экз. \cdot м⁻³, биомасса — от 1,2 до 23 мг \cdot м⁻³. Повсеместно основу популяций *E. affinis* и *C. aquaedulcis* составляли копеподиты и науплиусы (80–90 %). Половозрелые особи отмечены в небольшом количестве — 10–20 %.

ОБСУЖДЕНИЕ

На слабое развитие зоопланктона подо льдом в Азовском море указывали многие исследователи [4, 7, 8, 12, 13]. До 2014 г. основу зимнего зоопланктона формировали коловратки рода *Synchaeta* и веслоногие раки, зимующие на копеподитных стадиях [7, 8]. В январе — феврале в Таганрогском заливе зарегистрированы науплиальные (≤ 3 тыс. экз. \cdot м⁻³), копеподитные стадии каляноидных копепод *Eurytemora affinis*, *Calanipeda aquaedulcis*, гарпактикоидных копепод (0,2–0,5 тыс. экз. \cdot м⁻³) и *Synchaeta* sp. (5,3–27 тыс. экз. \cdot м⁻³). В декабре 2018 г. в Таганрогском заливе суммарная численность *E. affinis* и *C. aquaedulcis* (Calanioda) была в 2–3 раза выше этих значений, а также в 3–5 раз выше значений, полученных нами для Темрюкского залива. Согласно работе [6], по величине

продукции копепод наиболее продуктивным был Таганрогский залив. Так, с марта по октябрь здесь продуцировалось в 3–4 раза больше копепод, чем в Азовском море. В 1960–1980-е гг. основу продукции Copepoda (95–98 %) в Таганрогском заливе составляли *C. aquaedulcis*. После вселения в водоём гребневика *Mnemiopsis leidy* A. Agassiz, 1865 максимум развития зимнего голопланктона приходился на эвригалинный понто-каспийский вид *E. affinis* [4, 7, 8, 13], который мог оптимально развиваться в солоноватоводных бассейнах, а также мигрировать в реки [19]. В Таганрогском заливе *E. affinis* доминирует не только зимой, но и летом в опреснённой восточной части [12]. Во все годы исследований зимние популяции *E. affinis* и *C. aquaedulcis* на 89–98 % состояли из копеподитов и науплиусов [7, 8]. По данным работы [6] известно, что развитие калянипеды в Азовском море может происходить в течение всего года (семь генераций). Выживаемость копепод *C. aquaedulcis* уменьшается с понижением температуры, что приводит к увеличению продолжительности развития особей [1]. При температуре 7–9 °C интенсивность питания калянипеды падает, она прекращает размножаться.

Ранее отмечено, что в условиях сплошного ледового покрова в Азовском море развивались немногочисленные личинки усоногих раков, велигеры двустворчатых моллюсков и метатрохофоры полихеты рода *Phyllococe* с максимальной суммарной численностью 0,06 тыс. экз.·м⁻³ [7, 8]. По результатам наших исследований, в меропланктоне абсолютно доминировали личинки многощетинкового червя *Marenzelleria* sp. — недавнего вселенца в донные биоценозы Азовского моря [17]. Благодаря наличию стадии пелагической личинки многощетинковый червь способен к транспортировке с балластной водой судов и к расселению в другие бассейны Мирового океана. В декабре 2018 г. за счёт интенсивного развития личинок полихет вклад численности меропланктона в зоопланктон составил 87,7–91,6 %. В Таганрогском заливе при низкой температуре воды (0...+1,2 °C) зарегистрирована необычайно высокая плотность личинок полихет этого рода — 118–119,9 тыс. экз.·м⁻³. При температуре воды +3 °C плотность личинок полихет была в два раза ниже. Вполне возможно, что многие нектохеты за 11 дней закончили планктонное развитие и осели на дно. В Темрюкском заливе при аналогичных температурных условиях плотность этих организмов была в четыре раза ниже. Согласно работе [17], в 2015 г. максимальная плотность взрослых особей этих организмов (6823 экз.·м⁻²) отмечена в Таганрогском заливе и дельте Дона. В дальнейшем полихеты расселились по Азовскому морю, включая Керченский пролив. В декабре 2018 г. нами обнаружены личинки *Marenzelleria* sp. в Керченском проливе и Таманском Причерноморье с численностью 0,004–0,072 тыс. экз.·м⁻³. Известно, что в Азовском море июнь — наиболее продуктивный месяц года, характеризующийся максимальным видовым разнообразием меропланктона и его наибольшим обилием [4, 9, 12, 13, 14, 15]. Мы проанализировали численность меропланктонного сообщества Азовского моря по результатам мониторинга, проведённого в июне 2003–2006, 2009–2010 и 2014 гг. [9, 12, 13, 14, 15], и выяснили, что обилие меропланктона в декабре 2018 г. в 4–6 раз превышало июньские показатели. Вселение видов рода *Marenzelleria* в Азовское море может привести к коренной перестройке его экосистемы — к улучшению кислородного режима придонного слоя вод, снижению цветения цианобактерий и увеличению продуктивности вод — аналогично тому, как это происходило в других водоёмах при натурализации данной полихеты [5, 18].

Выводы:

1. Изменился состав зимнего зоопланктонного сообщества Азовского моря. Зимний подлёдный зоопланктон был представлен двумя группами организмов — эвритермными формами голопланктона, среди которых доминировал нативный эвригалинный понто-каспийский вид *Eurytemora affinis*, и личинками недавнего вселенца в Азовское море — многощетинкового червя рода *Marenzelleria*, интенсивное развитие которого происходило в декабре.
2. Наибольшие скопления зоопланктона зарегистрированы в Таганрогском заливе. При аналогичных температурных условиях плотность организмов голо- и меропланктона здесь была в 4 раза выше, чем в Темрюкском заливе.

3. Впервые отмечен зимний подлёдный пик численности азовоморского зоопланктона. Максимум численности меропланктона формировали личинки многощетинковых червей рода *Marenzelleria*. Он был в 4–6 раз выше показателей обилия меропланктона, зарегистрированных ранее в этом море в июне, наиболее продуктивном месяце года. Натурализация многощетинковых червей рода *Marenzelleria* может привести к коренной перестройке азовоморской экосистемы. Необходимы дальнейшие исследования фенологии личиночных стадий этих полихет в водоёме.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ИМБИ по теме «Функциональные, метаболические и токсикологические аспекты существования гидробионтов и их популяций в биотопах с различным физико-химическим режимом» (№ гос. регистрации АААА-А18-118021490093-4).

Благодарность. Автор благодарит к. б. н. Лисицкую Е. В. (ФГБУН ИМБИ) за помощь в идентификации меропланктона, а также Черноморско-Азовскую дирекцию по техническому обеспечению надзора на море — за организацию исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Аганесова Л. О. Длительность развития копепод *Calanipeda aquaedulcis* и *Arctodiaptomus salinus* при разном температурном режиме культивирования // *Морской экологический журнал*. 2013. Т. 12, № 1. С. 19–25. [Aganesova L. O. Development times of the copepods *Calanipeda aquaedulcis* and *Arctodiaptomus salinus* at different temperatures. *Morskoy ekologicheskij zhurnal*, 2013, vol. 12, no. 1, pp. 19–25. (in Russ.)]
- Болтачева Н. А., Лисицкая Е. В., Фроленко Л. Н., Ковалёв Е. А., Барабашин Т. О. Обнаружение полихеты *Laonome calida* Сара, 2007 (Annelida: Sabellidae) в юго-восточной части Азовского моря // *Российский журнал биологических инвазий*. 2017. № 3. С. 6–17. [Boltacheva N. A., Lisitskaya E. V., Frolenko L. N., Kovalev E. A., Barabashin T. O. The finding of *Laonome calida* Sara, 2007 (Annelida: Sabellidae) in the southeast Sea of Azov. *Rossiiskii zhurnal biologicheskikh invazii*, 2017, no. 3, pp. 6–17. (in Russ.)]
- Гоптарев Н. П., Таран Б. М. Ледовые условия // *Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Азовское море*. Санкт-Петербург : Гидрометеоздат, 1991. Т. 5. С. 59–73. [Goptarev N. P., Taran B. M. Ledovye usloviya. In: *Gidrometeorologiya i gidrokhimiya morei SSSR. Azovskoe more*. Saint Petersburg: Gidrometeoizdat, 1991, vol. 5, pp. 59–73. (in Russ.)]
- Гребневик *Mnemiopsis leidyi* (A. Agassiz) в Азовском и Черном морях: биология и последствия вселения / под ред. С. П. Воловика. Ростов-на-Дону : БКИ, 2000. 500 с. [Grebnevik *Mnemiopsis leidyi* (A. Agassiz) v Azovskom i Chernom moryakh: *biologiya i posledstviya vseleniya* / S. P. Volovik (Ed.). Rostov-on-Don: BKI, 2000, 500 p. (in Russ.)]
- Максимов А. А., Еремина Т. Р., Ланге Е. К., Литвинчук Л. Ф., Максимова О. Б. Режимная перестройка экосистемы восточной части Финского залива вследствие инвазии полихет *Marenzelleria arctica* // *Океанология*. 2014. Т. 54, № 1. С. 52–59. [Maksimov A. A., Eremina T. R., Lange E. K., Litvinchuk L. F., Maksimova O. B. Regime shift in the ecosystem of the eastern Gulf of Finland caused by the invasion of the polychaete *Marenzelleria arctica*. *Okeanologiya*, 2014, vol. 54, iss. 1, pp. 52–59. (in Russ.)]. <https://doi.org/10.7868/S0030157413060063>
- Маловицкая Л. М. Продукция копепод Азовского моря // *Труды ВНИРО*. 1973. Вып. 80. С. 28–39. [Malovitskaya L. M. Produktsiya kopepod Azovskogo morya. *Trudy VNIRO*, 1973, iss. 80, pp. 28–39. (in Russ.)]
- Матишов Г. Г., Степаньян О. В., Поважный В. В., Ковалева Г. В., Кренева К. В. Функционирование экосистемы Азовского моря в зимний период // *Доклады Академии наук*. 2007. Т. 413, № 1. С. 112–115. [Matishov G. G., Stepan'yan O. V., Povazhnyi V. V., Kovaleva G. V., Kreneva K. V. Functioning of the ecosystem in the Sea of Azov during winter. *Doklady Akademii nauk*, 2007, vol. 413, no. 1, pp. 112–115. (in Russ.)]
- Матишов Г. Г., Степаньян О. В., Ковалёва Г. В., Поважный В. В., Кренева К. В. Особенности структуры пелагического сообщества Азовского моря в условиях аномально холодной зимы 2005–2006 гг. // *Вестник Южного научного центра РАН*. 2012. Т. 8, № 4. С. 66–75.

- [Matishov G. G., Stepan'yan O. V., Kovaleva G. V., Povazhnyi V. V., Kreneva K. V. Specific structural features of the Sea of Azov pelagic community during the abnormally cold winter of 2005–2006. *Vestnik Yuzhnogo nauchnogo tsentra RAN*, 2012, vol. 8, no. 4, pp. 66–75. (in Russ.)]
9. Матишов Г. Г., Игнат'ев С. М., Загородняя Ю. А., Климова Т. Н., Вдодович И. В., Саяпин В. В., Степаньян О. В. Фаунистическое разнообразие и показатели обилия планктонных сообществ Азовского моря в июне 2014 г. // *Вестник Южного научного центра*. 2015. Т. 11, № 3. С. 81–90. [Matishov G. G., Ignat'ev S. M., Zagorodnyaya Yu. A., Klimova T. N., Vdodovich I. V., Sayarin V. V., Stepan'yan O. V. Faunistic diversity and abundance indices of plankton communities of the Sea of Azov in June 2014. *Vestnik Yuzhnogo nauchnogo tsentra*, 2015, vol. 11, no. 3, pp. 81–90. (in Russ.)]
 10. Мордухай-Болтовской Ф. Д. Материалы по среднему весу водных беспозвоночных бассейна Дона // *Проблемы гидробиологии внутренних вод: труды проблемных и тематических совещаний*. Москва ; Ленинград : ЗИН АН СССР, 1954. Вып. 2. С. 223–241. [Mordukhai-Boltovskoi F. D. Materialy po srednemu vesu vodnykh bespozvonochnykh basseina Dona. In: *Problemy gidrobiologii vnutrennikh vod: trudy problemnykh i tematicheskikh soveshchaniy*. Moscow ; Leningrad: ZIN AN SSSR, 1954, vol. 2, pp. 223–241. (in Russ.)]
 11. Петипа Т. С. О среднем весе основных форм зоопланктона Черного моря // *Труды Севастопольской биологической станции*. 1957. Т. 9. С. 39–57. [Petipa T. S. O srednem vese osnovnykh form zooplanktona Chernogo morya. *Trudy Sevastopol'skoi biologicheskoi stantsii*, 1957, vol. 9, pp. 39–57. (in Russ.)]
 12. Пицык Г. К., Новожилова А. Н. О динамике зоопланктона Азовского моря // *Труды АзЧерНИРО*. 1951. Вып. 15. С. 281–297. [Pitsyk G. K., Novozhilova A. N. O dinamike zooplanktona Azovskogo morya. *Trudy AzCherNIRO*, 1951, iss. 15, pp. 281–297. (in Russ.)]
 13. Поважный В. В. Особенности функционирования зоопланктонного сообщества Таганрогского залива Азовского моря : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 25.00.28. Мурманск, 2009. 25 с. [Povazhnyi V. V. *Osobennosti funktsionirovaniya zooplanktonnogo soobshchestva Taganrogskogo zaliva Azovskogo morya* : avtoref. dis. ... kand. biol. nauk : 25.00.28. Murmansk, 2009, 25 p. (in Russ.)]
 14. Селифонова Ж. П. Таксономический состав и межгодовые изменения численности мeroпланктона Азовского моря // *Биология моря*. 2008. Т. 34, № 5. С. 263–269. [Selifonova Zh. P. Taxonomic composition and interannual variations in numerical density of meroplankton in the Sea of Azov. *Biologiya morya*, 2008, vol. 34, iss. 5, pp. 263–269. (in Russ.)]. <https://doi.org/10.1134/S1063074008050015>
 15. Селифонова Ж. П. Прибрежные экосистемы северо-восточного шельфа Черного моря и Азовского моря. Новороссийск : Изд-во ГМУ им. адм. Ф. Ф. Ушакова, 2014. 170 с. [Selifonova Zh. P. *Pribrezhnye ekosistemy severo-vostochnogo shel'fa Chernogo morya i Azovskogo morya*. Novorossiisk: Izd-vo GMU im. adm. F. F. Ushakova, 2014, 170 p. (in Russ.)]
 16. Семин В. Л., Коваленко Е. П., Савикин А. И. *Aracia* sp. (Polychaeta: Sabellidae) из дельты р. Дон // *Российский журнал биологических инвазий*. 2014. № 4. С. 97–101. [Semin V. L., Kovalenko E. P., Savikin A. I. *Aracia* sp. (Polychaeta: Sabellidae) from the Don River estuary (the Sea of Azov basin). *Rossiiskii zhurnal biologicheskikh invazii*, 2014, iss. 4, pp. 97–101. (in Russ.)]. <https://doi.org/10.1134/S2075111715010075>
 17. Семин В. Л., Сикорский А. В., Коваленко Е. П., Булышева Н. И. Вселение представителей рода *Marenzelleria* Mesnil, 1896 (Polychaeta: Spionidae) в дельту Дона и Таганрогский залив // *Российский журнал биологических инвазий*. 2016. № 1. С. 109–120. [Semin V. L., Sikorskii A. V., Kovalenko E. P., Bulysheva N. I. Penetration of genus *Marenzelleria* Mesnil, 1896 (Polychaeta: Spionidae) into the Don River estuary and the Taganrog Bay. *Rossiiskii zhurnal biologicheskikh invazii*, 2016, iss. 1, pp. 109–120. (in Russ.)]. <https://doi.org/10.1134/S2075111716020107>
 18. Norkko J., Reed D. C., Timmermann K., Norkko A., Gustafsson B. G., Bonsdorff E., Slomp C. P., Carstensen J., Conley D. J. A welcome can of worms? Hypoxia mitigation by an invasive species. *Global Change Biology*, 2012, vol. 18, iss. 2, pp. 422–434. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02513.x>
 19. Samchyshyna L. V. Ecological characteristic of calanoids (Copepoda, Calanoida) of the inland waters of Ukraine. *Vestnik zoologii*, 2008, vol. 42, no. 2, pp. 32–37. <https://doi.org/10.2478/v10058-008-0007-1>

CURRENT STATUS OF HOLO- AND MEROPLANKTON OF THE SEA OF AZOV DURING THE FORMATION OF THE ICE COVER

Zh. P. Selifonova^{1,2}

¹Admiral Ushakov Maritime State University, Novorossisk

²Kovalevsky Institute of Marine Biological Research RAS, Sevastopol, Russian Federation

E-mail: selifa@mail.ru

The Sea of Azov is an inland freezing marine water basin. Winter season is considered to be one of the most important seasons for understanding patterns of functioning and formation of productivity of the ecosystem of the Sea of Azov. However, holo- and meroplankton during the formation of ice cover in the sea have not been studied enough. In recent years, several alien species, including Arctic species of polychaete worms, which in their development have the stage of pelagic larvae, have naturalized in the Sea of Azov. The aim of the work is to study the taxonomic composition and numerical abundance of winter holo- and meroplankton of the Sea of Azov in December 2018. Zooplankton sampling was conducted in the bays of the Sea of Azov, viz., Taganrog and Temryuk during the formation of seasonal ice cover. Zooplankton samples were collected from December 3 to 14 at temperatures from 0 to +3 °C at 14 stations, 9 of which were performed in the Taganrog Bay (the port area of Yeisk) in three replications, and 5 of which – in the Temryuk Bay (each sample – in one replication). Zooplankton was sampled throughout the water column at depths of 4–8 meter using a big-sized Juday net with an opening diameter of 37 cm (mesh size was 120 µm) by total catch. The material was fixed by 2–4 % neutral formaldehyde and treated in the laboratory by the conventional procedure. Calculations of biomass were made using the tables of the average mass of organisms. The results showed that under similar temperature conditions the density of holo- and meroplankton organisms in the Taganrog Bay was four times higher than in the Temryuk Bay. Winter subglacial zooplankton was represented by two groups of organisms – native eurythermic forms of holoplankton and polychaetes larvae. As before, calanoid copepod composition was dominated by euryhaline Ponto-Caspian species *Eurytemora affinis* (Poppe, 1880). However, the species composition of the winter meroplankton of the Sea of Azov changed significantly in comparison with that of the period up to 2014. Unusual high density (118–119.9 thousand ind.·m⁻³) of polychaete larvae of *Marenzelleria* genus, the recent invader in the Sea of Azov, was registered in the Taganrog Bay at a low water temperature of 0...+1.2 °C. The peak of zooplankton numerical density (128.9–136.7 thousand ind.·m⁻³) was observed in winter season for the first time. Winter subglacial maximum of abundance of the polychaetes larvae of *Marenzelleria* sp. was 4–6 times higher than the abundance of meroplankton, previously noted in June, the most productive month of the year. Naturalization of polychaete worms *Marenzelleria* sp. can lead to a radical restructuring of the Sea of Azov ecosystem and to an increase of its productivity. Further studies of the phenology of these polychaetes larval stages in this basin are needed.

Keywords: winter subglacial holo- and meroplankton, bioinvasions, polychaetes, *Marenzelleria* sp., Sea of Azov

УДК [593.7+593.8]:591.13(262.5)

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ И ПИЩЕВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОПУЛЯЦИЙ ЖЕЛЕТЕЛЫХ В АКВАТОРИИ КРЫМА В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД

© 2019 г. Г. А. Финенко, Н. А. Дацк, С. М. Игнатьев, Б. Е. Аннинский

Институт морских биологических исследований имени А. О. Ковалевского РАН, Севастополь, Россия
E-mail: gfinenko@gmail.com

Поступила в редакцию 22.08.2018; после доработки 11.01.2019;
принята к публикации 22.05.2019; опубликована онлайн 24.06.2019.

Численность, биомасса, размерная структура популяций желетелых хищников [медуза *Aurelia aurita* Linnaeus, 1758; гребневики *Mnemiopsis leidyi* A. Agassiz, 1865 и *Pleurobrachia pileus* (O. F. Müller, 1776)] и интенсивность питания двух видов (*A. aurita* и *M. leidyi*) исследованы в раннелетний период (июнь) 2016 г. на 45 станциях, охватывавших зону шельфа у берегов Крыма от м. Тарханкут до г. Керчи, а также на 3 станциях глубоководного района с координатами 44°23'N–45°5'N и 32°22'E–36°36'E. Сбор материала проводили вертикальными тралениями от дна (10–100 м) до поверхности на шельфовых станциях и от глубины с $\sigma_t = 16,2$ до поверхности — на глубоководных, используя модифицированную сеть Богорова — Расса с диаметром входного отверстия 80 см и ячей 500 мкм. Спектр питания определяли под микроскопом в лаборатории сразу после вылова животных, рассчитывая впоследствии суточные рационы и скорость выедания зоопланктона. Установлены пространственные различия в биомассе и численности отдельных видов: максимальная биомасса *A. aurita*, преобладавшей во всех районах, отмечена в Евпаторийско-Севастопольском районе и обусловлена большими скоплениями среднеразмерных особей новой генерации. Гребневик *P. pileus* доминировал по численности в районе халистазы. Пищевой спектр медуз был очень разнообразен и включал различные стадии Copepoda, Tunicata, Cladocera, а также меропланктонные организмы — велигеры *Bivalvia* и *Gastropoda*. Халистатическая зона с большими глубинами характеризовалась максимальным количеством видов планктонных Copepoda в пище *A. aurita*. Среднесуточные рационы медуз, рассчитанные по содержанию пищи в гастральной полости и по времени переваривания, изменялись в широких пределах от района к району. Самыми низкими показателями были в Каркинитском заливе [(0,113 ± 0,10) мг С.экз.⁻¹.сут⁻¹, или (1,6 ± 2,18) % С тела], где большую долю пищи составляли водоросли *Coscinodiscus granii* Gough, 1905. Наиболее интенсивно питались животные в халистатической области [(0,687 ± 0,094) мг С.экз.⁻¹.сут⁻¹, или (56,2 ± 23,7) % С тела], в пище преобладали *Calanus euxinus* Hulsemann, 1991 и *Pseudocalanus elongatus* Boeck, 1865. Ни в одном из районов *A. aurita* не могла компенсировать затраты на дыхание за счёт потребления мезозоопланктона. Наибольший пресс на зоопланктон оказывала популяция медуз в Каркинитском заливе и в Евпаторийско-Севастопольском районе, хотя во всех исследованных районах её пресс был очень низок и не приводил к кардинальному сокращению численности зоопланктонного сообщества.

Ключевые слова: желетельный зоопланктон, *Aurelia aurita*, численность, биомасса, суточный рацион, пищевые потребности

Наличие двух альтернативных точек зрения на долговременную динамику популяций желетелых в Мировом океане определяет необходимость проведения продолжительного мониторинга как основы для анализа их состояния. Накопление многолетних рядов данных по развитию желетелых в Чёрном море позволяет оценить их роль в функционировании пелагической экосистемы в связи с климатическими изменениями.

Увеличение обилия желтелых во многом связано, как полагают, с человеческой деятельностью — с рыболовством, потеплением океана, гипоксией, изменением среды обитания, развитием прибрежных районов, эвтрофикацией и, в некоторых случаях, интродукциями чужеродных видов [23, 24, 25]. В отдельных регионах растут численность и частота появления этих животных, расширяются границы ареала [13]. Есть и альтернативная точка зрения: увеличения количества желтелых не наблюдается, это лишь результат естественной осцилляции их численности в глобальных популяциях [14, 15]. В настоящее время данных для однозначного ответа на вопрос о том, имеет ли место глобальное увеличение количества желтелых, недостаточно.

Численность желтелых определяется не только гидрофизическими процессами, антропогенными и климатическими факторами, но и взаимодействием физиологических и поведенческих отношений видов с окружающими условиями, а также конкурентными и трофическими взаимодействиями между видами. Детальное изучение состава диеты и скорости потребления пищи животными может дать полезную информацию о путях передачи энергии, трофических отношениях желтелых и их возможном влиянии на популяции жертв. Развитие популяций желтелых претерпевает значительную вариабельность во времени и пространстве, поэтому только проведение долговременного мониторинга может создать основу для оценки их состояния, пищевого пресса на планктонное сообщество, влияния на пищевую обеспеченность планктоноядных рыб и функционирование пелагической экосистемы в целом. Накопление многолетних рядов данных позволяет полнее понять механизмы динамики экосистемы Чёрного моря.

Основной целью исследования являлась оценка состояния популяций желтелого макрозоопланктона и его роли в трофической цепи зоопланктон — желтелые хищники.

Задачи:

- изучить пространственное распределение и структуру популяций желтелых хищников в шельфовых и открытых районах Чёрного моря;
- исследовать пищевой спектр массовых видов желтелых и скорость потребления пищи;
- оценить пищевой пресс этих видов на зоопланктонное сообщество.

Наши исследования являются частью мониторинга состояния экосистемы прибрежных и открытых вод Чёрного моря у берегов Крыма, проводимого Институтом морских биологических исследований имени А. О. Ковалевского РАН с 2016 г. Работу выполняли в 86-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий» с 8 по 18 июня 2016 г. на 45 станциях, охватывавших зону шельфа у берегов Крыма от м. Тарханкут до г. Керчи, а также на 3 станциях глубоководного района с координатами $44^{\circ}23'N-45^{\circ}5'N$ и $32^{\circ}22'E-36^{\circ}36'E$ (рис. 1).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Изученная акватория Чёрного моря была разделена согласно районированию В. А. Водяницкого [4]:

- 1 — район Каркинитского залива (ст. 3–11);
- 2 — Евпаторийско-Севастопольский район (ст. 1, 2, 13, 45–50);
- 3 — район Южного берега Крыма (ст. 40–43);
- 4 — Феодосийский район — полигон у Судака (ст. 17–25).

Кроме того, были выполнены 3 станции в глубоководной халистатической области (ст. 14–16) и 9 станций в районе Керченского пролива у м. Опук (ст. 26–34). Все станции, кроме глубоководных, расположены на шельфе с глубинами от 10 до 150 м (исключение — ст. 30 с глубиной 525 м).

Температура воды на поверхности на отдельных станциях в Чёрном море изменялась от $+18,1$ до $+22,6^{\circ}C$. Самыми низкими её значения были на западе (Каркинитский залив): температура в верхнем квазиоднородном слое находилась в пределах от $+18,1$ до $+19,7^{\circ}C$. Максимальными были значения на востоке (в районе Керченского пролива) — до $+22,6^{\circ}C$. Диапазон изменения

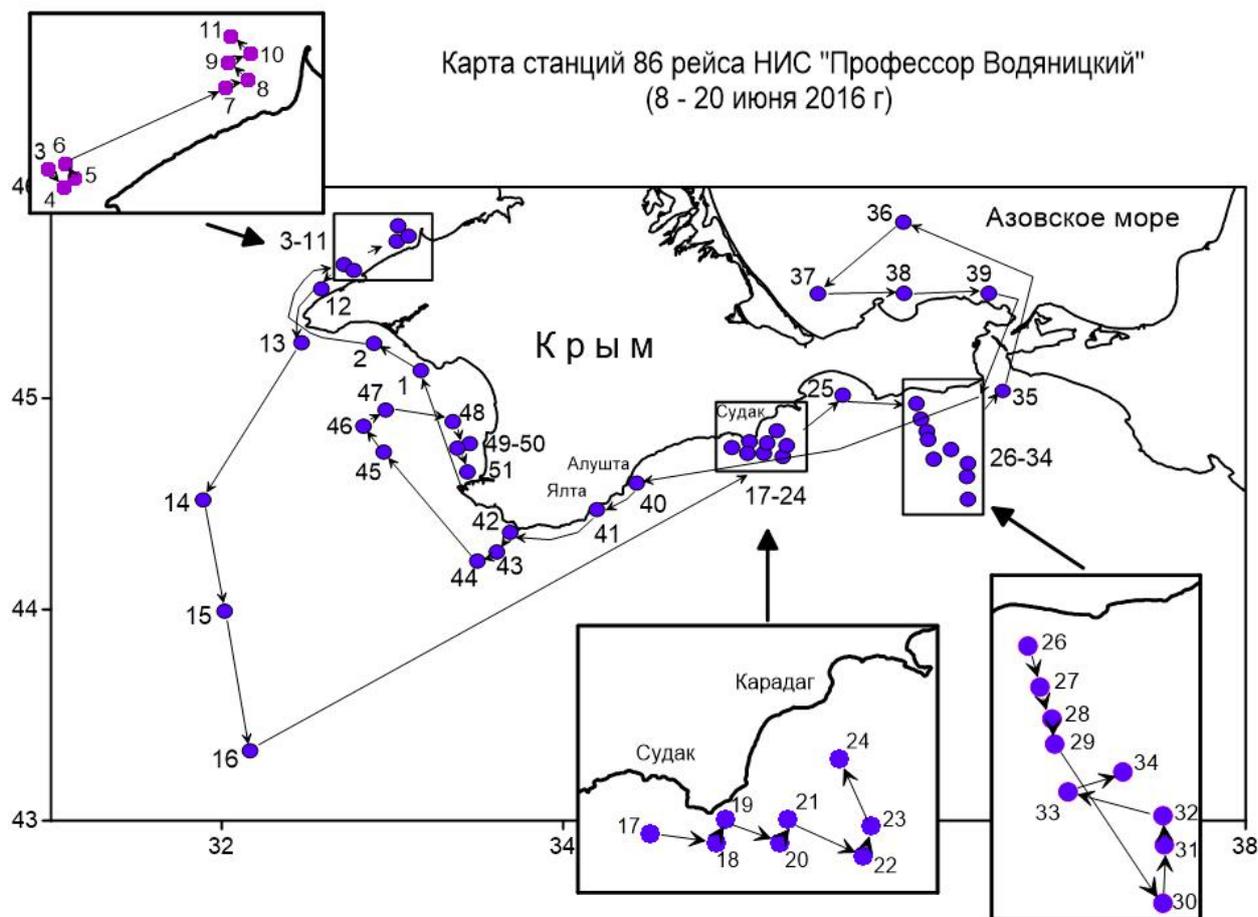


Рис. 1. Карта станций в 86-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий»

Fig. 1. Map of the stations in the 86th cruise of RV “Professor Vodyanitsky”

солёности — от 17,24 до 18,34‰; на прибрежных станциях у Керченского пролива она снижалась до 13,52‰. Относительная прозрачность воды в Чёрном море колебалась в пределах 8–12 м. Исключением была ст. 16, отличающаяся высокой прозрачностью (20 м).

Сбор желетелого зоопланктона и обработку материала проводили по методике, описанной нами ранее [8, 9, 17, 18].

Для того чтобы изучить спектр питания и скорость потребления пищи желетелыми хищниками в море, всех выловленных особей просматривали в лаборатории под микроскопом непосредственно после вылова. Состав пищи в гастральной полости животных определяли до вида и стадии развития. Суточный рацион (R , мг·экз.⁻¹·сут⁻¹) рассчитывали по формуле:

$$R = Bz \times DT^{-1} \times 24,$$

где Bz — биомасса зоопланктона в гастральной полости хищника, мг;

DT — время переваривания зоопланктона, ч.

Время переваривания пищи медузами рассчитывали по формуле, учитывающей биомассу пищи в гастральной полости (Bz , мг) и вес животного (WW , г), вводя k_t [поправку при пересчёте времени переваривания рачкового зоопланктона при +20 °С к наблюдаемой в море температуре (1)] и k_{sp} (поправку на увеличение времени переваривания велигеров *Bivalvia* (2,67) по сравнению с таковым для рачкового зоопланктона) [16]:

$$DT = 1,81 \times B_z^{0,122} \times WW^{-0,193} \times k_t \times k_{sp}.$$

Последнюю поправку не вводили, когда крупные *A. aurita* (больше 150 мм) содержали в гастральной полости менее пяти велигеров. В этих случаях время переваривания приравняли ко времени переваривания рачкового зоопланктона. Время переваривания пищи *M. leidy* рассчитывали по данным [7] с учётом температурной поправки. О степени пищевого пресса популяций *A. aurita* на мезопланктон судили по величине времени полужизни зоопланктона (T , сутки), в основу расчёта которого положены формулы, связывающие величину освобожденного объёма (CR , л·экз.⁻¹·сут⁻¹) с диаметром купола (D , мм) [16, 21]:

$$CR_{ind} = 0,0073 \times D^{2,1},$$

$$CR_{pop} = CR_{ind} \times N/1000,$$

$$T = \ln 2/CR_{pop},$$

где CR_{pop} — величина объёма воды, освобождённого популяцией, м³·сут⁻¹;

N — плотность популяции, экз.·м⁻³.

Минимальные пищевые потребности *A. aurita* (необходимое количество ассимилированной пищи для компенсации дыхательных потребностей) оценивали по формуле:

$$Q = 0,00936 \times WW^{0,84} \times 0,535 \times k_t \times 24,$$

где Q — скорость дыхания *A. aurita*, мг С·экз.⁻¹·сут⁻¹;

WW — сырой вес, г;

0,535 — переходный коэффициент от миллилитров O_2 к миллиграммам С;

k_t — температурная поправка для перехода от +20 °С к наблюдаемой температуре [3].

При пересчёте величин рационов, выраженных в сыром весе, в углеродные единицы было принято, что 1 мг С эквивалентен 25 мг сырого веса зоопланктона (отношение сухой:сырой вес = 0,1; отношение С:сухой вес зоопланктона = 0,4). Отношения для *A. aurita* и *M. leidy*: сухой:сырой вес = 0,02, содержание С — 0,04 сухого веса [6, 11]. Исследование питания медуз проводили на 23 станциях (по 3–5 станций в каждом районе). Всего изучен 181 экз. с диаметром купола 11–140 мм и сырым весом 0,067–131,7 г. Содержание углерода — 0,054–107,9 мг С·экз.⁻¹. При статистической обработке материала использовали компьютерные программы Surfer, Microsoft Excel 98 и Grapher. Во всех случаях приведены средние величины и ошибка средней (SE).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Численность, биомасса, структура популяции и распределение желетелого макропланктона. В период исследования желетельный макропланктон отмечен по всему побережью Крыма (от Каркинитского залива до Керченского пролива); он был представлен тремя видами: медузой *Aurelia aurita* и гребневиками *Pleurobrachia pileus* и *Mnemiopsis leidy*. Гребневик *Beroe ovata* Bruguère, 1789 наблюдался лишь несколько раз с борта судна — на станциях в халистатической области и у берегов Севастополя.

В Чёрном море медузы обнаружены на всех станциях. Их численность варьировала в пределах 2–160 экз.·м⁻², а биомасса — 1,2–5563,8 г·м⁻². Распределение *A. aurita* вдоль Крымского побережья было весьма неоднородным. Максимальная биомасса *A. aurita* составляла 5563,8 г·м⁻² [в Евпаторийско-Севастопольском районе на траверзе пос. Кача (ст. 48)]. На трёх глубинных станциях в халистатической области биомасса *A. aurita* достигала 900 г·м⁻² и была сходна с величинами на станциях внешнего шельфа (рис. 2А).

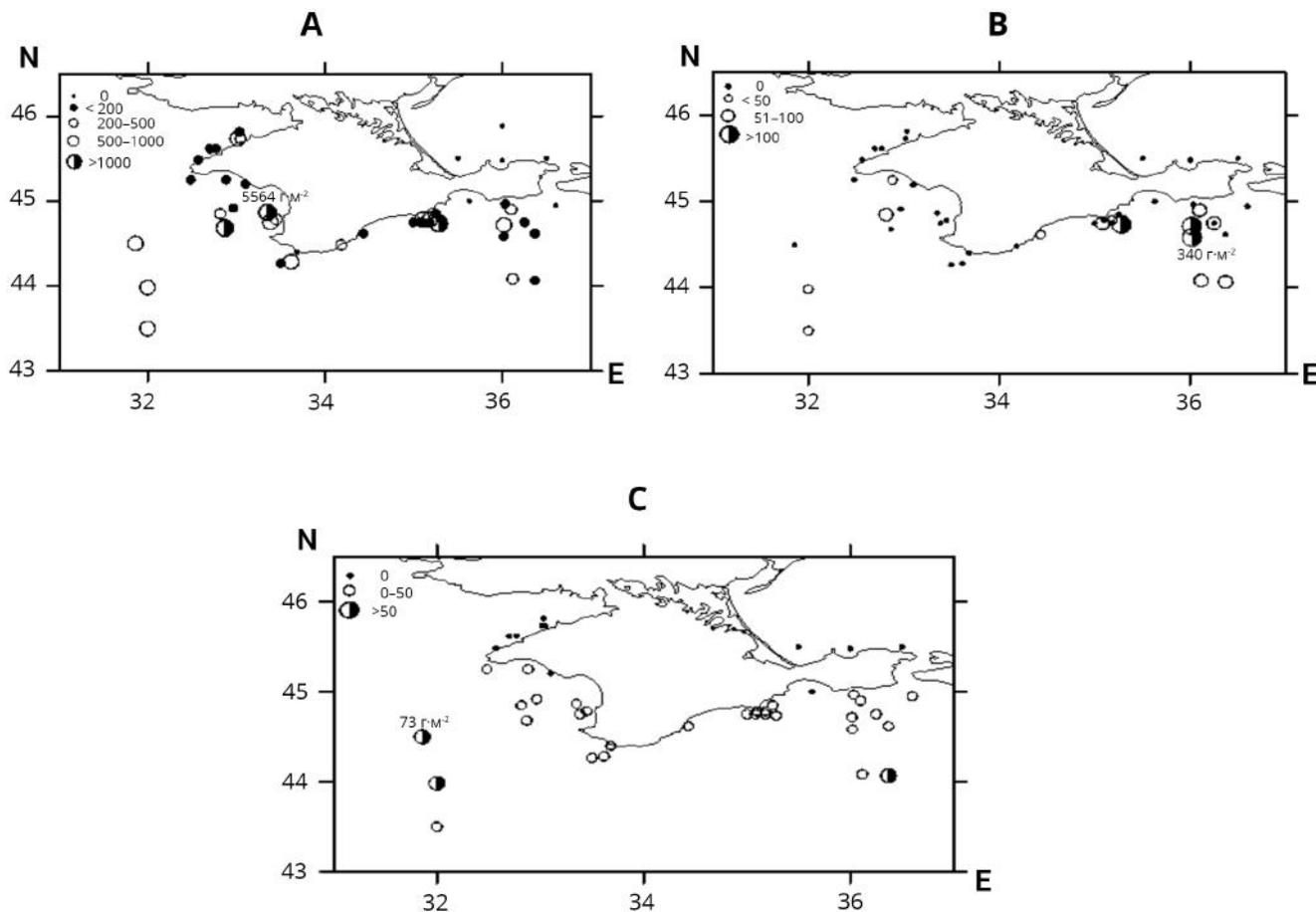


Рис. 2. Биомасса ($\text{г}\cdot\text{м}^{-2}$) *Aurelia aurita* (A), *Mnemiopsis leidyi* (B) и *Pleurobrachia pileus* (C) в июне 2016 г. в Чёрном море

Fig. 2. Biomass ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$) of *Aurelia aurita* (A), *Mnemiopsis leidyi* (B) и *Pleurobrachia pileus* (C) in June 2016 in the Black Sea

Размерная структура популяции медуз несколько различалась по районам. Так, в Евпаторийско-Севастопольском районе и в халистатической области популяция на 80 % состояла из среднеразмерных особей 11–50 мм, а доля более крупных животных составляла около 20 %. В остальных районах Крыма основная часть популяции была представлена животными двух размерных групп — 11–50 и 51–100 мм (рис. 3А).

Гребневик-вселенец *M. leidyi* отмечен только на 30 % станций и представлен единичными особями, численность которых варьировала в пределах 0,4–8,0 экз. $\cdot\text{м}^{-2}$, биомасса — 1,1–340,5 $\text{г}\cdot\text{м}^{-2}$. Максимальные значения биомассы (до 340,5 $\text{г}\cdot\text{м}^{-2}$) зафиксированы в восточной части Крыма на траверзе м. Опук. Относительно высокая биомасса мнемииопсиса при низкой численности (8 экз. $\cdot\text{м}^{-2}$) обусловлена присутствием крупных (52–76 мм) взрослых животных (рис. 2В).

Популяция *M. leidyi* представлена широким размерным спектром животных — от 7 до 76 мм. При этом наблюдалось чёткое разделение по районам исследования: в Каркинитском заливе и в Евпаторийско-Севастопольском районе преобладали личинки до 10 мм, во всех остальных районах популяция целиком была представлена крупными (> 30 мм) половозрелыми особями (рис. 3В). Таким образом, размножение *M. leidyi* начинается в западных шельфовых районах Крыма.

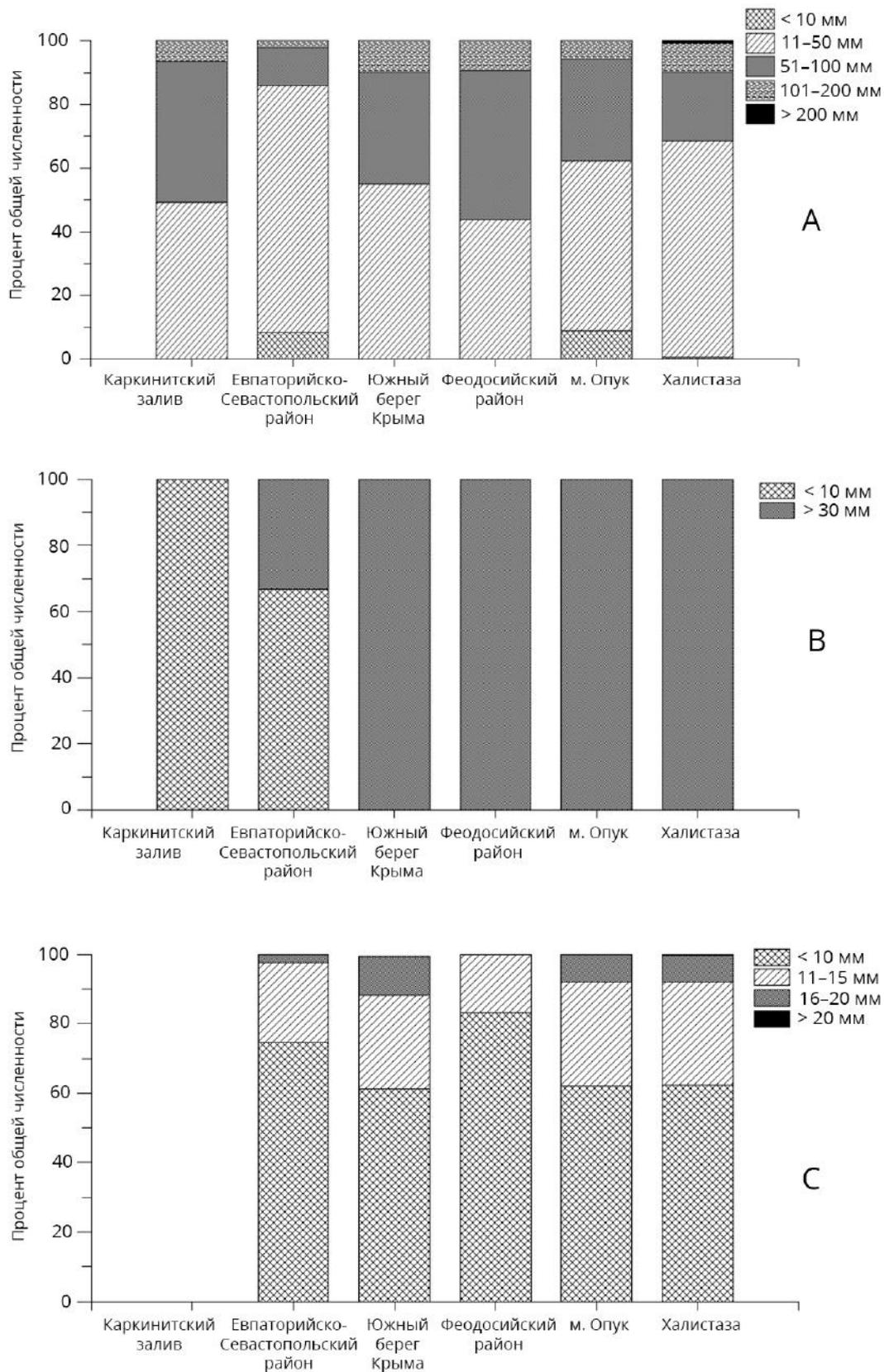


Рис. 3. Размерная структура популяции *Aurelia aurita* (A), *Mnemiopsis leidyi* (B) и *Pleurobrachia pileus* (C) в июне 2016 г. в Чёрном море

Fig. 3. Size structure of *Aurelia aurita* (A), *Mnemiopsis leidyi* (B) and *Pleurobrachia pileus* (C) populations in June 2016 in the Black Sea

Холодноводный гребневик *P. pileus* представлен почти повсеместно, с численностью 4–282 экз.·м⁻² и биомассой от < 1 до 73 г·м⁻², с относительно ровными значениями вдоль всего берега Крыма, кроме мелководного Каркинитского залива, где он отсутствовал (рис. 2С). Максимальные величины численности и биомассы отмечены на глубоководных станциях в халистатической области (до 73 г·м⁻²) и на глубоководной станции в районе м. Опук (до 50 г·м⁻²).

Во всех исследованных районах структура популяции *P. pileus* оказалась сходной. Преобладающей размерной группой (60–80 % общей численности) были животные до 10 мм, что говорит об интенсивном размножении в период наблюдений. Доля гребневиков диаметром 11–15 мм составляла около 30 %. Крупные животные (до 20 мм) присутствовали практически вдоль всего побережья Крыма, но в незначительном количестве (около 5 %) (рис. 3С).

Сравнение обилия отдельных видов желтелых по районам показало преобладание *P. pileus* по численности над другими видами. Между тем биомасса *A. aurita* намного превосходила биомассу других желтелых, составляя до 80–96 % во всех исследованных районах, кроме м. Опук (65 %) (табл. 1).

Биомасса медуз была максимальной в районах халистазы и в Евпаторийско-Севастопольском районе; в остальных исследуемых областях она была в 3 раза ниже и практически одинакова. В районе халистазы отмечалась и самая высокая биомасса *P. pileus*. Минимальной численностью и биомассой, практически одинаковой во всех районах, характеризовалась популяция *M. leidy*.

Таблица 1. Численность и биомасса желтелого макропланктона в различных районах Чёрного моря в июне 2016 г.

Table 1. Abundance and biomass of gelatinous macroplankton in different regions of the Black Sea in June 2016

Район	<i>Aurelia aurita</i>		<i>Mnemiopsis leidy</i>		<i>Pleurobrachia pileus</i>	
	экз.·м ⁻²	г·м ⁻²	экз.·м ⁻²	г·м ⁻²	экз.·м ⁻²	г·м ⁻²
Каркинитский залив	16,4 ± 8,4	220,9 ± 137,2	0,4 ± 0,4	0,3 ± 0,3	–	–
Евпаторийско-Севастопольский район	55,6 ± 14,9	1074,9 ± 615,5	0,6 ± 0,4	8,0 ± 8,3	74,5 ± 17,2	16,2 ± 3,6
Южный берег Крыма	14,4 ± 5,8	267,5 ± 145,6	0,4 ± 0,4	2,5 ± 2,5	49,2 ± 25,4	16,2 ± 7,9
Феодосийский район	16,0 ± 5,3	349,0 ± 167,2	0,8 ± 0,4	23,5 ± 17,2	33,0 ± 7,6	5,6 ± 1,1
Мыс Опук	16,8 ± 5,0	180,9 ± 65,0	2,4 ± 0,9	77,2 ± 35,3	68,2 ± 16,9	19,0 ± 6,4
Халистаза	56,3 ± 23,5	882,1 ± 53,7	0,5 ± 0,3	15,3 ± 8,2	227,0 ± 30,2	60,9 ± 7,6

Пищевой спектр *A. aurita*. Из 181 экз. около 70 % содержали пищу в гастральной полости. Наибольшим количеством «накормленных» было в области халистазы [(85,0 ± 1,0) %]. В других районах доля животных с наполненной гастральной полостью изменялась от (60,7 ± 34,4) до (77,0 ± 23,2) % и достоверно не отличалась от таковой в области халистазы ($p > 0,1$). Самая низкая доля питающихся животных с наибольшей дисперсией отмечалась в районе Каркинитского залива [(46,0 ± 45,1) %]. Пищевой спектр медуз был очень разнообразен. Он включал различные стадии копепода *Calanus euxinus* Huisemann, 1991, *Acartia clausi* Giesbrecht, 1889 + *A. tonsa* Dana, 1849, *Paracalanus parvus* Claus, 1863, *Pseudocalanus elongatus* Voeck, 1865; кладоцер *Pleopis polyphemoides* Leuckart, 1859; туникат *Oikopleura dioica* Fol, 1872, а также меропланктонные организмы — велигеры *Bivalvia* и *Gastropoda*.

Acartia sp. (*A. clausi* + *A. tonsa*) (рис. 4) в гастральной полости медуз отмечена во всех районах. Её количество достигало максимума на станциях Каркинитского залива и в районе халистазы (больше 30 % общего количества жертв). Различия в составе пищевых объектов чётко проявлялись по районам. Так, на западе (в Каркинитском заливе и востоке у м. Опук) 40–45 % организмов в гастральной полости по численности составляли диатомовые водоросли *Conscinodiscus granii*. В значительно меньшем количестве (3 %) они обнаружены в Феодосийском районе. Особенностью

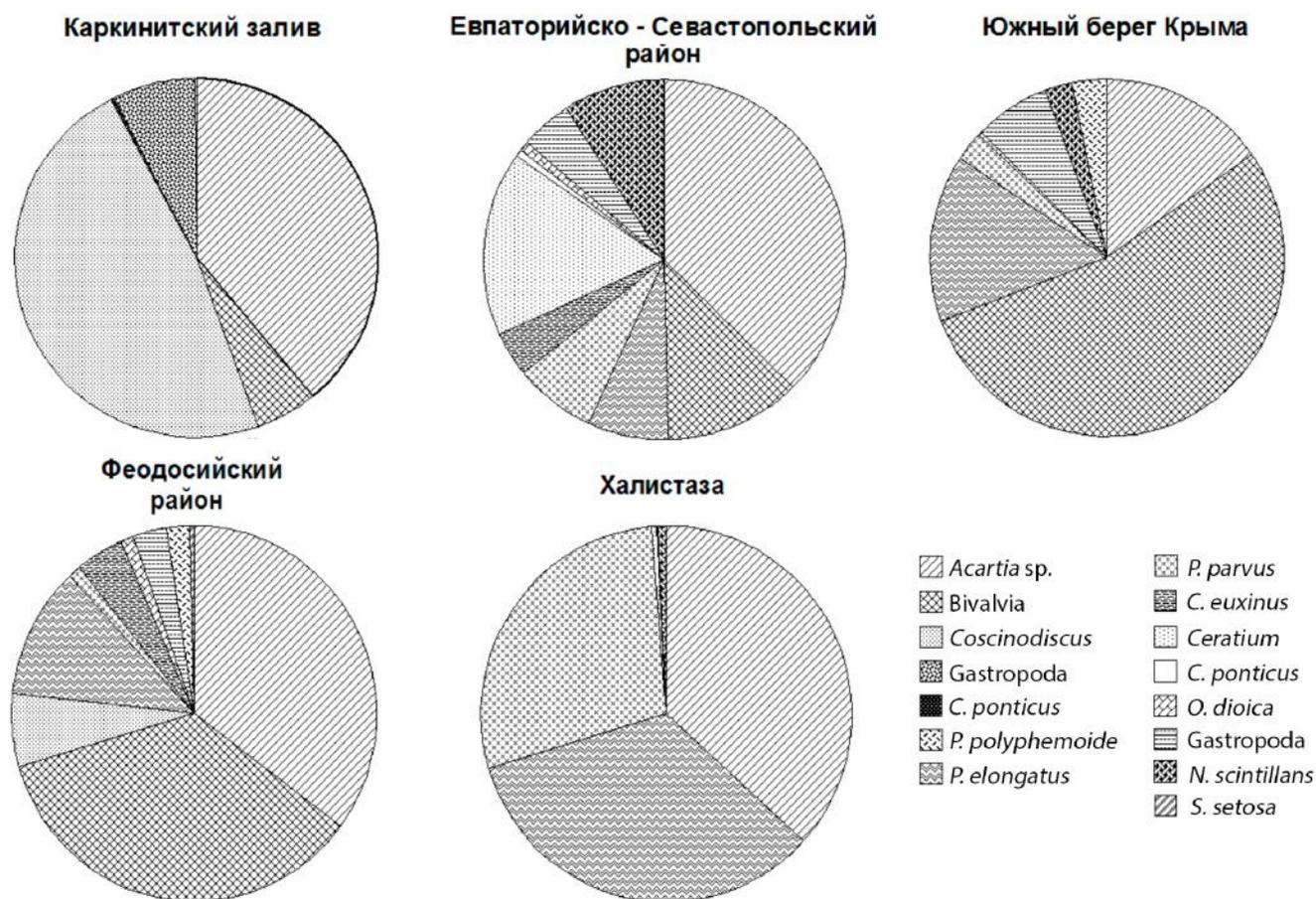


Рис. 4. Пищевой спектр *A. aurita* в различных районах Чёрного моря

Fig. 4. Food spectra of *A. aurita* in different regions of the Black Sea

Евпаторийско-Севастопольского района было наличие в пищевом комке *Ceratium* sp. Shrank, 1793 и *Noctiluca scintillans* Kofoid & Swezy, 1921. На станциях Феодосийского района и Южного берега Крыма до 20 и 40 % по численности соответственно составляли велигеры бивальвий. В других районах они либо отсутствовали, либо присутствовали в незначительном количестве. Халистатическая зона с большими глубинами характеризовалась самым широким спектром потреблённых планктонных Сорерода, где холодноводные виды *C. euxinus* и *P. elongatus* достигали 50 % общей численности жертв в гастральной полости. Следует отметить, что соотношение пищевых объектов по биомассе будет отличаться от соответствующих величин, рассчитанных по численности, из-за различий в индивидуальном весе. Так, доля *C. granii* в районе Каркинитского залива будет значительно ниже приведённых значений [(7,5 ± 6,3) %], а доля *C. euxinus* в халистазе — существенно выше [(70,1 ± 22,1) %]. Не выявлены достоверные различия между долей животных с пищей и без пищи в зависимости от размера животных (10–50 и 50–100 мм), в то время как доля питавшихся в халистатической области достоверно отличалась от таковой в других районах ($p = 0,05$). Среднее число питавшихся медуз составляло (92,6 ± 6,3) % в халистазе против (63,3 ± 33,8) % в других районах.

Количество жертв в гастральной полости, как и величина суточного рациона, не было связано ни с линейными размерами (диаметром), ни с содержанием углерода в теле животных (рис. 5, 6).

Среднесуточные удельные рационы в популяции изменялись в широких пределах от района к району, будучи самыми низкими в Каркинитском заливе [(1,6 ± 2,2) % С тела], где популяция была представлена крупными животными (табл. 2). Наиболее интенсивно питались животные в халистатической области [(0,687 ± 0,094) мг С·экз.⁻¹·сут⁻¹, или (56,2 ± 23,7) % С тела].

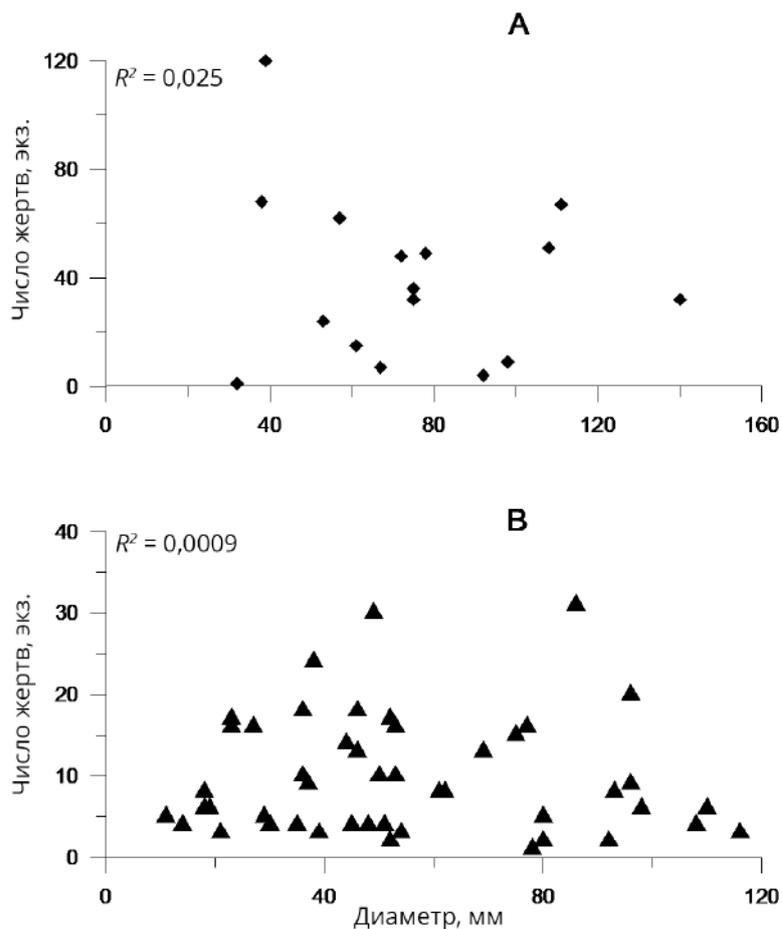


Рис. 5. Связь между количеством жертв в гастральной полости и диаметром купола *A. aurita*: А — Каркинитский залив, В — халистаза

Fig. 5. Relationship between prey number in gastric cavity and bell diameter of *A. aurita*: A – Karkinitsky Bay, B – halistaza

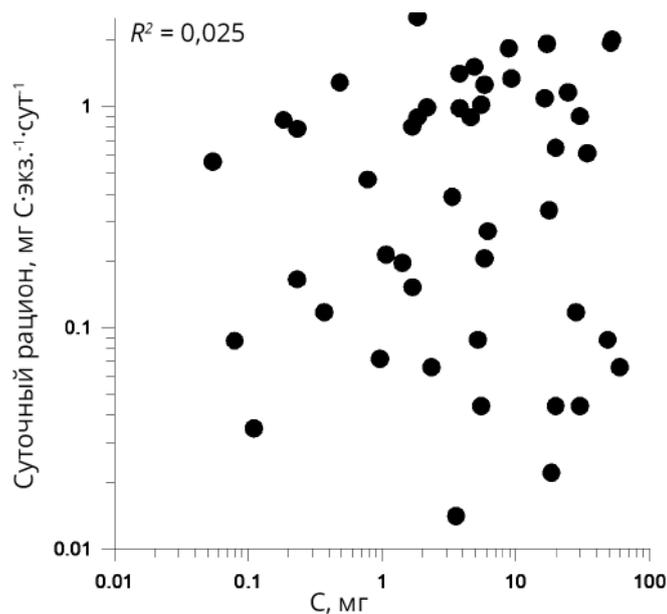


Рис. 6. Связь между суточным рационом и содержанием углерода в теле *A. aurita*

Fig. 6. Relationship between daily ration value and body carbon content in *A. aurita*

Таблица 2. Диаметр (D, мм), содержание углерода (C, мг), количество жертв в гастральной полости (N, экз.), суточный рацион (R, мг С·экз.⁻¹·сут⁻¹) и удельный суточный рацион (R/C, % экз.⁻¹·сут⁻¹) *A. aurita* в прибрежных и открытых районах Чёрного моря

Table 2. Diameter (D, mm), carbon content (C, mg), prey number in gastric cavity (N, ind.), daily ration (R, mg C·ind.⁻¹·day⁻¹) and specific daily ration (R/C, % ind.⁻¹·day⁻¹) of *A. aurita* in the Black Sea inshore and offshore areas

Район	n	D	C	N	R	R/C, %
Каркинитский залив	16	74,7 ± 7,4	23,7 ± 6,8	39,1 ± 7,8	0,43 ± 0,10	1,6 ± 2,2
Евпаторийско-Севастопольский район	23	38,4 ± 4,2	4,26 ± 1,44	7,1 ± 1,6	0,117 ± 0,030	10,0 ± 0,6
Южный берег Крыма	33	46,0 ± 3,8	6,43 ± 1,60	8,9 ± 1,3	0,098 ± 0,018	6,6 ± 1,9
Феодосийский район	10	56,9 ± 7,2	10,72 ± 4,73	6,9 ± 2,8	0,193 ± 0,068	9,3 ± 6,5
Мыс Опук	12	48,5 ± 5,5	6,53 ± 2,24	17,8 ± 4,4	0,474 ± 0,128	22,5 ± 13,7
Халистаза	47	54,8 ± 4,1	12,19 ± 2,29	9,7 ± 1,1	0,687 ± 0,094	56,2 ± 23,7

Примечание: n — количество измерений

Note: n is number of measurements

Сравнение количества потреблённой животными пищи с минимальными пищевыми потребностями, рассчитанными по скорости дыхания, показало, что ни в одном из районов *A. aurita* не может компенсировать затраты на дыхание за счёт потребления мезозoopланктона: пищевые потребности превышали суточный рацион в 1,7–15,3 раза в разных районах (табл. 3). Наиболее благоприятные условия для жизнедеятельности медуз складываются в глубоководной халистатической зоне, где, как указывалось, основу их пищевого рациона составляют *C. euxinus* на различных стадиях развития.

Таблица 3. Минимальные пищевые потребности (Q, мг С·экз.⁻¹·сут⁻¹) и суточные рационы (R, мг С·экз.⁻¹·сут⁻¹) *A. aurita* в шельфовых и глубоководных районах Чёрного моря

Table 3. Minimum food requirements (Q, mg C·ind.⁻¹·day⁻¹) and daily rations (R, mg C·ind.⁻¹·day⁻¹) of *A. aurita* in the Black Sea inshore and offshore areas

Район	WW	Q	R	Q/R
Каркинитский залив	23,96	1,732	0,43	4,0
Евпаторийско-Севастопольский район	3,22	1,321	0,117	2,7
Южный берег Крыма	13,69	1,089	0,098	11,0
Феодосийский район	13,31	1,057	0,193	5,5
Мыс Опук	9,65	0,807	0,474	1,7
Халистаза	15,05	1,172	0,687	1,7

Примечание: WW — сырой вес, г

Note: WW is wet weight, g

Рассчитанная на основе численности популяции медуз и величин суточных рационов скорость потребления мезозoopланктона субпопуляциями медуз в разных районах значительно различалась в зависимости от плотности популяции хищников и скорости их питания. Наиболее многочисленные субпопуляции *A. aurita* — на Евпаторийско-Севастопольском шельфе [(55,6 ± 14,9) экз.·м⁻²] и в халистатической области [(56,3 ± 23,5) экз.·м⁻²] — потребляли 6,5 и 55,6 мг С·м⁻²·сут⁻¹ соответственно. Между тем в остальных исследованных областях эти величины были значительно ниже — от 1,57 до 3,09 мг С·м⁻²·сут⁻¹. Исключением стал район м. Опук — 8,53 мг С·м⁻²·сутки⁻¹ (табл. 4).

Как следует из табл. 4, наибольший пресс на zooplankton оказывала популяция медуз в западных районах шельфа (Каркинитский залив и Евпаторийско-Севастопольский район) (наименьшее время полужизни zooplanktona), более слабый и примерно равный — в районе Южного берега, м. Опук и в глубоководной области. На востоке Крымского шельфа (Феодосийский район) выедание zooplanktona популяцией *A. aurita* было незначительным. Во всех исследованных районах время

Таблица 4. Потребление зоопланктона и время полужизни зоопланктона при потреблении его популяцией *Aurelia aurita* в шельфовых и открытых районах Чёрного моря: R_{ind} , мг С·экз.⁻¹·сут⁻¹ — суточный рацион особи; R_{pop} , мг С·м⁻²·сут⁻¹ — суточный рацион популяции

Table 4. Consumption of zooplankton and half-life of zooplankton under its consumption by *Aurelia aurita* population in inshore and offshore areas of the Black Sea: R_{ind} , mg C·ind.⁻¹·day⁻¹ – individual daily ration; R_{pop} , mg C·m⁻²·day⁻¹ – population daily ration

Район	Численность, экз.·м ⁻²	R_{ind}	R_{pop}	Время полужизни зоопланктона, дни
Каркинитский залив	16,4 ± 8,4	0,43 ± 0,100	2,743 ± 0,432	50 ± 27
Евпаторийско-Севастопольский район	55,6 ± 14,9	0,117 ± 0,030	6,505 ± 1,624	90 ± 28
Южный берег Крыма	14,4 ± 5,8	0,098 ± 0,018	1,57 ± 0,332	134 ± 75
Феодосийский район	16,0 ± 5,3	0,193 ± 0,068	3,088 ± 0,617	357 ± 111
Мыс Опук	16,8 ± 5,0	0,474 ± 0,128	8,532 ± 1,723	176 ± 37
Халистаза	56,3 ± 23,5	0,687 ± 0,094	55,61 ± 7,700	137 ± 41

полужизни зоопланктона значительно превышало время генерации основной пищи — копепод (около 21 суток при +20 °С). Следовательно, их пищевой пресс на мезопланктон был низок и не мог привести к кардинальному сокращению численности зоопланктонного сообщества.

Исследования питания *Mnemiopsis leidy*. Так как *M. leidy* встречался в пробах единично, питание было проанализировано лишь у 3 экз. — взрослых половозрелых животных с орально-аборальной длиной 52–55 мм. Основные пищевые объекты — разные стадии рачкового зоопланктона (*Acartia* sp., *P. elongatus*, *P. parvus*, *P. polyphemoides*) и велигеры бивальвий. Количество жертв в гастральной полости изменялось от 2 до 49 экз.; в последнем случае 85 % составляли велигеры бивальвий. Абсолютные суточные рационы гребневиков были невысокими (от 0,126 до 0,543 мг С·экз.⁻¹·сут⁻¹), как и величины удельных рационов (0,64–2,24 % С тела). Это, безусловно, значительно ниже их минимальных пищевых потребностей.

ОБСУЖДЕНИЕ

Приводимые в литературе материалы по количественному развитию, горизонтальному распределению и питанию желтелых в разных районах Чёрного моря обнаруживают сходные тенденции с полученными нами на шельфе Крымского полуострова.

В 1980-е гг. (до вселения *M. leidy*) высокая биомасса *A. aurita* отмечалась по всему морю, с максимальными величинами (около 1500 г·м⁻²) в северо-западной части Чёрного моря [26]. После вселения *M. leidy* она уменьшилась до 125 и даже до 30 г·м⁻² [20]. Вселение *B. ovata* и снижение численности *M. leidy* сопровождалось увеличением обилия медуз. В июне — июле 1996 г. в южной глубоководной области Чёрного моря у берегов Турции максимальная численность и биомасса *A. aurita* достигали величин 180 экз.·м⁻² и 900 г·м⁻² соответственно [20]. В западных прибрежных водах величины биомассы превышали таковые в восточных благодаря наличию нескольких мест размножения у Стамбула и Эрегли. В июне 2006 г. в западных опреснённых районах моря *A. aurita* также характеризовалась высокой численностью (> 20 экз.·м⁻²) и биомассой (> 500 г·м⁻²). В мае 2007 г. основная область распространения *A. aurita* сдвинулась на восток; самые высокие значения численности и биомассы (138 экз.·м⁻² и 1600 г·м⁻²) отмечались в юго-восточной области [22].

В шельфовой зоне Чёрного моря у Севастополя увеличение биомассы *A. aurita* наблюдалось с 2008 г. [1, 2]. В 2009–2010 гг. в этом районе биомасса *A. aurita* достигала максимальной величины 1000 и 1700 г·м⁻² в весенние месяцы соответственно и была выше, чем в предыдущие годы (265–965 г·м⁻²). Среднегодовая биомасса *A. aurita* составляла около 400 г·м⁻². Близкие среднегодовые величины (340 г·м⁻²) обнаружены в северо-восточной части Чёрного моря в 2011–2012 гг. [12].

Общей чертой сезонной динамики биомассы во все годы было наличие максимума в весенние месяцы, что связано, по-видимому, с завершением годового цикла роста *A. aurita* и с достижением максимальных размеров.

В целом литературные и собственные данные свидетельствуют об увеличении биомассы медузы *A. aurita* в последние годы.

Биомасса *M. leidy* в 1989–1990 гг. превосходила биомассу *A. aurita*. Структурные изменения в макропланктонном сообществе особенно сильно проявились в первые годы после вселения *B. ovata* (1999–2008) (за счёт хищничества последнего), а также с 2009–2010 гг., когда драйвером развития популяций желетелых послужили, вероятно, климатические условия [19]. Характер сезонного развития популяции *M. leidy* определяется температурными условиями и сроками появления в планктоне гребневика *B. ovata*. Как правило, в начале лета (июнь) *M. leidy* редко встречается в планктоне. Его массовое развитие наблюдается в летние месяцы при прогревании воды выше +22 °С. В июне 2006 г. *M. leidy* был обнаружен только в юго-западной области турецкой акватории Чёрного моря и практически отсутствовал в восточной [22]. В мае 2007 г. он присутствовал лишь у Босфора; его численность и биомасса были низкими (1,7 экз·м⁻² и 27,4 г·м⁻² соответственно). В июне 2009–2014 гг. на шельфе Крыма его численность составляла около 5 экз·м⁻², а биомасса — около 90 г·м⁻². Исключением стал 2013 г.: высокая численность (417 экз·м⁻²) наблюдалась при той же биомассе как результат раннего размножения (в это время 20 % общей численности составляли личинки и взрослые половозрелые животные и 80 % — переходные стадии). В июне в другие годы, как и в 2016 г., в исследованных районах размножение гребневиков только начиналось или отсутствовало вовсе [1, 19].

В течение 1988–1990 гг. сезонная и межгодовая биомасса *P. pileus* в глубоководных районах Чёрного моря изменялась в узких пределах, в среднем составляя 70–100 г·м⁻² [20]. После 1994 г. биомасса *P. pileus* находится на среднем уровне 50–100 г·м⁻² (у нас в июне — от 6 до 20 г·м⁻² в прибрежье и 60 г·м⁻² в халистазе).

В июне 2006 г. диапазон изменения численности и биомассы *P. pileus* в южных районах Чёрного моря в раннелетний период в среднем составлял 220 экз·м⁻² и 70–90 г·м⁻². По-видимому, отсутствие больших сезонных и межгодовых колебаний в развитии популяции *P. pileus* является результатом достаточно стабильных условий его обитания.

Горизонтальное распределение *A. aurita* и *M. leidy* — намного более пятнистое, чем таковое *P. pileus*, обитающей на глубине. Это объясняется, вероятно, тем, что течения в глубоководной части моря менее выражены, чем в поверхностном слое [5]. Основной пищевой объект *P. pileus* — *Calanus euxinus* — обитает также в глубоких водах, что обуславливает высокую численность холодноводного гребневика в этих районах (в нашем случае — м. Опук и халистаза) и, напротив, его отсутствие в Каркинитском заливе. Более мелкие копеподы и велигеры бивальвий развиваются в большом количестве в поверхностном слое прибрежных районов и обеспечивают развитие *A. aurita* и *M. leidy*.

Исследования пищевого спектра *A. aurita* на шельфе Крыма у Севастополя и в южных районах показали практически полное сходство с таковым, выявленным нами в раннелетний период вдоль всего Крымского побережья. Наиболее предпочитаемые пищевые объекты — личиночные стадии декапод, икра и ранние личиночные стадии рыб, велигеры бивальвий и *Paracalanus parvus* из копепод. Избирательность *Oithona similis* и *Cladocera Penilia avirostris* обычно ниже, чем таковая зоопланктона в целом. Пищевой спектр меняется с ростом размеров хищников со сдвигом в сторону более крупных жертв. В отдельные периоды в пищевом комке отмечено присутствие *Noctiluca scintillans*, *Ceratium fusus* и *Coscinodiscus janishi* [11].

Исследования на шельфе Севастополя показали, что доля питающихся медуз наиболее низка в мае — июне [11]. В наших исследованиях доля питающихся медуз была высокой (80–100 %) во все исследованные сезоны во всех районах [9, 10], кроме Каркинитского залива в раннелетний период (40 %).

Нами показано, что пищевой пресс популяции *A. aurita* на мезопланктон во всех исследованных районах был низок и не мог привести к кардинальному сокращению численности зоопланктонного сообщества. К такому же выводу приходят и [26], установившие, что даже в годы своего максимального развития (1980-е) *A. aurita* могли потреблять лишь 5–7 % биомассы зоопланктона в сутки, или 50–70 % его суточной продукции. Отсутствие корреляции между биомассой желетелых хищников и биомассой мезопланктона и его отдельных таксономических групп [12] подтверждает наше заключение.

Выводы:

1. Желетелый макропланктон в раннелетний период (июнь) на шельфе Крыма и в глубоководной области Чёрного моря был представлен одним видом медуз (*A. aurita*) и двумя видами гребневиков (*M. leidyi* и *P. pileus*). По численности доминировал гребневик *P. pileus* (до 282 экз.·м⁻²); по биомассе преобладала *A. aurita* (до 5563 г·м⁻²).
2. Установлены пространственные различия в пищевом спектре *A. aurita*: наряду с разными стадиями рачкового планктона в Каркинитском заливе и в районе м. Опук, более 40 % общей численности жертв составляли водоросли *C. granii*. Халистатическая зона с большими глубинами характеризовалась максимально широким видовым составом планктонных Copepoda, где холодноводные виды *C. euxinus* и *P. elongatus* составляли до 50 % общей численности жертв в гастральной полости *A. aurita*.
3. Среднесуточные рационы медуз изменялись в широких пределах от района к району, будучи самыми низкими в Каркинитском заливе [(0,113 ± 0,10) мг С·экз.⁻¹·сутки⁻¹, или (1,6 ± 2,18) % С тела], где большую долю пищи составляли водоросли *C. granii*. Наиболее интенсивно питались животные в халистатической области [(0,687 ± 0,094) мг С·экз.⁻¹·сутки⁻¹, или (56,2 ± 23,7) % С тела].
4. Ни в одном из районов *A. aurita* не могла компенсировать затраты на дыхание за счёт потребления мезозоопланктона: пищевые потребности превышали суточный рацион в 1,7–15,3 раза в разных районах. Наибольший пресс на зоопланктон оказывала популяция медуз в Каркинитском заливе и в Евпаторийско-Севастопольском районе, хотя на всём исследованном шельфе её пресс был очень низок и не мог привести к кардинальному сокращению численности зоопланктонного сообщества.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ИМБИ по теме «Функциональные, метаболические и токсикологические аспекты существования гидробионтов и их популяций в биотопах с различным физико-химическим режимом» (№ гос. регистрации АААА-А18-118021490093-4) и при частичной поддержке проекта РФФИ и г. Севастополя р_а 18-44-920022 «Отклик черноморской пелагической экосистемы на изменение климата в регионе (на примере медуз, гребневиков и мелких пелагических рыб)».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Аболмасова Г. И., Финенко Г. А., Романова З. А., Дацьк Н. А., Аннинский Б. Е. Состояние желе-телого макрозоопланктона в шельфовой зоне крымского побережья Черного моря в 2009–2010 гг. // *Морской экологический журнал*. 2012. Т. 11, № 3. С. 17–24. [Abolmasova G. I., Finenko G. A., Romanova Z. A., Datsyk N. A., Anninky B. E. Condition of gelatinous macrozooplankton in inshore zone of the Black Sea off the Crimean coast in 2009–2010. *Morskoy ekologicheskij zhurnal*, 2012, vol. 11, no. 3, pp. 17–24. (in Russ.)]
2. Аннинский Б. Е., Аболмасова Г. И., Дацьк Н. А. Влияние желетелых хищников на кормовую базу мелких пелагических рыб. Выедание мезозоопланктона медузой *Aurelia aurita* L. в Черном море // *Промысловые биоресурсы Черного и Азовского морей* / ред. В. Н. Еремеев, А. В. Гаевская, Г. Е. Шульман, Ю. А. Загородняя. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2011. С. 276–283. [Anninsky B. E., Abolmasova G. I., Datsyk N. A. Effect of gelatinous predators on forage reserve of small pelagic fish. Consumption of mesozooplankton by jellyfish *Aurelia aurita* L. in the Black Sea. In:

- Biological resources of the Black Sea and Sea of Azov* / V. N. Ereemeev, A. V. Gaevskaya, G. E. Shulman, Ju. A. Zagorodnyaya (Eds). Sevastopol: EKOSI-Gidrofizika, 2011, pp. 276–283. (in Russ.)]
3. Винберг Г. Г. *Интенсивность обмена и пищевые потребности рыб*. Минск : Изд-во Белгосуниверситета, 1956. 254 с. [Winberg G. G. *Intensivnost obmena i pishchevye potrebnosti ryb*. Minsk: Izd-vo Belgosuniversiteta, 1956, 254 p. (in Russ.)]
 4. Водяницкий В. А. О естественно-историческом районировании Черного моря и в частности у берегов Крыма // *Труды Севастопольской биологической станции*. 1949. Т. 7. С. 249–255. [Vodyanitsky V. A. O estestvenno-istoricheskom raionirovanii Chernogo morya i v chastnosti u beregov Kryma. *Trudy Sevastopolskoi biologicheskoi stantsii*, 1949, vol. 7, pp. 249–255. (in Russ.)]
 5. Иванов В. А., Белокопытов В. Н. *Океанография Черного моря* / НАН Украины, Морской гидрофизический институт. Севастополь, 2011. 212 с. [Ivanov V. A., Belokopytov V. N. *Okeanografiya Chernogo morya* / NAN Ukrainy, Morskoj gidrofizicheskii institut. Sevastopol, 2011, 212 p. (in Russ.)]
 6. Финенко Г. А., Романова З. А. Популяционная динамика и энергетика гребневика *Mnemiopsis leidyi* в Севастопольской бухте // *Океанология*. 2000. Т. 40, вып. 5. С. 720–729. [Finenko G. A., Romanova Z. A. Population Dynamics and Energetics of the Ctenophore *Mnemiopsis leidyi* in Sevastopol Bay. *Okeanologiya*, 2000, vol. 40, iss. 5, pp. 720–729. (in Russ.)]
 7. Финенко Г. А., Романова З. А., Аболмасова Г. И., Дацык Н. А., Аннинский Б. Е. Влияние условий питания на скорость потребления и переваривания пищи у лопастного гребневика *Mnemiopsis leidyi* // *Морской экологический журнал*. 2005. Т. 4, № 1. С. 75–83. [Finenko G. A., Romanova Z. A., Abolmasova G. I., Datsyk N. A., Anninsky B. E. Effect of food conditions on ingestion rate and digestion time in lobate ctenophore *Mnemiopsis leidyi*. *Morskoj ekologicheskij zhurnal*, 2005, vol. 4, no. 1, pp. 75–83. (in Russ.)]
 8. Финенко Г. А., Романова З. А., Аболмасова Г. И., Дацык Н. А., Аннинский Б. Е. *Mnemiopsis leidyi*: скорость питания гребневиков в море и пищевой пресс популяции на кормовой зоопланктон // *Морской экологический журнал*. 2010. Т. 9, № 1. С. 73–83. [Finenko G. A., Romanova Z. A., Abolmasova G. I., Datsyk N. A., Anninsky B. E. *Mnemiopsis leidyi*: ingestion rate of the ctenophores in the sea and predatory impact of the population on forage zooplankton. *Morskoj ekologicheskij zhurnal*, 2010, vol. 9, no. 1, pp. 73–83. (in Russ.)]
 9. Финенко Г. А., Дацык Н. А., Аннинский Б. Е. Пространственное распределение и питание желетелых хищников в прибрежных районах Крыма в зимний период 2016 г. // *Морской биологический журнал*. 2016. Т. 1, № 3. С. 42–49. [Finenko G. A., Datsyk N. A., Anninsky B. E. Spatial distribution and feeding rate of gelatinous predators in inshore areas of Crimean coast in winter 2016. *Morskoj biologicheskij zhurnal*, 2016, vol. 1, no. 3, pp. 42–49. (in Russ.)]. <https://doi.org/10.21072/mbj.2016.01.3.07>
 10. Финенко Г. А., Аннинский Б. Е., Дацык Н. А. Пространственное распределение, структура популяций желетелых хищников и пищевой пресс на зоопланктонное сообщество в прибрежных районах Крымского побережья Черного моря. // *Журнал Сибирского федерального университета* (в печати). [Finenko G. A., Anninsky B. E., Datsyk N. A. Prostranstvennoe raspredelenie, struktura populyatsii zheletelykh khishchnikov i pishchevoi press na zooplanktonnoe soobshchestvo v pribrezhnykh raionah Chernogo morya. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta* (in press).]
 11. Anninsky B. E. Organic composition and ecological energetics of jellyfish *Aurelia aurita* L. (Cnidaria, Scyphozoa) under the Black Sea conditions. In: *Trophic relationships and food supply of heterotrophic animals in the pelagic ecosystem of the Black Sea* / G. E. Shulman, B. Öztürk, A. Kideys, G. A. Finenko, L. Bat (Eds). Istanbul, Turkey: Black Sea Commission Publications, 2009, pp. 99–160.
 12. Arashkevich E. G., Louppova N. E., Nikishina A. B., Pautova L. A., Chasovnikov V. K., Drits A. V., Podymov O. I., Romanova N. D., Stanichnaya R. R., Zatsepin A. G., Kuklev S. B., Flint M. V. Marine environmental monitoring in the shelf zone of the Black Sea. Assessment of the current state of the pelagic ecosystem. *Oceanology*, 2015, vol. 55, iss. 6, pp. 871–876. <https://doi.org/10.1134/S0001437015060016>
 13. Brotz L., Cheung W. W. L., Kleisner K., Pakhomov E. Increasing jellyfish populations: trends in Large Marine Ecosystems. *Hydrobiologia*, 2012, vol. 690, iss. 1, pp. 3–20. <https://doi.org/10.1007/s10750-012-1039-7>
 14. Condon R. H., Graham W. M., Duarte C. M., Pitt K., Lucas C. H., Steven H. D., Sutherland H. K.,

- Robinson R. K. L., Dawson M. N., Decker M. B., Mills C., Purcell J. E., Malej A., Mianzan H., Uye S., Gelcich S., Madin L. P. Questioning the rise of gelatinous zooplankton in the world's oceans. *BioScience*, 2012, vol. 62, iss. 2, pp. 160–169. <https://doi.org/10.1525/bio.2012.62.2.9>
15. Condon R. H., Duarte C. M., Pitt K. A., Robinson K., Lucas C. H., Sutherland K. R., Mianzan H. W., Bogeberg M., Purcell J. E., Decker M. B., Uye S., Madin L. P., Brodeur R. D., Haddock S. H. D., Malej A., Parry G. D., Eriksen E., Quiñones J., Acha M., Harvey M., Arthur J. M., Graham W. M. Recurrent jellyfish blooms are a consequence of global oscillations. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United State of America*, 2013, vol. 110, iss. 3, pp. 1000–1005. <https://doi.org/10.1073/pnas.1210920110>
 16. Hansson J., Moeslund O., Kiørboe T., Riisgard H. U. Clearance rates of jellyfish and their potential predation impact on zooplankton and fish larvae in a neritic ecosystem (Limfjorden, Denmark). *Marine Ecology Progress Series*, 2005, vol. 304, pp. 117–131. <http://dx.doi.org/10.3354/meps304117>
 17. Finenko G. A., Anninsky B. E., Abolmasova G. I., Romanova Z. A., Datsyk N. A., Kideys A., Bat L. Functional role of the ctenophores – invaders *Mnemiopsis leidyi* Agassiz and *Beroe ovata* Mayer in the inshore planktonic communities. In: *Trophic relationships and food supply of heterotrophic animals in the pelagic ecosystem of the Black Sea* / G. E. Shulman, B. Öztürk, A. Kideys, G. A. Finenko, L. Bat (Eds). Istanbul, Turkey: Black Sea Commission Publications, 2009, pp. 165–221.
 18. Finenko G. A., Abolmasova G. I., Romanova Z. A., Datsyk N. A., Anninskii B. E. Population dynamics of the Ctenophore *Mnemiopsis leidyi* and its impact on the zooplankton in the coastal regions of the Black Sea of the Crimean coast in 2004–2008. *Oceanology*, 2013, vol. 53, iss. 1, pp. 80–88. <https://doi.org/10.1134/S0001437012050074>
 19. Finenko G. A., Anninsky B. E., Datsyk N. A. *Mnemiopsis leidyi* A. Agassiz 1865 (Ctenophora, Lobata) in the inshore areas of the Black Sea: 25 years after its outbreak. *Russian Journal of Biological Invasions*, 2018, vol. 9, no. 1, pp. 86–93. <https://doi.org/10.1134/S207511718010071>
 20. Kideys A., Romanova Z. Distribution of gelatinous macrozooplankton in the Southern Black Sea during 1997–1999. *Marine Biology*, 2001, vol. 139, iss. 3, pp. 535–547. <https://doi.org/10.1007/s002270100602>
 21. Møller L. F., Riisgard H. U. Feeding, bioenergetics and growth in the common jellyfish *Aurelia aurita* and two hydromedusae, *Sarsia tubulosa* and *Aequorea vitrina*. *Marine Ecology Progress Series*, 2007, vol. 346, pp. 167–177. <https://doi.org/10.3354/meps06959>
 22. Mutlu E. Distribution and abundance of ctenophores and their zooplankton food in the Black Sea. II. *Mnemiopsis leidyi*. *Marine Biology*, 1999, vol. 135, iss. 4, pp. 603–613. <https://doi.org/10.1007/s002270050661>
 23. Purcell J. E., Uye S., Lo W.-T. Anthropogenic causes of jellyfish blooms and direct consequences for humans: a review. *Marine Ecology Progress Series*, 2007, vol. 350, pp. 153–174. <https://doi.org/10.3354/meps07093>
 24. Purcell J. E. Jellyfish and ctenophore blooms coincide with human proliferations and environment perturbation. *Annals Review Marine Science*, 2012, vol. 4, pp. 209–235. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-120709-142751>
 25. Richardson A. J., Bakun A., Hays G. C., Gibbons M. J. The jellyfish joyride: causes, consequences and management responses to more gelatinous future. *Trends in Ecology & Evolution*, 2009, vol. 24, iss. 6, pp. 312–322. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.01.010>
 26. Shushkina E. A., Arnautov G. N. Quantitative distribution of the medusa *Aurelia aurita* and its role in the Black Sea ecosystem. *Oceanology*, 1985, vol. 25, iss. 1, pp. 102–105.

SPATIAL VARIABILITY AND TROPHIC CHARACTERISTICS OF JELLYFISH POPULATIONS IN THE CRIMEA MARINE AREA IN SUMMER

G. A. Finenko, N. A. Datsyk, **S. M. Ignatyev**, and B. E. Anninsky

Kovalevsky Institute of Marine Biological Research RAS, Sevastopol, Russian Federation

E-mail: gfinenko@gmail.com

The existence of two alternative points of view on the long-term dynamics of gelatinous macroplankton populations in the World Ocean determines the need for long-term monitoring as a basis for assessing their condition. The accumulation of long-term series of data on the development of gelatinous predators in the Black Sea makes it possible to assess their role in the functioning of the pelagic ecosystem in connection with climatic variability. The abundance, biomass, the size structure of the gelatinous predators (jellyfish *Aurelia aurita*; ctenophores *Mnemiopsis leidyi* and *Pleurobrachia pileus*) and the feeding intensity of the two species (*A. aurita* and *M. leidyi*) were investigated in the early summer period (June) of 2016 at 45 stations covering the shelf zone off the coast of Crimea from Cape Tarkhankut to Kerch, as well as at 3 stations of the deepwater area with the coordinates 44°23'N–45°5'N and 32°22'E–36°36'E. The material was collected from the bottom (10–100 m) up to the surface at the inshore stations and from the depth with $\sigma_t = 16.2$ to the surface – in deepwater by vertical trawls with modified Bogorov – Russ net with an inlet diameter of 80 cm, a mesh of 300 μm . The nutritional spectrum and its quantitative composition were determined under a microscope in the laboratory immediately after the catch of animals, followed by the calculation of diurnal rations and the rate of ingestion of zooplankton. Spatial differences in abundance of gelatinous species were observed: the maximum biomass of *A. aurita*, prevailing in all regions, was observed in the Yevpatoriya – Sevastopol region and was due to large accumulations of middle-sized specimens of new generation. Ctenophora *P. pileus* dominated in the abundance in the halistatic zone. The food spectrum of jellyfish was very diverse and included various stages of Copepoda, Tunicata, Cladocera, and also the meroplankton – the Bivalvia and Gastropoda veligers. The halistatic zone with great depths was characterized by the widest species composition of planktonic Copepoda in *A. aurita* food. The average daily rations of jellyfish varied from one region to another, being the lowest in the Karkinitzky Bay [(0.113 \pm 0.10) mg C⁻¹·day⁻¹, or (1.6 \pm 2.18) % of C body] with most of the food being algae *C. granii*. The most intensive feeding was in the halistatic zone [(56.2 \pm 23.7) % of C body] with a predominance of *Calanus euxinus* and *Pseudocalanus elongatus* in the diet. In no region *A. aurita* can compensate the respiration requirements by the consumption of mesozooplankton. The highest impact on zooplankton was provided by jellyfish population in the Karkinitzky Bay and in the Yevpatoriya – Sevastopol region, although along all the shelf its impact was very low and did not lead to a dramatic reduction in the zooplankton community abundance.

Keywords: jellyfish, *Aurelia aurita*, abundance, biomass, daily ration, food requirements



УДК 581.132.1:551.501.86(262.5)

ДИНАМИКА КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛОРОФИЛЛА *a* В ЧЁРНОМ МОРЕ ПО СПУТНИКОВЫМ ИЗМЕРЕНИЯМ

© 2019 г. З. З. Финенко¹, И. М. Мансурова¹, В. В. Суслин²

¹Институт морских биологических исследований имени А. О. Ковалевского РАН, Севастополь, Россия

²Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия

E-mail: zosim_finenko@mail.ru

Поступила в редакцию 23.10.2018; после доработки 21.01.2019;
принята к публикации 22.05.2019; опубликована онлайн 24.06.2019.

В отличие от контактных методов, использование спутниковых данных для изучения динамики хлорофилла *a* даёт возможность проводить исследования на больших масштабах с высокой частотой измерений. Такие наблюдения выполнены в глубоководной части и прибрежном районе Чёрного моря в период с 1998 по 2015 г. Они позволили определить годовую динамику концентрации хлорофилла *a* в поверхностном слое и выявить периодичность, интенсивность и продолжительность массового развития водорослей. Годовая динамика концентрации хлорофилла в западном и восточном циклонических круговоротах, а также в зоне шельфа у крымских и кавказских берегов имела одинаковый характер, повторяющийся из года в год. С августа-сентября по апрель-маю следующего года изменение хлорофилла в большинстве случаев соответствовало нормальному распределению и имело вид колоколообразной кривой с максимумом в декабре-январе. В течение осеннего периода значения концентрации хлорофилла постепенно повышались по мере охлаждения воды, ослабления сезонного пикноклина и увеличения скорости потока биогенных веществ из нижних слоёв к поверхности. Зимой глубина перемешиваемого слоя достигала значений, в несколько раз больших, чем осенью, что могло приводить к уменьшению концентрации хлорофилла в единице объёма воды. Весеннее интенсивное развитие фитопланктона наблюдалось в конце марта — начале апреля при ослаблении конвективного перемешивания и повышении устойчивости водного столба.

Ключевые слова: хлорофилл *a*, спутниковые измерения, Чёрное море, фитопланктон

В Чёрном море проведено большое количество исследований пространственной и временной изменчивости концентрации хлорофилла *a* (далее в тексте для словосочетания «концентрация хлорофилла *a*» используется «Хл») [6, 12, 24]. Обобщение результатов показывает, что в глубоководных районах моря Хл в течение года изменяется по единой схеме: относительно высокие концентрации наблюдаются в холодное время года при температуре воды ниже +15 °С, минимальные — летом. В прибрежных районах характер сезонных изменений более разнообразен: как правило, исследователи отмечают несколько всплесков фитопланктона в течение года [2, 10]. Эти результаты получены путём осреднения разрозненных измерений, выполненных в ограниченных акваториях в разные годы и сезоны. Такие данные не учитывают межгодовые сезонные колебания, их трудно экстраполировать на другие физико-географические районы моря. Высокая вариабельность данных требует проведения исследований на больших масштабах с высокой частотой измерений, чего трудно достигнуть в экспедиционных условиях. Использование спутниковых наблюдений для изучения динамики Хл позволяет избежать многих сложностей, связанных с частотой измерений и с пространственным разрешением. В отличие от авторов ранее опубликованных

работ [12, 14], мы использовали данные трёх спутников, что позволило существенно уменьшить потерю информации, связанную с облачностью, особенно в зимний период, и более точно описать динамику Хл.

Цель работы — определить динамику концентрации хлорофилла *a*, периодичность, интенсивность и продолжительность массового развития водорослей в различных физико-географических районах Чёрного моря.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Для расчёта Хл в поверхностном слое использованы данные второго уровня, полученные с помощью приборов SeaWiFS (1998–2010) и MODIS-Aqua/Terra (2000–2015). Методика восстановления Хл по данным этих спутниковых измерений даёт одни и те же результаты. Это показано на интервале времени (2002–2008), где одновременно выполнялись измерения SeaWiFS и MODIS-Aqua/Terra [23]. Глубина сканирования слоя в глубоководной части составляла 5–15 м, в прибрежных районах северо-западного шельфа — 0,2–1,0 м. В целом слой формирования сигнала равен обратной величине показателя вертикального ослабления света. Зимой Хл распределена равномерно в слое 0–40 м. В летний период максимум Хл по флуоресценции фитопланктона находится на глубинах 19–38 м [11] и не участвует в формировании сигнала.

Как известно, стандартные алгоритмы NASA дают завышенные величины Хл в поверхностном слое Чёрного моря по сравнению с измеренными значениями [5]. Это связано с тем, что содержание растворённого окрашенного вещества в Чёрном море больше, чем в океане. Для учёта влияния растворённого окрашенного вещества на Хл в статье [23] предложен алгоритм с использованием коэффициента яркости моря в трёх спектральных каналах. Этот алгоритм применён в настоящей работе. По этим данным были рассчитаны два отношения коэффициентов яркости моря, с помощью которых вычислена Хл с последующим усреднением на пространственной сетке 0.025° по широте и 0.035° по долготе за двухнедельный период. Применённый нами алгоритм более точно восстанавливает Хл по спутниковым данным, чем алгоритмы, использованные ранее [14, 21]. Средняя относительная ошибка восстановления Хл по этому алгоритму для глубоководной части Чёрного моря по данным SeaWiFS и MODIS-Aqua/Terra составила 40 % [3].

При определении продукционных циклов (далее — ПЦ) началом цикла считали увеличение Хл на 40 % и более по сравнению с предыдущим значением, окончанием — уменьшение на 40 %.

Для сравнения динамики Хл выбрали три района:

- 1 — западный циклонический круговорот;
- 2 — восточный циклонический круговорот;
- 3 — район шельфа и континентального склона в северной части моря у берегов Крыма и Кавказа (рис. 1).

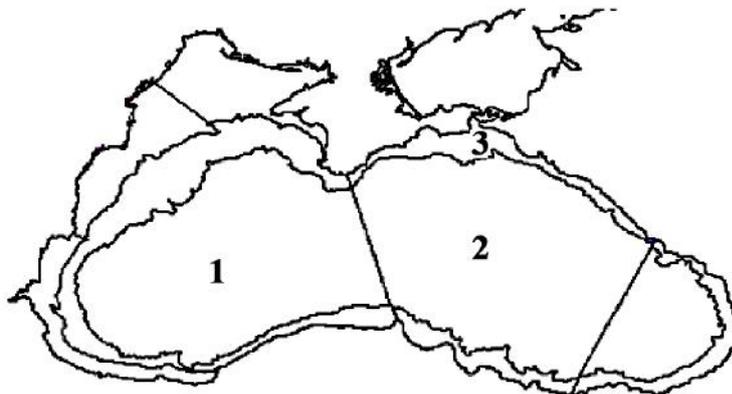


Рис. 1. Карта-схема расположения районов

Fig. 1. The map of the regions

Температура в поверхностном слое и интенсивность фотосинтетически активной радиации (далее — ФАР) в диапазоне 400–700 нм, достигающей поверхности моря, получены из спутниковых наблюдений, которые взяты с сайта <http://podaac.jpl.nasa.gov/sst/>, и стандартных спутниковых продуктов второго уровня SeaWiFS и MODIS-Aqua/Terra.

Для статистической обработки данных использован пакет программ Sigma Plot 12.5. Во всех случаях приведены среднее значение \pm стандартное отклонение.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Динамика концентрации хлорофилла а. Динамика Хл на протяжении 18 лет имеет вид U-образной кривой (рис. 2). С января по март наблюдается снижение Хл, за которым следует повышение в течение короткого периода весной. Летом значения Хл минимальны. Осенью она плавно повышается, в декабре достигает максимальных значений. В целом годовая динамика Хл в трёх районах имеет одинаковый характер.

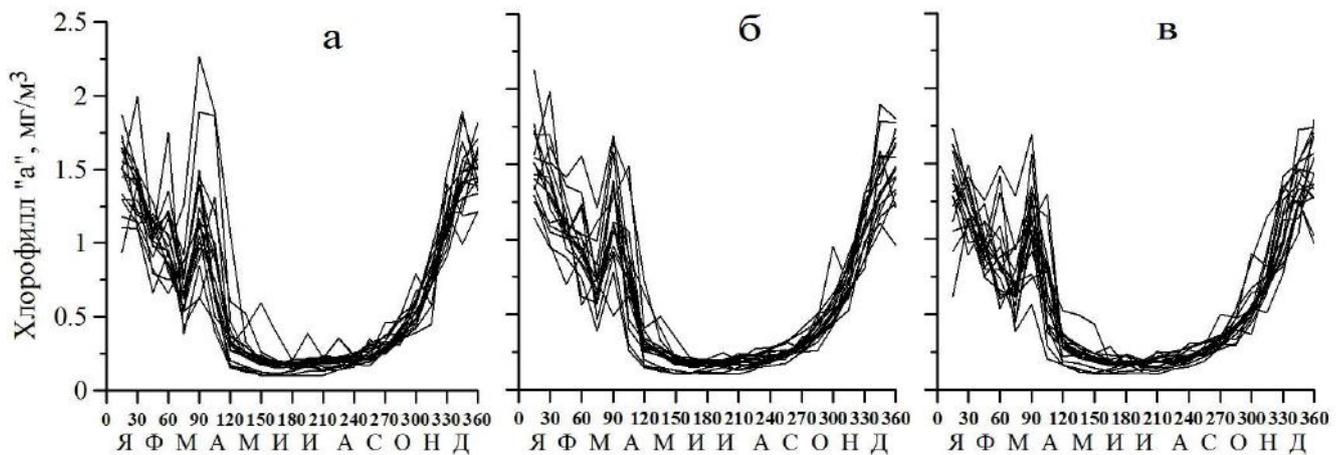


Рис. 2. Годовая динамика концентрации хлорофилла *a* в районах 1 (а), 2 (б) и 3 (в) в 1998–2015 гг.

Fig. 2. The annual dynamics of chlorophyll *a* concentration in regions 1 (а), 2 (б), and 3 (в) in 1998–2015

С августа-сентября по апрель-май следующего года кривая изменения Хл в большинстве случаев имеет колоколообразный вид с максимумом в декабре-январе (рис. 3). Проверка по критерию Шапиро — Уилка показала, что для трёх районов изменение Хл в 88 % случаев соответствует нормальному распределению (рис. 3а, б). В остальных случаях несоответствие связано либо с одинаковой Хл на различных участках колоколообразной кривой в течение 1,5–4,0 мес. (рис. 3в), либо с резким короткопериодным повышением значений Хл в феврале и марте.

Продолжительность ПЦ варьировала от 6,5 до 10,0 мес.; средневзвешенное значение в трёх районах — от 7,5 до 8,1 мес. Амплитуда ПЦ изменялась от 1,2 до 2,1 $\text{мг}\cdot\text{м}^{-3}$. Средние значения в районах 1 и 2 составили $(1,64 \pm 0,19)$ и $(1,63 \pm 0,22)$ $\text{мг}\cdot\text{м}^{-3}$ соответственно, в районе 3 — $(1,50 \pm 0,19)$ $\text{мг}\cdot\text{м}^{-3}$.

В отдельные сезоны зафиксированы короткопериодные повышения Хл, связанные с интенсивным развитием водорослей.

В каждом из исследованных районов в январе-феврале в 14 % случаев отмечено интенсивное развитие фитопланктона длительностью 1 месяц. В течение этого времени Хл увеличивалась в 1,4–1,8 раза, достигая 0,95–1,75 $\text{мг}\cdot\text{м}^{-3}$. ФАР в данный период находилась в пределах от 8,0 до 17,0, составляя в среднем $(12,5 \pm 3,4)$ моль квантов $\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{сутки}^{-1}$. Температура варьировала от +7,9 до +10,2 °С.

Весеннее «цветение» фитопланктона в районе 1 встречалось практически ежегодно в конце марта — начале апреля; его интенсивность и продолжительность зависели от холодных и тёплых зим. Зима считалась холодной, когда температура воды в поверхностном слое в феврале опускалась

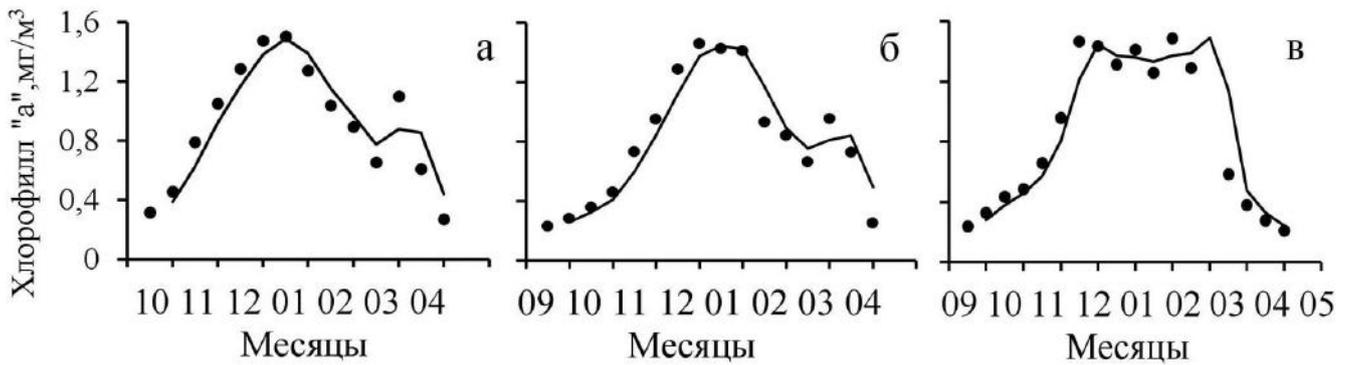


Рис. 3. Примеры изменения концентрации хлорофилла *a* с сентября-октября по апрель-май следующего года: кривые (а) и (б) соответствуют нормальному распределению, кривая (в) не соответствует

Fig. 3. Examples of chlorophyll *a* variation from September-October to April-May of the next year: curves (a) and (б) correspond to normal distribution, curve (в) does not correspond

ниже $+7^{\circ}\text{C}$. В первом районе такое снижение температуры зарегистрировано 8 раз в течение 18 лет, во втором районе — 3 раза, в третьем — 1, поэтому разделение на годы с тёплой и холодной зимой сделано только для первого района. В годы с холодной зимой в районе 1 продолжительность весеннего развития составила $(1,4 \pm 0,2)$ мес., в годы с тёплой зимой — $(1,2 \pm 0,3)$ мес. В этот период года Хл увеличивалась в среднем в 1,9 и 1,8 раза соответственно, достигая максимальных значений — $(1,47 \pm 0,54)$ и $(1,06 \pm 0,30)$ $\text{мг}\cdot\text{м}^{-3}$. Таким образом, продолжительность весеннего развития водорослей достоверно не зависела от температуры воды зимой, в то время как амплитуда Хл в годы с холодными зимами была выше. В районах 2 и 3 весеннее «цветение» фитопланктона отсутствовало в двух и четырёх случаях в течение 18 лет соответственно; минимальная температура воды в поверхностном слое в эти годы находилась в пределах $+7,0\dots+8,3^{\circ}\text{C}$. В данных районах средневзвешенная продолжительность интенсивного развития водорослей составила 1,3 и 1,5 мес. соответственно. В этот период Хл увеличивалась в среднем в 1,7 и 1,8 раза, а средние значения амплитуды достигали $(1,20 \pm 0,30)$ и $(1,22 \pm 0,23)$ $\text{мг}\cdot\text{м}^{-3}$. Массовое развитие фитопланктона весной в районах 1, 2 и 3 проходило при средних значениях температуры $(7,8 \pm 0,8)$, $(8,2 \pm 0,9)$ и $(8,5 \pm 0,9)^{\circ}\text{C}$ соответственно и при средних значениях ФАР $28,8\text{--}30,6$ моль квантов $\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{сутки}^{-1}$.

Летом короткопериодные (продолжительностью 1 месяц) вспышки в развитии фитопланктона амплитудой $0,35\text{--}0,39$ $\text{мг}\cdot\text{м}^{-3}$ зафиксированы только в районе 1 три раза за 18 лет.

В осенний период «цветение» фитопланктона в районе 1 зарегистрировано два раза, в районе 2 — один раз. Продолжительность составляла не более 1 месяца, в течение которого Хл увеличивалась в 1,5–2,0 раза. В прибрежной зоне «цветения» не было.

Влияние температуры на динамику хлорофилла *a*. С августа-сентября по декабрь между температурой воды и Хл наблюдалась обратная зависимость, которую можно описать экспоненциальной функцией с высоким коэффициентом детерминации (рис. 4а):

$$\text{Хл} = 5,797 \times \exp^{(-0,133 \cdot t)}, \quad n = 379, \quad (1)$$

где Хл — концентрация хлорофилла *a*, $\text{мг}\cdot\text{м}^{-3}$;

t — температура воды в поверхностном слое, $^{\circ}\text{C}$.

При уменьшении температуры с $+27$ до $+18^{\circ}\text{C}$ Хл изменялась мало. Её резкое увеличение наблюдалось при снижении температуры с $+18$ до $+8^{\circ}\text{C}$. В данном случае температура — это косвенный показатель, отвечающий за изменение Хл. С уменьшением температуры в поверхностном слое ослабевает температурный градиент, в результате чего скорость потока биогенных веществ с более глубоких слоёв к поверхности возрастает. Именно поэтому можно предположить, что осенью и в начале зимы основным фактором, контролирующим развитие фитопланктона, является скорость потока биогенных веществ.

В западном и восточном круговоротах Хл в целом уменьшается с января по апрель-май. Самые высокие значения отмечены при температурах ниже +6 °С. При +10 °С они в среднем в 2 раза меньше. В этот период, как и осенью, снижение Хл можно достоверно описать экспоненциальной функцией (рис. 4б), но с более низким коэффициентом детерминации. В западном и восточном круговоротах зависимость можно описать уравнением (2), на шельфе — уравнением (3):

$$\text{Хл} = 4,500 \times \exp^{(-0,214 \cdot t)}, \quad n = 244, \quad (2)$$

$$\text{Хл} = 3,393 \times \exp^{(-0,177 \cdot t)}, \quad n = 129. \quad (3)$$

Обозначения те же, что и в уравнении (1).

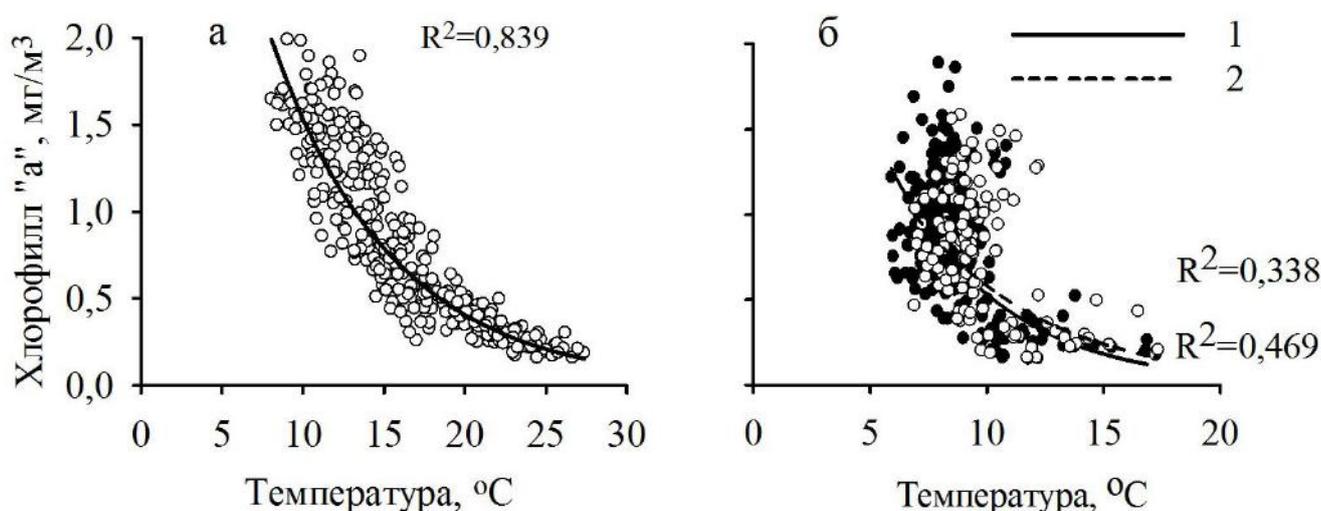


Рис. 4. Зависимость концентрации хлорофилла *a* от температуры с сентября-октября по декабрь для западного, восточного круговоротов и шельфовой зоны (а) и с января по апрель-май (б) — для западного и восточного круговоротов (1) и для шельфовой зоны (2)

Fig. 4. The dependence of chlorophyll *a* concentration on temperature from September-October to December for the western and eastern cyclonic gyres and the shelf zone (a) and from January to April-May (b) – for the western and eastern cyclonic gyres (1) and for the shelf zone (2)

Из приведённых результатов следует, что в годы с холодными зимами Хл в поверхностном слое должна быть выше, чем в годы с тёплыми зимами. В то же время в шельфовой зоне у берегов Кавказа и Крыма величины Хл в поверхностном слое в меньшей степени зависят от температуры воды. Различия связаны, очевидно, с разницей между механизмами, отвечающими за доставку биогенных веществ в зону фотосинтеза. В прибрежных районах зимой они в основном поступают с береговым стоком, а в открытых районах моря — с глубинными водами.

ОБСУЖДЕНИЕ

Чёрное море — один из наиболее стратифицированных районов в Мировом океане. Его отличительной чертой является наличие узких слоёв с большим перепадом плотности. Сезонный пикноклин существует с апреля по ноябрь в слое 15–20 м, постоянный пикноклин — на глубинах от 50 до 100 м [1]. Эта особенность Чёрного моря определяет гидрохимический режим и ПЦ фитопланктона в течение года. В глубоководной части и в шельфовых водах у берегов Крыма и Кавказа характер изменения Хл в течение года одинаков. Минимальные значения наблюдаются летом, и они на порядок величин ниже, чем в другие сезоны.

С августа-сентября по апрель-май следующего года наблюдается нормальное распределение Хл. Колоколообразная форма кривой связана с размыванием пикноклина осенью и с увеличением глубины перемешиваемого слоя зимой. Постоянство величин в течение относительно длительного времени, отмечаемое в некоторых случаях, возможно тогда, когда прирост водорослей равен их убыли в результате выедания зоопланктоном.

Наибольшие значения Хл отмечены в декабре-январе. После достижения максимума уменьшается Хл, снижается температура воды и повышается глубина перемешиваемого слоя, которая может достигать 60 м в конце февраля — первой половине марта [18, 19]. В это время между температурой и Хл наблюдается более низкая корреляция, чем осенью, поэтому можно предположить, что на динамику Хл в этот период могут влиять не только температурный режим, но и другие факторы, такие как отношение критической глубины к глубине перемешивания.

Во второй половине марта — начале апреля интенсивность конвективного перемешивания ослабевает, глубина перемешиваемого слоя уменьшается до 30 м. Столб воды приобретает некоторую стабильность, начинается весеннее «цветение» перед формированием сезонного термоклина, который, как правило, образуется в апреле [1, 19]. Продолжительность и амплитуда весеннего «цветения» зависят от климатических условий: в годы с холодной зимой они больше, чем в годы с тёплой. Короткопериодное увеличение Хл может наблюдаться в феврале в годы с тёплой зимой, когда ветровой режим на короткое время ослабевает. Тогда же может формироваться подповерхностный градиент плотности, что приводит к повышению стабильности водного столба. При наличии биогенных веществ в этом слое происходит быстрый рост биомассы фитопланктона [8, 9, 13]. Такое явление может наблюдаться в холодный период года при глубоком перемешивании водного столба [15].

Осенью Хл постепенно повышается по мере охлаждения воды и ослабления сезонного пикноклина. Это подтверждает высокая корреляция между изменением температуры и Хл. В это время формируются благоприятные условия для проникновения биогенных веществ, поддерживающих рост биомассы фитопланктона с сентября по декабрь, из глубины к поверхности. Глубина перемешиваемого слоя находится в пределах зоны фотосинтеза, а значит, не ограничивает рост водорослей. Индикатором обеспеченности биогенными веществами в этот период может служить интенсивное развитие крупноклеточной водоросли *Pseudosolenia calcar-avis* [22].

Анализ динамики Хл в Чёрном море по спутниковым данным был выполнен А. С. Микаэляном с соавторами на основе многолетних данных [16, 17]. В этих работах для восстановления Хл по спутниковым наблюдениям использовали два алгоритма:

- 1) разработанный NASA и скорректированный для специальных условий открытых вод Чёрного моря [16];
- 2) разработанный для Чёрного моря в Институте океанологии имени П. П. Ширшова (далее — ИО РАН) [14].

Среднегодовые данные по обоим алгоритмам были достаточно близки между собой. Максимум Хл превышал минимум по скорректированному алгоритму NASA в 10 раз, а по алгоритму ИО РАН — в 3 раза. По алгоритму, использованному нами, эти различия достигали 5–10 раз. Пики Хл были определены при росте концентрации хлорофилла *a* более чем в 1,3 раза по скорректированному алгоритму NASA и в 1,1 раза — по алгоритмам ИО. При принятии этих критериев авторы не приводят ошибку восстановления Хл по спутниковым данным. Также авторы, ссылаясь на исследования, выполненные в Эгейском море [7], считают, что оригинальный алгоритм NASA завышает Хл в Чёрном море, но точно передаёт относительные изменения. В то же время специальные исследования, проведённые для условий Чёрного моря, показывают, что ошибка восстановления Хл по алгоритму NASA неодинакова в различные сезоны года; следовательно, различаться будут и относительные изменения Хл [4]. Относительная ошибка расчёта Хл по алгоритмам ИО РАН составляет около 80 % [3].

Использование разных алгоритмов приводит к различиям в динамике Хл. Так, по скорректированному алгоритму NASA и по алгоритму ИО РАН, вариабельность межгодовых среднемесячных значений Хл уменьшается с декабря по апрель, а весеннее развитие фитопланктона регистрируют только в годы с холодными зимами [16]. По нашим данным, вариабельность в течение этого периода увеличивается. Весеннее развитие фитопланктона зафиксировано как в холодные, так и в тёплые годы, но в годы с тёплой зимой оно было менее интенсивным и встречалось не каждый год.

Динамика Хл, определённая нами, совпадает с данными *in situ*. По результатам измерений, выполненных в 1998–2000 гг. в районе 1 и в районе континентального склона у Крыма (район 3), годовая динамика Хл имеет вид U-образной кривой [6]. Весеннее развитие фитопланктона в конце марта 1998 г. зарегистрировано как по спутниковым данным, так и по данным *in situ*. Регулярные исследования, проведённые на выходе из пролива Босфор в 1996–2001 гг., также показали, что максимальные Хл регулярно наблюдались зимой и осенью, а минимальные — летом [20].

В целом в течение 18-летнего периода в глубоководной части моря и в зоне шельфа у берегов Крыма и Кавказа динамика развития фитопланктона повторялась из года в год.

Выводы:

1. Сезонные изменения концентрации хлорофилла *a* в течение 18-летнего периода в глубоководной части моря и в районе шельфа и континентального склона в северной части моря у берегов Крыма и Кавказа были одинаковыми. Максимальные величины зафиксированы в зимне-весенний и осенний периоды, минимальные — летом.
2. Вспышки в развитии фитопланктона отмечены во все сезоны, но с разной частотой. Весеннее «цветение» водорослей регистрировали в конце марта — начале апреля в западной части моря практически ежегодно, в восточной и в районе шельфа и континентального склона — в среднем в 83 % случаев. Интенсивность «цветения» в холодные годы была выше, чем в годы с тёплой зимой. В зимний период массовое развитие водорослей происходило в среднем один раз в три года, летом и осенью — по три раза за всё время наблюдений.
3. Динамика концентрации хлорофилла *a* с августа-сентября по апрель-май следующего года в большинстве случаев имела вид колоколообразной кривой с максимумом в декабре-январе. С сентября по декабрь по мере охлаждения воды отмечена обратная зависимость между концентрацией хлорофилла *a* и температурой в поверхностном слое. С января по апрель-май зависимость имела такой же вид.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ИМБИ по теме «Функциональные, метаболические и токсикологические аспекты существования гидробионтов и их популяций в биотопах с различным физико-химическим режимом» (№ гос. регистрации АААА-А18-118021490093-4) и государственного задания МГИ РАН по теме «Развитие методов оперативной океанологии на основе междисциплинарных исследований процессов формирования и эволюции морской среды и математического моделирования с привлечением данных дистанционных и контактных измерений» (№ гос. регистрации АААА-А18-118012690119-7), а также при частичной поддержке проекта РАН «Влияние физико-химических процессов на смену видового состава и продуктивность морского фитопланктона» (№ гос. регистрации АААА-А18-118020790209-9).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Иванов В. А., Белокопытов В. Н. *Океанография Черного моря* / НАН Украины, Морской гидрофизический институт. Севастополь, 2011. 212 с. [Ivanov V. A., Belokopytov V. N. *Okeanografiya Chernogo morya* / NAN Ukrainy, Morskoi gidrofizicheskii institut. Sevastopol, 2011, 212 p. (in Russ.)]
2. Кропотов С. И., Кривенко О. В. Хлорофилл «*a*» и продукты его распада в водах Черного моря: сезонная и межгодовая изменчивость // *Журнал общей биологии*. 1999. Т. 60, № 5. С. 556–570. [Kropotov S. I., Krivenko O. V. Chlorophyll “*a*” and products of its decay in the Black Sea: seasonal and interannual

- variability. *Zhurnal obshchei biologii*, 1999, vol. 60, no. 5, pp. 556–570. (in Russ.)]
3. Суслин В. В., Чурилова Т. Я., Ли М. Е., Мончева С., Финенко З. З. Концентрация хлорофилла-*a* в Черном море: сравнение спутниковых алгоритмов // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*. 2018. Т. 11, № 3. С. 64–72. [Suslin V. V., Churilova T. Ya., Li M. E., Moncheva S., Finenko Z. Z. Comparison of the Black sea chlorophyll-*a* algorithms for SeaWiFS and MODIS instruments. *Fundamental'naya i prikladnaya gidrofizika*, 2018, vol. 11, no. 3, pp. 64–72. (in Russ.)]. <https://doi.org/10.7868/S2073667318030085>
 4. Суслин В. В., Чурилова Т. Я., Сосик Х. М. Региональный алгоритм расчета концентрации хлорофилла *a* в Черном море по спутниковым данным SeaWiFS // *Морской экологический журнал*. 2008. Т. 7, № 2. С. 24–42. [Suslin V. V., Churilova T. Ya., Sosik H. M. The SeaWiFS algorithm of chlorophyll *a* in the Black Sea. *Morskoj ekologicheskij zhurnal*, 2008, vol. 7, no. 2, pp. 24–42. (in Russ.)]
 5. Финенко З. З., Суслин В. В., Чурилова Т. Я. Региональная модель для расчёта первичной продукции Чёрного моря с использованием данных спутникового сканера цвета SeaWiFS // *Морской экологический журнал*. 2009. Т. 8, № 1. С. 81–106. [Finenko Z. Z., Suslin V. V., Churilova T. Ya. The regional model to calculate the Black Sea primary production using satellite color scanner SeaWiFS. *Morskoj ekologicheskij zhurnal*, 2009, vol. 8, no. 1, pp. 81–106. (in Russ.)]
 6. Berseneva G. P., Churilova T. Ya., Georgieva L. V. Seasonal variability of the chlorophyll and phytoplankton biomass in the western part of the Black Sea. *Oceanology*, 2004, vol. 44, no. 3, pp. 362–371.
 7. Burenkov V. I., Kopelevich O. V., Sheberstov S. V., Ershova S. V., Evdoshenko M. A. Bio-optical characteristics of the Aegean Sea retrieved from satellite ocean color data. In: *The Eastern Mediterranean as a Laboratory Basin for the Assessment of Contrasting Ecosystems* / Malanotte-Rizzoli P., Eremeev V. N. (Eds). Dordrecht: Springer, 1999, pp. 313–326. (NATO Sci. Ser. ; vol. 51). https://doi.org/10.1007/978-94-011-4796-5_21
 8. Chiswell S. M. Annual cycles and spring blooms in phytoplankton: Don't abandon Sverdrup completely. *Marine Ecology Progress Series*, 2011, vol. 443, pp. 39–50. <https://doi.org/10.3354/meps09453>
 9. Chiswell S. M., Calil P. H. R., Boyd P. W. Spring blooms and annual cycles of phytoplankton: A unified perspective. *Journal of Plankton Research*, 2015, vol. 37, iss. 3, pp. 500–508. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbv021>
 10. Demidov A. B. Seasonal dynamics and estimation of the annual primary production of phytoplankton in the Black Sea. *Oceanology*, 2008, vol. 48, iss. 5, pp. 664–678. <https://doi.org/10.1134/S0001437008050068>
 11. Finenko Z. Z., Churilova T. Ya., Li R. I. Dynamics of the vertical distributions of chlorophyll and phytoplankton biomass in the Black Sea. *Oceanology*, 2005, vol. 45, suppl. 1, pp. 112–126.
 12. Finenko Z. Z., Suslin V. V., Kovaleva I. V. Seasonal and long-term dynamics of the chlorophyll concentration in the Black Sea according to satellite observations. *Oceanology*, 2014, vol. 54, iss. 5, pp. 596–605. <https://doi.org/10.1134/S0001437014050063>
 13. Franks P. J. S. Has Sverdrup's critical depth hypothesis been tested? Mixed layers vs. turbulent layers. *ICES Journal of Marine Science*, 2014, vol. 72, iss. 6, pp. 1897–1907. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsu175>
 14. Kopelevich O. V., Burenkov V. I., Ershova S. V., Sheberstov S. V., Evdoshenko M. A. Application of SeaWiFS data for studying variability of bio-optical characteristics in the Barents, Black and Caspian Seas. *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 2004, vol. 51, iss. 10–11, pp. 1063–1091. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2003.10.009>
 15. Lindemann C., St. John M. A. A seasonal diary of phytoplankton in the North Atlantic. *Frontiers in Marine Science*, 2014, vol. 1, article 37 (6 p.). <https://doi.org/10.3389/fmars.2014.00037>
 16. Mikaelyan A. S., Chasovnikov V. K., Kubryakov A. A., Stanichny S. V. Phenology and drivers of the winter-spring phytoplankton bloom in the open Black Sea: The application of Sverdrup's hypothesis and its refinements. *Progress in Oceanography*, 2017, vol. 151, pp. 163–176. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2016.12.006>
 17. Mikaelyan A. S., Shapiro G. I., Chasovnikov V. K., Wobus F., Zanicchi M. Drivers of the autumn phytoplankton development in the open Black Sea. *Journal of Marine Systems*, 2017, vol. 174, pp. 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2017.05.006>
 18. Oğuz T., Ducklow H. W., Malanotte-Rizzoli P., Murray J. W., Shushkina E. A., Vedernikov V. I., Unluata U. A physical-biochemical model of

- plankton productivity and nitrogen cycling in the Black Sea. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 1999, vol. 46, iss. 4, pp. 597–636. [https://doi.org/10.1016/S0967-0637\(98\)00074-0](https://doi.org/10.1016/S0967-0637(98)00074-0)
19. Oğuz T., Ducklow H., Malanotte-Rizzoli P., Tugrul S., Nezlin N.P., Unluata U. Simulation of annual plankton productivity cycle in the Black Sea by a one-dimensional physical-biological model. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 1996, vol. 101, iss. C7, pp. 16585–16599. <https://doi.org/10.1029/96JC00831>
 20. Oğuz T., Velikova V., Cociasu A., Korchenko A. The state of eutrophication. In: *State of the Environment of the Black Sea (2001–2006/7)*. Black Sea Commission Publications (BSC) 2008-3 / T. Oğuz (Ed.). Istanbul, Turkey, 2008, vol. 3, pp. 44–70.
 21. O'Reilly J.E., Maritorea S., Mitchell B.G., Siegel D.A., Carder K.L., Garver S.A., Kahru M., McClain M. Ocean color chlorophyll algorithms for SeaWiFS. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 1998, vol. 103, iss. C11, pp. 24937–24953. <https://doi.org/10.1029/98JC02160>
 22. Stel'makh L.V., Babich I.I., Tugrul S., Moncheva S., Stefanova K. Phytoplankton growth rate and zooplankton grazing in the western part of the Black Sea in the autumn period. *Oceanology*, 2009, vol. 49, iss. 1, pp. 83–92. <http://dx.doi.org/10.1134/S000143700901010X>
 23. Suslin V., Churilova T. A regional algorithm for separating light absorption by chlorophyll-*a* and coloured detrital matter in the Black Sea, using 480–560 nm bands from ocean colour scanners. *International Journal of Remote Sensing*, 2016, vol. 37, iss. 18, pp. 4380–4400. <https://doi.org/10.1080/01431161.2016.1211350>
 24. Yunev O.A., Vedernikov V.I., Basturk O., Yilmaz A., Kideys A.E., Moncheva S., Kononov S.K. Long-term variations of surface chlorophyll *a* and primary production in the open Black Sea. *Marine Ecology Progress Series*, 2002, vol. 230, pp. 11–28. <http://dx.doi.org/10.3354/meps230011>

DYNAMICS OF CHLOROPHYLL A CONCENTRATION IN THE BLACK SEA ON SATELLITE DATA

Z. Z. Finenko¹, I. M. Mansurova¹, and V. V. Suslin²

¹Kovalevsky Institute of Marine Biological Research RAS, Sevastopol, Russian Federation

²Marine Hydrophysical Institute of RAS, Sevastopol, Russian Federation

E-mail: zosim_finenko@mail.ru

The use of satellite data to study the chlorophyll *a* dynamics, in contrast to contact methods, allows carrying out large scale research with high frequency of measurements. Such observations were carried out in the Black Sea offshore and inshore areas from 1998 to 2015. They made it possible to estimate the annual and interannual chlorophyll *a* dynamics in the surface layer and to reveal the periodicity, intensity, and duration of mass development of algae. In the western and eastern cyclonic gyres as well as in the shelf zone off the Crimean and Caucasus coasts, annual chlorophyll dynamics had the same pattern as that repeating year after year. From August-September to April-May of the next year the variation of chlorophyll in most cases corresponded to normal distribution and had a form of a bell-shaped curve with maximum observed in December-January. During autumn period, the chlorophyll concentration gradually increased with water cooling and seasonal pycnoclyne weakening. In winter the chlorophyll concentration decreased due to increase of mixed layer depth. Spring phytoplankton intensive development was observed every year when convective mixing weakened and stability of water column increased.

Keywords: chlorophyll *a*, satellite data, Black Sea, phytoplankton



ИСТОРИЧЕСКИЕ ХРОНИКИ

УДК 579.22:628.193

**КРАТКАЯ ХРОНИКА ОКЕАНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ОТДЕЛА МОРСКОЙ САНИТАРНОЙ ГИДРОБИОЛОГИИ
ИНБИОМ ИМЕНИ А. О. КОВАЛЕВСКОГО**

© 2019 г. **О. Г. Миронов**

Институт морских биологических исследований имени А. О. Ковалевского РАН, Севастополь, Россия

E-mail: mironov_33@mail.ru

Поступила в редакцию 18.04.2019; после доработки 18.04.2019;
принята к публикации 22.05.2019; опубликована онлайн 24.06.2019.

Выполнен краткий обзор работ в Атлантическом, Индийском и Тихом океанах в 1967–1988 гг. Приведены данные по закономерности распространения и численности микроорганизмов, способных использовать углеводороды нефти в качестве единственного источника углерода и энергии. Рассмотрены накопление организмами моря нефтяных углеводородов, влияние тонкой взвеси глубоководных (5000 м) донных осадков и железомарганцевых конкреций на зоопланктон, токсичность искусственных полимеров для морской биоты. Обоснована целесообразность возобновления аналогичных работ в Мировом океане в современных экологических условиях.

Ключевые слова: океан, углеводородокисляющие микроорганизмы, влияние загрязнения на морскую биоту

В 2018 г. вышла коллективная монография [11] отдела морской санитарной гидробиологии Института морских биологических исследований имени А. О. Ковалевского РАН, обобщившая материалы исследований прибрежных акваторий юго-западной оконечности Крыма в последнее десятилетие. В предшествующих монографиях [7, 10] приведены данные о систематических работах по этой тематике с 1973 г. Таким образом, были подведены итоги санитарно-биологических исследований в севастопольских бухтах и прилегающих акваториях Чёрного моря почти за полувековой период. Между тем отдел проводил масштабные работы с 1964 по 1988 г. в различных морях и океанах. В настоящее время возникла необходимость возобновления этих исследований в Мировом океане в современной (изменившейся) экологической обстановке и с применением новых методических подходов, и мы посчитали целесообразным дать краткий обзор своих работ в этом направлении.

Задачей отдела было изучение взаимодействия морских организмов с нефтяным загрязнением и роли биоты в процессе деструкции нефтяных углеводородов (далее — НУ). Основной биологический фактор в этом процессе — деятельность микроорганизмов, которые используют НУ в качестве единственного источника углерода и энергии. Исследование численности, закономерности распределения и биохимических особенностей этой группы бактерий в морской среде и являлось ключевым направлением экспедиционных работ лаборатории, а затем — отдела морской санитарной гидробиологии.

Первые данные по углеводородокисляющим микроорганизмам собраны в Севастопольской бухте в 1964 г. Вскоре специалистам удалось на несколько суток выйти в открытое море на НИС «Академик Ковалевский». Полученные в январском рейсе 1965 г. результаты показали, что численность

нефтеокисляющей микрофлоры в исследованной акватории была в десятки и сотни раз ниже численности изучавшейся группы бактерий, выделенной из воды севастопольских бухт. Закономерно возник вопрос о том, какова обстановка в других морях и океанах, однако у института не было научно-исследовательского судна для работы в океане.

Неожиданно в начале 1967 г. В. А. Водяницкий предложил автору этой работы и паразитологу А. М. Парухину временно уволиться из института и устроиться в отдел промразведки рыбохозяйственного объединения «Атлантика» инженерами-биологами для работы на судах промразведки в Индийском океане. От такого предложения невозможно было отказаться. Планировалось, что рейс начнётся в мае 1967 г., продлится 70 суток и охватит в основном районы Аравийского моря. Так мы попали на средний рыбопромысловый морозильный траулер «Голубь мира» водоизмещением всего 960 т, но с неограниченным районом плавания. На траулере не было условий для проведения научных исследований (особенно микробиологических). Нам пришлось идти на всевозможные ухищрения, опираясь на опыт д. б. н. Лебедевой М. Н., заведующей микробиологической лабораторией Севастопольской биологической станции (далее — СБС). После войны, в конце 1940-х гг., экспедиционные работы СБС часто проходили на кораблях Черноморского флота, в основном на тральщиках. В одной из таких экспедиций М. Н. Лебедева осуществляла микробиологические посеы, стоя на верхней палубе, втиснув в пулемётную башню голову и плечи и уместив там переносной микробиологический бокс. Мы же приспособили для своих целей помещение прачечной площадью чуть больше 1 м². Там мы поставили бактерицидную лампу и закрепили на стиральной машине переносной микробиологический бокс. Стерилизацию посуды сухим жаром осуществляли на камбузе в формах для выпечки хлеба и при соответствующих температурных условиях.

Отбор проб осуществляли на ходу судна ежедневно, не реже четырёх раз в сутки. К входу в пролив Босфор сделали 22 станции; на 10 из них (< 50 %) был отмечен рост изучаемой группы микроорганизмов.

Картина резко изменилась в Босфоре с его интенсивным судоходством и высокой в то время степенью загрязнения вод нефтепродуктами. Рост микроорганизмов на нефти был отмечен на всех четырёх станциях.

В Мраморном море и проливе Дарданеллы количество микроорганизмов, растущих на нефти, вновь значительно уменьшилось. В части Средиземного моря восточнее 24° в. д. нефтеокисляющие микроорганизмы высеяны только в Порт-Саиде. В зоне Суэцкого канала нефтеокисляющие микроорганизмы выделены на всех пяти станциях. Незначительное количество культур микроорганизмов, растущих на нефтепродуктах, выделено в Красном море.

Анализ материалов, полученных на станциях в районе побережья п-ова Индостан, позволил выявить упомянутую выше закономерность — тесную связь между численностью нефтеокисляющих микроорганизмов и наличием нефтяного загрязнения морской воды, особенно в портах Коломбо и Бомбей.

В северо-западной и западной части Индийского океана по разрезу Бомбей — Мозамбикский пролив (до 10° ю. ш.) из 35 отобранных проб рост микроорганизмов на нефти наблюдали в 30 (> 80 %). В дальнейшем количество положительных проб на этом же отрезке снизилось более чем вдвое: из 25 положительными были лишь 10 (40 %). На наш взгляд, такое распределение микроорганизмов, растущих на нефти, объясняется следующим. К Аравийскому морю прилегают нефтеносные районы Ближнего Востока, откуда начинаются основные пути транспортировки местной нефти. Именно поэтому вполне естественно было предположить, что в то время при откачке балласта танкерами и при бункеровочных операциях в морскую воду нефтепродукты попадали довольно часто. Течения способствуют заносу вод, содержащих нефть, из Персидского залива и из района нефтеперевозок в центральные участки Аравийского моря и в прилегающие районы Индийского океана. Южное Экваториальное течение служит своего рода барьером, препятствующим распространению этих вод южнее 10° ю. ш. [3].

В остальных регионах, например в Атлантическом океане, положительные пробы также группировались в акваториях, прилегающих к крупным портам или к точкам работ рыболовных флотилий (к местам, подвергающимся нефтяному загрязнению).

Интересно было сравнить высеваемость бактерий изучаемой группы в экваториальных зонах Индийского океана и Атлантического. В Индийском океане из 24 проб, отобранных между 8° с. ш. и 8° ю. ш., рост микроорганизмов на нефти и нефтепродуктах зарегистрирован в 21 пробе. В Атлантическом океане на тех же широтах из 25 проб развитие микроорганизмов отмечено только в 2.

Таким образом, связь между нефтяным загрязнением и наличием в воде микроорганизмов, способных использовать углеводороды нефти и нефтепродукты, прослеживается не только в прибрежных районах, но и на открытых участках морей и океанов [3].

Получение обширного материала в двух океанах и в Средиземном море (данные по нему в этой работе не рассмотрены) стало возможным благодаря случаю. Шестидневная война 1967 г. между Израилем и Египтом привела к закрытию Суэцкого канала, и нам пришлось возвращаться в Севастополь, огибая Африку. Рейс продлился не 70 суток, как планировалось, а почти полгода. Объём полученных данных оказался достаточным для монографии [5].

Аналогичная работа осуществлена в 1970 г. в экспедиции НИС «Академик Вернадский» в Северную Атлантику по маршруту Ленинград — Галифакс — Гибралтар. В 1972 г. исследования того же направления были продолжены на этом же судне и охватили восточные и центральные районы Индийского океана, а также западную часть Тихого. Путь к океану лежит через Средиземное море, так что отбор проб не прерывался. Материал, полученный в океанах, в Средиземном море (попутно), а также в специальных средиземноморских экспедициях на НИС «Академик Ковалевский», собран в коллекцию бактерий, насчитывающую свыше тысячи культур.

Результаты этих работ легли в основу программы исследований по биологическому мониторингу нефтяного загрязнения Средиземного моря. Она была принята как официальный проект Советского Союза в рамках международной программы «Совместное изучение Средиземного моря» (СИСМ) [4].

В 1980-е гг. микробиологические исследования в Атлантическом и Индийском океанах на НИС «Профессор Водяницкий» сочетались с другими работами. В частности, была проведена комплексная бонитировка поверхностных вод тропической Атлантики. Анализ полученных данных позволил описать значимую взаимосвязь между концентрацией АТФ пикопланктона и общей численностью гетеротрофных микроорганизмов [2].

Определены некоторые классы органического вещества и трансформирующих их бактерий в поверхностных водах Атлантического океана. В морской воде центральной части океана на 38 станциях изучено количественное содержание нефти и основных классов органических веществ (углеводороды, липиды, белки, углеводы), а также микроорганизмов, принимающих участие в их деструкции [9].

Мы изучали не только участие биоты в процессе самоочищения от нефтяного загрязнения, но и влияние нефти на морские организмы, в основном на черноморских гидробионтов. Составляющей частью работ было определение накопления НУ гидробионтами. Часть данных в этом направлении получена на океанской фауне. Исследованные гидробионты содержат большое разнообразие нормальных ($nC_{16} - nC_{23}$) и разветвлённых ($iC_{14} - iC_{20}$) алканов. Доминирующие углеводороды — алканы с нечётным числом атомов углерода C_{15} и C_{17} . Изучение гомологических рядов углеводородов и масс-спектрометрический анализ показали, что у значительного числа исследованных гидробионтов преобладающими являются углеводороды нефтяного происхождения [12].

Работы в океане проводили и по заданиям различных министерств и ведомств СССР. Сюда можно отнести токсикологические исследования по определению поражающего влияния химических соединений на морские организмы. Наряду с традиционными токсикантами, сбрасываемыми в море (нефть, тяжёлые металлы, разного рода техногенные продукты), в морскую среду попадают

искусственные полимеры. Их синтезируют из ряда веществ с заданными свойствами, что позволяет выбирать соединения, наиболее полно соответствующие своему техническому назначению. Между тем технически пригодные композиции часто бывают токсичными; тогда приходится подбирать другие соединения, отвечающие актуальным техническим требованиям и менее опасные. Токсикологические эксперименты с гидробионтами различных трофических уровней показали возможность применения без ущерба для биоты полимерных паст в широком диапазоне концентраций от 0,004 до 40 мкг·л⁻¹. Для увеличения диапазона нетоксичности искусственных полимеров было рекомендовано исключить ряд веществ и композиций [1].

В 26-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий» в 1988 г. изучали органическое вещество глубоководных донных осадков и железомарганцевых конкреций и исследовали влияние их мелкой взвеси на организмы зоопланктона. Биохимический анализ состава органического вещества показал: в среднем в железомарганцевых конкрециях содержание органики ниже, чем в подстилающих их донных осадках. Эксперименты с зоопланктоном продемонстрировали, что тонкая взвесь глубоководных (5000 м) осадков и железомарганцевых конкреций оказывает механическое воздействие на гидробионтов, забивая их жабры и осаждаясь на двигательном аппарате [8].

Изучение устойчивости и дрейфа нефтяных пятен проводили в центральной части Атлантики. Поведение на поверхности океана котельного флотского мазута и дизельного топлива (солярка) фиксировали при разных скоростях ветра. При 15 м·с⁻¹ и выше визуальные наблюдения были ограничены несколькими минутами, так как разглядеть нефтяной слик среди пены гребной волны затруднительно. Слики, образованные дизельным топливом, исчезали быстрее. Перемещение слика по поверхности океана зависело от скорости и направления ветра, а также от поверхностного течения. При этом зафиксированы значительные отклонения от общепринятой величины скорости дрейфа — 3,4 % от скорости ветра [6].

Таким образом, 20-летние работы отдела морской санитарной гидробиологии ИнБЮМ имени А. О. Ковалевского в Мировом океане позволили получить важные данные по различным аспектам его экологии. Подчеркнём, что изучение взаимодействия морской биоты с загрязнением выходит далеко за рамки молисмологии. В частности, исследование деятельности углеводородокисляющих микроорганизмов способствует решению вопросов, связанных с изучением общих процессов круговорота углеводородов в океане. Полученные по этому направлению материалы прошлых экспедиций имеют ключевое значение, что свидетельствует о необходимости возобновления аналогичных работ в современных экологических условиях.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ИМБИ по теме «Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем» (№ гос. регистрации АААА-А18-118020890090-2).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Барбанель Б. А., Кирюхина Л. Н., Миронов О. Г. Исследование влияния искусственных полимеров на морские организмы // *Экология моря*. 1992. Вып. 42. С. 83–89. [Barbanel' B. A., Kiryukhina L. N., Mironov O. G. Study of the effect of artificial polymers on the marine organisms. *Ekologiya morya*, 1992, iss. 42, pp. 83–89. (in Russ.)]
2. Лебедь А. А., Лопухин А. С., Миронов О. Г. Комплексная бонитировка поверхностных вод тропической Атлантики // *Научные доклады высшей школы. Сер.: Биологические науки*. 1989. № 7. С. 62–66. [Lebed' A. A., Lopukhin A. S., Mironov O. G. A complex bonitation of surface waters in the Tropical Atlantic. *Nauchnye doklady vyshej shkoly. Ser.: Biologicheskie nauki*, 1989, no. 7, pp. 62–66. (in Russ.)]
3. Миронов О. Г. О роли микроорганизмов, растущих на нефти, в самоочищении и индикации нефтяного загрязнения // *Океанология*. 1970. Т. 10, вып. 5. С. 820–827. [Mironov O. G. On the role of microorganisms growing on oil in the self-cleaning and indication of oil pollution in the sea. *Oceanologiya*, 1970, vol. 10, iss. 5, pp. 820–827. (in Russ.)]
4. Миронов О. Г. Наукові основи радянського міжнародного проекту біологічного моніторингу

- нафтового забруднення Середземного морського басейну. *Вісник АН УРСР*. 1978. № 8. С. 84–87. [Mironov O. G. Naukovi osnovy radiatskoho mizhnarodnoho proektu biolohichnoho monitoringu naftovoho zabrudnennia Seredzemnoho morskoho baseinu. *Visnyk AN URSR*, 1978, no. 8, pp. 84–87. (in Ukr.)]
5. Миронов О. Г. *Нефтеокисляющие микроорганизмы в море*. Киев : Наукова думка, 1971. 234 с. [Mironov O. G. *Nefteokislyayushchie mikroorganizmy v more*. Kiev: Naukova dumka, 1971, 234 p. (in Russ.)]
 6. Миронов О. Г. Устойчивость и дрейф нефтяных пятен в море при малых объемах нефтепродуктов // *Комплексные изучения загрязнения Мирового океана в связи с освоением его ресурсов*. Ленинград : Севморгеология, 1989. С. 17–22. [Mironov O. G. Ustoichivost' i dreif neftyanykh pyaten v more pri malykh ob'emakh nefteproduktov. In: *Kompleksnye izucheniya zagryazneniya Mirovogo okeana v svyazi s osvoeniem ego resursov*. Leningrad: Sevmorgeologiya, 1989, pp. 17–22. (in Russ.)]
 7. Миронов О. Г., Кирюхина Л. Н., Алемов С. В. *Санитарно-биологические аспекты экологии севастопольских бухт в XX веке*. Севастополь : ЭКОСИ–Гидрофизика, 2003. 185 с. [Mironov O. G., Kirjukhina L. N., Alyomov S. V. *Sanitary-biological aspects of the Sevastopol bays ecology in XX century*. Sevastopol: ECOSI-Gidrofizika, 2003, 185 p. (in Russ.)]
 8. Миронов О. Г., Копытов Ю. П., Дивавин И. А., Цымбал И. М. Органическое вещество глубоководных донных осадков и железомарганцевых конкреций Индийского океана // *Доклады Академии наук Украинской ССР*. 1990. № 5. С. 19–22. [Mironov O. G., Kopytov Yu. P., Divavin I. A., Tsimbal I. M. Organic substance of deep water bottom deposits and iron-manganese concretions of the Indian Oceans. *Doklady Akademii nauk Ukrainskoi SSR*, 1990, no. 5, pp. 19–22. (in Russ.)]
 9. Миронов О. Г., Лебедь А. А., Тархова Э. П. Некоторые классы органического вещества и трансформирующие их бактерии в поверхностных водах Атлантического океана // *Океанология*. 1987. Т. 27, вып. 6. С. 1005–1006. [Mironov O. G., Lebed' A. A., Tarkhova E. P. Some classes of organic matter and bacteria transforming them in surface waters of the Atlantic Ocean. *Oceanologiya*, 1987, vol. 27, iss. 6, pp. 1005–1006. (in Russ.)]
 10. *Санитарно-биологические исследования в прибрежной акватории региона Севастополя / под общ. ред. О. Г. Миронова*. Севастополь : ЭКОСИ–Гидрофизика, 2009. 192 с. [*Sanitary-biological investigations in coastal area of Sevastopol region / O. G. Mironov (Ed.)*. Sevastopol: ECOSI-Gidrofizika, 2009, 192 p. (in Russ.)]
 11. *Санитарно-биологические исследования прибрежных акваторий юго-западного Крыма в начале XXI века / под ред. О. Г. Миронова, С. В. Алемова*. Симферополь : Ареал, 2018. 276 с. [*Sanitary and biological studies of the southwestern Crimea coastal waters at the beginning of XXI century / O. G. Mironov, S. V. Alyomov (Eds.)*. Simferopol: Areal, 2018, 276 p. (in Russ.)]. <https://doi.org/10.21072/978-5-907118-89-8>
 12. Mironov O. G., Shchekaturina T. L., Tsimbal I. M. Saturated hydrocarbons in marine organisms. *Marine Ecology – Progress Series*, 1981, vol. 5, no. 3, pp. 303–309.

**BRIEF CHRONICLE
OF A. O. KOVALEVSKY IBSS DEPARTMENT OF MARINE SANITARY HYDROBIOLOGY
OCEANIC STUDIES**

O. G. Mironov

Kovalevsky Institute of Marine Biological Research RAS, Sevastopol, Russian Federation
E-mail: mironov_33@mail.ru

A brief overview of the work in the Atlantic, Indian and Pacific oceans in 1967–1988 is given. Data on the distribution patterns and abundance of microorganisms capable of using oil hydrocarbons as the single source of carbon and energy are given. The accumulation of oil hydrocarbons by marine organisms, the effect of thin suspension of deep-water (5000 m) bottom sediments and ferromanganese nodules on zooplankton, and the toxicity of artificial polymers for marine biota are discussed. The expediency of the resumption of similar work in the World Ocean in modern environmental conditions is expressed.

Keywords: ocean, hydrocarbon-oxidizing microorganisms, pollution influence on marine biota



УДК 001(091)

НОВОРОССИЙСКАЯ БИОЛОГИЧЕСКАЯ СТАНЦИЯ ИМЕНИ ПРОФЕССОРА В. М. АРНОЛЬДИ В 1927–1932 гг.

© 2019 г. **К. В. Русанов**

Харьков, Украина

E-mail: kokamoka51@gmail.com

Поступила в редакцию 28.04.2019; после доработки 28.04.2019;
принята к публикации 22.05.2019; опубликована онлайн 24.06.2019.

На основе отчётов и воспоминаний представлена история Новороссийской биологической станции имени профессора В. М. Арнольди в 1927–1932 гг. — в период, когда её работой руководил В. А. Водяницкий.

Ключевые слова: В. А. Водяницкий, Новороссийск, биологическая станция, история, 1927–1932, ихтиология, гидробиология, климатология, экология водорослей

Первые годы работы Новороссийской биологической станции (далее — НБС) описаны ранее в [8]. Ниже рассказано о деятельности станции в 1927–1932 гг. по материалам её отчётов и по некоторым другим источникам.

Согласно [2], в 1927 г. персонал станции состоял из заведующего — зоолога В. А. Водяницкого, двух научных сотрудников — ботаника Н. В. Морозовой-Водяницкой и ихтиолога С. М. Маятского, а также наблюдателя метеорологической станции И. П. Ротаря, которого содержала Гидрометеорологическая служба Чёрного и Азовского морей.

Важным этапом в жизни НБС была организация учёного совета. В его состав вошли: председатель — проф. Н. М. Книпович; заместители председателя — проф. П. И. Мищенко и заведующий НБС В. А. Водяницкий; члены — О. И. Арнольди (вдова проф. В. М. Арнольди. — *К. Р.*), проф. Л. И. Волков, проф. И. В. Попов, инспектор рыболовства Черноморского округа В. М. Перрон, представители Плановой комиссии т. Фельдгейм и М. П. Земсков, научный сотрудник Н. В. Морозова-Водяницкая. Учёный совет при участии директора Кубано-Черноморского научно-исследовательского института (далее — КЧНИИ), которому подчинялась НБС, обсуждал наиболее острые вопросы её жизни — программу работ, научно-промысловые задачи, административную принадлежность и др.

В 1926–1927 гг. директор КЧНИИ А. П. Протопопов настаивал на необходимости придать работе станции *«рыбо-технический характер в направлении изучения консервного производства»*. Совет же, заслушав доклады директора КЧНИИ, председателя учёного совета проф. Н. М. Книповича и заведующего НБС, а также заявления представителей местных учреждений, вынес следующее постановление:

«Признать, что установившийся модус в работах станции — подведение научного фундамента под прикладные исследования — является вполне правильным и единственно возможным, в особенности в условиях работы на восточном побережье Чёрного моря... Только на основе надлежаще поставленных исследований условий жизни водоёма возможно разрешение частных вопросов...»

Совет считает необходимым по возможности усилить научно-промысловые работы, для чего обеспечить станцию... специальным оборудованием и плавучими средствами. Совет считает... что все усилия должны быть направлены к расширению работ станции в установившихся направлениях: научно-промысловом и санитарно-гидробиологическом, а введение новых заданий, в частности рыбо-технических, должно основываться лишь на реальных потребностях и возможностях... Вследствие этого Совет просит Научно-техническое управление Высшего совета народного хозяйства и Кубано-Черноморский научно-исследовательский институт обеспечить станцию на предстоящий сметный год необходимыми средствами. Принять предложенную проф. Н. М. Книповичем программу научно-промысловых исследований; поручить заведующему станцией озаботиться ведением намеченных вопросов в круг работ станции и просить проф. Н. М. Книповича... оказывать станции содействие своей консультацией...»

В апреле 1927 г. была начата постройка для НБС 8-метрового моторно-парусного бота. До этого времени станция работала в море на парусной шлюпке длиной 5 м, что не позволяло расширить район исследования в соответствии с поставленными задачами. Из-за задержки в отпуске средств постройка бота шла с большими перебоями и оставалась к 01 октября 1927 г. не законченной (не покрыта каюта и часть палубы, нет внутренней обстановки). В. А. Водяницкий ожидал, что с приобретением мотора и технического оборудования бота в работе станции начнётся новый период.

В своём отчёте [2] заведующий НБС перечислил проведённые станцией научные работы.

Три темы выполнялись по ихтиологии. В. А. Водяницкий и С. М. Малятский (тема «Фауна рыб Новороссийской бухты») констатировали наличие здесь около 70 видов рыб, установив для большинства местá обитания, сроки появления и «*другие биологические факты*». Эти же учёные, выполняя тему «Миграция сельдей в Новороссийском районе», обработали данные об уловах сельди за 1899–1916 и 1924–1927 гг. и сопоставили их с результатами наблюдений над ветрами и температурой воды в Новороссийске, Керчи и Туапсе. По мнению В. А. Водяницкого и С. М. Малятского, было «*с полной наглядностью установлено, что перемещения стай сельди обусловлены стремлением её из более холодных к более тёплым слоям воды, а соотношение последних находится в зависимости от определённых комбинаций ветров данного района, вследствие чего явилась возможность предусматривать в общих чертах вероятность улова сельди*».

Наконец, С. М. Малятский (тема «Мальки кефалей в Новороссийском районе») путём регулярных наблюдений и сбора материала установил наличие в изучаемой акватории мальков кефалей трёх видов и неизвестный ранее факт их массовой миграции весной с юга.

Несколько тем были отнесены автором отчёта [2] к гидробиологии. В. А. Водяницкий (тема «Количественный учёт населения в зарослях литоральной зоны») распространил исследования планктона и бентоса на животное население зарослей *Cystoseira* на глубине 1 м. Он установил, что столб воды объёмом 5 л, заключающий куст *Cystoseira*, содержит: моллюсков — 150–250 особей, крупных бокоплавов и равноногих ракообразных — 50–100, тех же форм молодых и мелких — 4–6 тыс., клещей — 300–500, веслоногих ракообразных — 30–50 тыс. и т. д. Для расширения этого исследования на большие глубины и на холодное время года на станции конструировали новый прибор.

С целью подготовки к количественному изучению донного населения составляли карту распределения водорослей в Новороссийской бухте. Для получения сравнительных данных Н. В. Морозова-Водяницкая обследовала Севастопольскую, Балаклавскую, Херсонесскую, Керченскую и Геленджикскую бухты, параллельно собирая материал для монографического описания важнейших представителей донной флоры.

В. А. Водяницким и М. Ф. Соколовой (тема «Зоопланктон Прикубанских лиманов») на основе обработки ежемесячных сборов планктона установлены типические циклы жизни 13 водоёмов в низовьях р. Кубани, а также две основные степени зарастания водоёмов

макрофитами, зависящие от глубины. Сделан ряд интересных находок, в частности неопределимого вида *Diaptomus*, переданного В. М. Рылову и описанного им под названием *Diaptomus lobulifer* Rylov¹ (см. [10]).

По климатологии И. П. Ротарь выполнял тему «К микроклиматам г. Новороссийска». На основании обработки наблюдений метеостанции при НБС и метеостанций Гидрометцентра был произведён сравнительный анализ элементов микроклимата г. Новороссийска, в особенности ветров. Работа была подготовлена к печати.

Кроме названных лиц, на станции работали: 1) проф. Н. М. Книпович; 2) проф. К. М. Дерюгин; 3) научный сотрудник Главного ботанического сада Е. С. Зинова; 4) научный сотрудник отдела рыболовства Народного комиссариата земледелия С. С. Елизарова; 5) ассистент зоологического кабинета Казанского университета С. В. Жданов; 6) ассистент того же кабинета З. И. Забусова; 7) окончившая Кубанский сельскохозяйственный институт Т. Гура; 8) студентка Кубанского педагогического института Е. Потапова; 9) студентка Ростовского университета З. Басина; 10) студентка Среднеазиатского университета Л. Кузьмина; 11) проф. Нижегородского университета С. С. Станков.

Экскурсионная деятельность НБС выражалась главным образом в ближних экскурсиях и в выходах в море. Кроме того, в июне 1927 г. В. А. Водяницкий и С. М. Маляцкий выезжали на Прикубанские лиманы для сбора ихтиологических и гидробиологических материалов. Они обследовали также донную фауну р. Кубани, чрезвычайно богатую личинками подёнок. В августе 1927 г. проф. Н. М. Книпович, Н. В. Морозова-Водяницкая и С. М. Маляцкий собрали гидробиологический материал на озёрах Абрау и Лиманчик. Н. В. Морозова-Водяницкая выезжала в Севастополь, Балаклаву и Керчь для ознакомления с распределением водорослей в прилегающих к ним районах моря.

Помимо проведения названных полевых работ, В. А. Водяницкий занимался обработкой материалов по биологии Суджукской лагуны, а С. М. Маляцкий — по систематике сельдей Новороссийского района. Н. В. Морозова-Водяницкая готовила к печати статьи «Наблюдения над экологией водорослей Новороссийской бухты» (подробнее см. в [8]) и «Морфология и биология харовой водоросли *Lamprothamnus*²».

Библиотека НБС пополнилась 180 книгами: 150 получены в обмен; 10 выписаны из-за границы; комплект журнала *Süßwasserflora* пожертвовал проф. Н. М. Книпович.

Оборудование станции пополнилось следующими предметами: 1) пелагической сетью типа «Цеппелин» длиной в 1,5 м, диаметром 40 см, из мельничного газа № 8, для сбора пелагической икры и мальков; 2) планктонной сетью средней, количественной; 3) планктонной сетью типа «Цеппелин», средней; 4) планктонной сетью качественной, малой; 5) салазочным тралом; 6) набором сит для промывки грунтов; 7) поверхностным термометром в латунной оправе производства ГТИ; 8) штангенциркулем; 9) щупом системы Перфильева; 10) рыболовной сетью — бреднем; 11) шестью аквариумами; 12) мелкими предметами лабораторного и экскурсионного оборудования, посудой.

Спустя несколько десятилетий после описанных в отчёте событий В. А. Водяницкий дал в своих воспоминаниях более подробную информацию о работе в Новороссийске известного ленинградского специалиста Е. С. Зиновой (1874–1942) [4]:

«В выяснении систематического состава водорослей очень помогала Елена Степановна Зинова, крупнейший альголог, сотрудница Ботанического института Академии наук СССР. Она часто работала на станции и составила монографию водорослей Новороссийской бухты».

¹В настоящее время вид валиден как *Arctodiaptomus lobulifer* (Rylov, 1927) (здесь и далее — примечания редактора статьи Н. В. Шадрина).

²В настоящее время — *Lamprothamnium*.

Уточним: Е. С. Зинова приезжала в Новороссийск в 1925 и 1927 гг., и оба раза ненадолго (июль — август). Краткое сообщение о её первом заезде на станцию опубликовано в 1925 г. в «Известиях Главного ботанического сада» (т. XXIV, с. 186). Двумя годами позже вышла статья «Несколько водорослей Новороссийской бухты» (см. [5]). Результаты второй поездки Елены Степановны на НБС в 1927 г. дождалась публикации только в 1935 г. (см. [6]). Деятельность Е. С. Зиновой в Новороссийске и научные статьи по итогам её работы — важная и неотъемлемая часть прошлого НБС, поэтому представляет интерес поиск ответов на существенные для истории вопросы. Что побудило альголога, областью исследований которой всегда были северные и дальневосточные моря, приезжать в Новороссийск? Как складывались её взаимоотношения с «хозяевами» здешней бухты — супругами Водяницкими? Как восприняла монографию ленинградки Н. В. Морозова-Водяницкая, накопившая к 1935 г. большой опыт работы именно с черноморскими водорослями и имевшая в активе ряд достижений? На наш взгляд, эта тема заслуживает отдельной публикации.

Помимо специалистов, названных в отчёте [2], — профессоров Н. М. Книповича, К. М. Дерюгина (гидробиологи) и С. С. Станкова (ботаник), в эти годы на НБС приезжали работать и другие зоологи. В мемуарах В. А. Водяницкого [4] упомянуты: заведующие кафедрами Московского государственного университета Л. А. Зенкевич и В. В. Васнецов, Б. С. Матвеев и С. Г. Крыжановский; И. И. Шмальгаузен, в то время профессор Киевского университета; И. И. Пузанов, профессор Крымского университета.

Но для истории НБС наиболее интересны следующие две фразы из книги Владимира Алексеевича [4]: «Нам (супругам Водяницким. — К. Р.) было очень приятно встретиться с Арвидом Либорьевичем Бенингом. Знакомя Бенинга со станцией, мы показали ему и заветные три тетрадки, с которых она началась».

О А. Л. Бенинге и его роли в создании НБС см. в [8]. Здесь же отметим лишь то, что в рассматриваемый период времени он популяризировал эту станцию за рубежом (рис. 1).

Отчёт о деятельности НБС в 1928 г. [3] начинался констатацией того факта, что Научно-техническое управление Высшего совета народного хозяйства СССР признало необходимым выделить станцию из подчинения КЧНИИ. Мнение это было поддержано Главным учёным советом и коллегией Наркомпроса. Постановлением от 28.08.1928 Совнарком предложил Высшему совету народного хозяйства договориться относительно передачи НБС в ведение Наркомпроса. Но до конца года передачу станции оформить не удалось, что очень тяжело сказалось на её материальном положении, так как Научно-техническое управление отпустило средства лишь для оплаты троих научных сотрудников и покрытия хозяйственных нужд.

Сотрудники НБС проводили исследования в Новороссийской бухте и в районе от Геленджика до Абрау-Дюрсо. В. А. Водяницкий, выполняя тему «Изучение пелагической икры рыб и её развития», начал регулярные наблюдения в Новороссийской бухте и открытом море в конце июля и продолжал их до конца сентября, захватив икрометание рыб, приуроченное к тёплому времени года. За этот период констатировано до 15 видов икры и мальков, из них для 7 видов цикла развития прослежены подробно, вплоть до полного всасывания желточного мешка. Особенно существенными явились изучение неизвестного до тех пор цикла развития камбалы *Rhombus maeoticus*³, а также находка характерной икры, совершенно сходной с икрой северной камбалы *Drepanopsetta*⁴ (факт, требовавший дальнейшего расследования). В зимние месяцы констатировано обильное икрометание шпрота — *Spratella sulinae*⁵. Работа должна была продолжаться ряд лет и захватить все сезоны года. В. А. Водяницкий и С. М. Маляцкий (тема «Исследование миграции сельдей») в течение

³В настоящее время — *Scophthalmus maeoticus* (Pallas, 1814).

⁴В настоящее время — *Hippoglossoides*.

⁵В настоящее время — *Spratthus sprattus* (Linnaeus, 1758).

2. Die Hydrobiologische Station zu Noworossijsk.

Die in Noworossijsk, im äußersten Nordwesten des Kaukasus, gelegene Station wurde 1921 gegründet. Die Station ist dem Forschungsinstitut zu Krassnodar (früher Jekaterinodar) unterstellt und wird von der wissenschaftlich-technischen Abteilung des Obersten Volkswirtschaftsrats finanziert. Gegenwärtig sind drei Personen an der Station tätig. Leiter ist W. A. Wodjanitzky.

Die Station erforscht die Flora und Fauna entlang der Nordwestküste des Kaukasus, besonders diejenigen in der Bucht von Noworossijsk. Gegenwärtig werden außerdem die biologischen Verhältnisse in dem Sudschukschen Limane (Meerbusen) — einem starkbesuchten Schlammbad —, sowie die Biologie einiger Altwässer des Kubanflusses erforscht.

Seit dem vorigen Jahre ist die Station in engere Föhlung mit der Schwarzmeer-Asowschen Expedition von Knipowitsch getreten und wird von diesem Jahre ab der Leiter derselben, Prof. N. M. Knipowitsch, dem wissenschaftlichen Rat der Station vorstehn.

Die Station verfügt über 2 eigene Zimmer, besitzt 4 Mikroskope, die nötigsten Fanggeräte und ein Segelboot, mit welchen in Tiefen bis zu 24 m gedredgt wird.

Es wäre für die Station, welche 1923 ihr erstes Heft „Arbeiten“ herausgegeben hat, sehr erwünscht, wenn die auswärtigen, namentlich die europäischen marinen Stationen, auch ihrer bei ihrem Schriftenaustausch gedenken würden.

Рис. 1. Фрагмент из обзора А. Л. Бенинга [9]

Fig. 1. Fragment from the Arvid Behning's review [9]

всего года вели наблюдения над уловами сельди в Новороссийском районе. Был составлен графический дневник уловов, где сопоставлены их размеры, сила и направление ветров, температура морской воды (от Керчи до Туапсе). Подмеченные ранее закономерности в перемещении сельдей разработаны более детально, и на основании их предложен опыт предсказаний подхода сельдей в зимнем сезоне. Продолжались и наблюдения над биологией мальков кефалей, уже давшие ряд существенных сведений.

Тема «Обследование донных отложений и флоры Геленджикской бухты», выполнявшаяся Н. В. Морозовой-Водяницкой, явилась продолжением исследований НБС по сравнительной экологии и распределению водорослей в бухтах Чёрного моря (прежде станцией были обследованы бухты Севастопольская, Балаклавская и Новороссийская). Одной из задач этой работы было «установление шкалы водорослей — показателей загрязнённости морской воды, что... в значительной степени достигнуто». Для исследований по теме «Количественный учёт донной флоры Новороссийской бухты в связи с химическим режимом воды» (исполнители — Н. В. Морозова-Водяницкая, С. С. Елизарова, Т. Гура и В. Есырева) избрали 14 характерных пунктов, в каждом из которых определяли (подсчётом и взвешиванием) систематический и количественный состав флоры (на 1 м²) и одновременно определяли «руководящие химические свойства воды». Изучались, с одной стороны, продуктивность водоёма, а с другой — влияние отдельных представителей и ассоциаций водорослей (которых было установлено около 30 типов) на газовый режим бухты.

Работая по теме «Обследование донных отложений, флоры и фауны у входа в бухту», В. А. Водяницкий и Н. В. Морозова-Водяницкая обнаружили, что поперёк широкого (7 км) входа в бухту имеется ряд каменистых отмелей глубиной 8–12 м, покрытых густыми зарослями *Cystoseira*

с многочисленными эпифитами, среди которых, в отличие от подобных зарослей в самой бухте, есть *Codium* и *Phyllophora*. Здесь заросли *Cystoseira* опускаются на более значительную глубину (до 25 м), чем в самой бухте (до 10 м). По одну сторону от отмелей расположена котловина бухты, глубиной до 25 м, покрытая довольно бедным жизнью серым мидиевым илом, а по другую сторону, к открытому морю, имеется значительное плато глубиной 30–40 м, покрытое мощными зарослями *Phyllophora* с чрезвычайно обильным животным населением (губки, асцидии, мшанки и др.). Здесь же встречены прогалины, покрытые мелким ракушечником *Cerastoderma*, с большим количеством иглокожих *Cucumaria* и *Amphiura*. На глубинах 30–35 м обнаружены большие окатанные камни — очевидно, остатки бывшей ранее сплошной перемычки, закрывавшей нынешнюю Новороссийскую бухту.

Начиная работу по теме «Гидробиологическое обследование озера Абрау», В. А. Водяницкий и С. М. Малятский поставили своей задачей изучить, насколько возможно, водоём с лимнологической и биологической сторон. При первых же экскурсиях в озере обнаружена в огромном количестве неизвестная форма сардельки (*Harengula abrau*⁶), что окончательно решило вопрос о морском происхождении Абрау. Удалось изучить её размножение и развитие её икры и личинок. Икра оказалась пелагической, характерной для морских рыб. Подтвердилось обитание в озере голяна *Phoxinus phoxinus* (Linnaeus, 1758), также в большом количестве.

Обследованы донные отложения, фауна и планктон Абрау. Впервые в озере найдены мшанки (вид тогда был не определён⁷), обитающие на камнях на глубине 3–6 м. Донная фауна червей и личинок Chironomidae очень бедна, основой питания рыб являлись, очевидно, ракообразные, в том числе (на первом месте) *Mesomysis*⁸, водящиеся в водоёме в большом количестве. В противоположность существовавшим в литературе взглядам, в озере обнаружен обильный животный планктон, и главной его составной частью оказались Copepoda, в том числе *Heterocope caspia* Sars G. O., 1897. Станция проводила круглогодичный цикл наблюдений над жизнью озера.

Научные сотрудники НБС вели и другие работы. Н. В. Морозова-Водяницкая изучала распределение в Новороссийской бухте зарослей *Zostera*, приступила совместно с Т. Гура к альгологическому обследованию горных рек и ручьёв в окрестностях Новороссийска, обрабатывала материалы по флоре Керченской бухты (по сборам станции в 1927 г.) и препараты по цитологии харовой водоросли *Lamprothamnus*, приготовила рукопись «Основные черты распределения водорослей в бухтах Чёрного моря».

С. М. Малятский обследовал ихтиофауну горных речек Новороссийского района, изучил промыслы и биологию кефалей, собирал материал по фауне рыб Новороссийской бухты, исследовал биометрию найденной им в озере Абрау сардельки, оказавшейся новым видом *Harengula abrau*, готовил материалы к работе о миграции сельдей.

Сотрудники станции выступали с докладами на съездах — на зоологическом в декабре 1927 г. и ботаническом в январе 1928 г. Обоими съездами приняты резолюции, отмечающие научные достижения станции и высказывающие пожелания о её дальнейшем укреплении и развитии, причём зоологический съезд высказался за передачу станции в ведение одного из учреждений, занимающихся научным исследованием водоёмов.

Кроме постоянных сотрудников, на станции работали: Н. П. Анненкова (Polychaeta), Г. Э. Гиттерман (Decapoda), Т. И. Гура (фитопланктон пресных вод), С. С. Елизарова (влияние pH на развитие икры хамсы), В. И. Есырева (водоросли), А. Кротов (общий практикум по зоологии), А. М. Попов (рыбы), Ц. И. Роговская (общий практикум по гидробиологии), Н. И. Цешинская (цитология водорослей), П. М. Христюк (ознакомление с литературой по питанию рыб), В. Воробьев

⁶В настоящее время — *Clupeonella abrau* (Maliatsky, 1930).

⁷В настоящее время — *Fredericella* sp.

⁸В настоящее время — *Limnomysis benedeni* Czerniavsky, 1882.

и М. С. Морозенко (собрание материалов для практических занятий). Председатель совета станции проф. Н. М. Книпович в течение лета неоднократно посещал станцию и знакомился с текущими работами; он дал ряд ценных советов и указаний.

Издательская деятельность станции выразилась в напечатании статьи покойного профессора В. М. Арнольди по черновым рукописям, переданным станции его вдовой [1].

Оборудование станции пополнилось очень незначительно. Были изготовлены новые планктонные сетки — средняя типа «Цеппелин» и средняя количественная, бимтрал (ширина зева — 2 м) и драга нового образца для сбора водорослей (для Н. В. Морозовой-Водяницкой) — трёхгранная, из полосового железа, с большими зубьями, оказавшаяся очень удобной для извлечения с больших глубин крепко сидящих водорослей. В помещении НБС произведены перестройка и частичный ремонт (обошёлся примерно в 600 руб.), в результате чего рабочая площадь станции пополнилась одной комнатой и небольшой галереей, пригодной для летних работ. Сведения о деятельности НБС в 1929–1932 гг. даёт отчёт [7], вышедший через несколько лет после описанных в нём событий.

По ходатайству Народного комиссариата просвещения РСФСР, обратившего внимание на научные достижения НБС и на её затруднительное положение, станция с 01 октября 1929 г. перешла в ведение сектора науки этого наркомата. КЧНИИ, которому она подчинялась ранее, вскоре был разделён на несколько институтов прикладного характера. Вследствие реорганизации НБС значительно окрепла, получив средства на оборудование и операционные расчёты. Это дало возможность увеличить штат работников, улучшить материальную базу, расширить исследования флоры Чёрного моря и изучение некоторых фаунистических тем. Кроме того, станция начала исследования обрастания портовых сооружений и систематики беспозвоночных и рыб.

К концу 1929 г. штат станции состоял из директора — зоолога В. А. Водяницкого, трёх научных сотрудников — альголога Н. В. Морозовой-Водяницкой, зоолога В. Воробьева, ихтиолога С. М. Мясковского, двух технических работников. В 1930 г. штат НБС увеличился в связи с приглашением альгологов Л. И. Чайко и М. Г. Каптаренко, а годовой бюджет возрос до 30 тыс. руб. (в 1926–1929 гг. он не превышал 6–6,5 тыс. руб.).

В конце 1930 г. учёный совет при НБС был реорганизован: в него ввели представителей организаций и учреждений Новороссийска. В его составе выделили три секции — рыбопромысловую, санитарно-биологическую и по изучению обрастаний и повреждений портовых сооружений. Согласно отчёту [7], *«работа секций была весьма плодотворна в организационном, методическом и материальном отношении»*.

В 1931 г. штат НБС увеличился до 16 человек, а бюджет — до 54 тыс. руб. Были приглашены заместитель директора — биохимик-микробиолог Е. А. Потеряев, гидролог И. П. Ротарь, химик Ю. Штетко, зоолог Е. Г. Косякина и альголог З. Н. Михайловская. Наконец, в 1932 г. бюджет достиг 85 тыс. руб. за счёт средств по договорам на санитарно-биологические исследования для Новороссийска. Значительно пополнились оборудование станции и её библиотека (до 5000 томов специальной литературы по гидробиологии). Помещение станции расширилось за счёт пристройки и капитального ремонта подсобных помещений, но рабочая площадь под лабораториями осталась недостаточной.

Согласно отчёту [7], НБС в 1930 г. провела экспедицию по изучению распределения флоры и фауны в портах и бухтах Чёрного моря, в 1931 г. — экспедицию для количественного учёта водорослей по Северо-Кавказскому и Крымскому побережью Чёрного моря. Однако лишь в начале 1932 г. был спущен на воду первый парусно-моторный катер, специально оборудованный для морских гидрологических и гидробиологических исследований. Тем самым район исследовательской работы был расширен до акватории от Анапы до Сочи и прочно закреплён за станцией. В 1929–1932 гг. В. А. Водяницкий выполнял темы «Пелагические яйца и личинки рыб Новороссийской бухты», «Фауна озера Абрау», «Зоопланктон Прикубанских лиманов» и «Пелагические яйца и личинки рыб Чёрного моря». Н. В. Морозова-Водяницкая проводила исследования по темам

«Продуктивность донной растительности Чёрного моря», «Биология водорослей Чёрного моря», а совместно с В. Воробьевым — по теме «Сравнительный анализ распределения флоры и фауны в портах Чёрного моря». Кроме того, В. Воробьев самостоятельно выполнял темы «Обрастания подводных сооружений» и «Многощетинковые черви Кавказского побережья». Е. А. Потеряев работал по темам «Условия минерализации сточных вод в морской воде», «Санитарные исследования в Новороссийской бухте к проекту канализации города Новороссийска», «Гидрохимия Новороссийской бухты», а совместно с В. Воробьевым и др. — по темам «Влияние сточных вод на флору и фауну моря» и «Справочник по Новороссийской бухте для водного кадастра». Л. И. Чайко исследовала тему «Фитопланктон Новороссийской бухты», М. Г. Каптаренко — темы «Практическое использование морских водорослей» и «Темп роста морских водорослей», Е. Г. Косякина — тему «Зоопланктон Новороссийской бухты», З. Н. Михайловская — тему «Систематика и биология сине-зелёных водорослей Чёрного моря», И. П. Ротарь — тему «Гидрология Новороссийской бухты».

Были изданы два выпуска первого тома «Работ Новороссийской биологической станции имени профессора В. М. Арнольди» — 4-й (1930) и 5-й (1931). Как указано в отчёте [7], в 1930 г. в сборник вошли статьи В. А. Водяницкого («К вопросу о происхождении фауны рыб Чёрного моря», «Пелагические яйца и личинки рыб в районе Новороссийской бухты», «К познанию фауны озера Абрау») и Н. В. Морозовой-Водяницкой («Сезонная смена и миграции водорослей Новороссийской бухты», «Материалы к санитарно-биологическому анализу морских вод»), а в 1931 г. — статья С. М. Маляцкого «Миграции сельдей в северо-восточной части Чёрного моря».

В конце 1931 г. В. А. Водяницкий по совместительству поступил на должность заместителя директора Севастопольской биологической станции, оставаясь в то же время директором НБС (до 1934 г.). Вместе с ним уехала, уволившись с НБС, Н. В. Морозова-Водяницкая. Заведовать станцией стал Е. А. Потеряев.

Несколько дополнений к отчёту [7] из воспоминаний В. А. Водяницкого [4]: *«Очень активно работала на станции группа местных жителей. Они пришли к нам, не имея специальной подготовки, но быстро освоились с практической работой. Многие из них затем заочно завершили своё высшее образование. В их числе были Е. Г. Косякина — пианистка и языковед, с успехом занимавшаяся зоо- и ихтиопланктоном, З. Н. Михайловская, быстро освоившая специальность фитопланктолога, З. М. Пчелина, проявившая большие способности в изучении ихтиопланктона, М. Г. Каптаренко, работавшая с Ниной Васильевной по макрофитам. Все они оставили заметный след в деятельности станции; опубликованные ими работы не потеряли значение и до настоящего времени.»*

Несколько позже к нам пришёл Владимир Петрович Воробьев, имевший хорошую зоологическую подготовку: по окончании Кубанского пединститута он три года работал ассистентом у выдающегося зоолога профессора Э. М. Мейера, который много лет был сотрудником Неаполитанской зоологической станции. С необыкновенной энергией принялся Воробьев за изучение бентоса бухты и фауны полихет. Его большие работы, к сожалению, остались неопубликованными: по какой-то причине они не вышли из набора, а рукописи во время войны погибли. Недюжинные способности Воробьева и приобретённый им опыт хорошо проявились позднее, когда он уже работал в Керченском институте рыбного хозяйства. Здесь он провёл ряд важных работ, и среди них великолепное исследование бентоса Азовского моря, за которое получил степень доктора биологических наук.

Мои работы по ихтиопланктону дали некоторые интересные результаты, и я решил выступить с докладом на Первом всесоюзном зоологическом съезде в Киеве (1930). Я привёз на Съезд только что вышедший выпуск работ Новороссийской биологической станции. До некоторой степени он являлся итогом наших исследований по экологии водорослей, по ихтиопланктону и озеру

Абрау. Мы получили много одобрительных писем, и в частности от Сергея Алексеевича Зернова. И если раньше нас поддерживали как бы авансом, то теперь многие поверили в то, что наша молодая станция оправдывает возлагаемые на неё надежды. Н. М. Книпович сообщил, что он широко использует наши работы в своей новой книге по гидрологии и биологии Чёрного моря, которая явится завершением результатов черноморской научно-промысловой экспедиции. Всё это было чрезвычайно важно для станции: появилась точка опоры для дальнейшего развития нашей работы.

Вскоре мы получили официальное постановление Президиума АН СССР о приглашении Нины Васильевны и меня на работу на Севастопольскую биологическую станцию. В Севастополе предоставлялись новые возможности для работы; там наши исследования имели перспективы дальнейшего развития и в теоретическом, и в практическом отношениях. Мы решили, что Новороссийская станция уже крепко стоит на ногах, подготовлена надёжная смена, установлены достаточно широкие связи с научными учреждениями.

По требованию Главнауки я после перехода в Севастополь в течение двух лет регулярно каждые 3–4 месяца приезжал в Новороссийск. Оставаясь там на несколько дней, я давал всевозможные консультации сотрудникам станции, оказывал помощь в научном руководстве их работами. Тем временем станция приступила к выполнению морских санитарно-биологических исследований и специального задания по детальному описанию ряда портовых районов Кавказского побережья, в том числе и Новороссийской бухты».

Примечание:

Константина Викторовича Русанова не стало 12 декабря 2018 г. Он был увлечён изучением истории морской биологии на Чёрном море, и наш журнал опубликовал ряд его интересных работ. Константин Викторович успел закончить и эту статью, но готовила её к печати уже его вдова Евгения Георгиевна Русанова. Научное редактирование осуществил Н. В. Шадрин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Арнольди В. М. Очерк водорослей Приазовских лиманов // *Труды Кубано-Черноморского научно-исследовательского института*. 1928. Вып. 57. 16 с. [Arnoldi V. M. Ocherk vodoroslei Priazovskikh limanov. *Trudy Kubano-Chernomorskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta*, 1928, iss. 57, 16 p. (in Russ.)]
2. Водяницкий В. А. Отчет о работе Новороссийской биологической станции имени проф. В. М. Арнольди за 1927 г. // *Русский гидробиологический журнал*. 1928. Т. 7. С. 90–93. [Vodyanitsky V. A. Otchet o rabote Novorossiiskoi biologicheskoi stantsii imeni prof. V. M. Arnol'di za 1927 g. *Russkii gidrobiologicheskii zhurnal*, 1928, vol. 7, pp. 90–93. (in Russ.)]
3. Водяницкий В. А. Отчет о работе Новороссийской биологической станции им. В. М. Арнольди за 1928 г. // *Русский гидробиологический журнал*. 1929. Т. 8, № 6–7. С. 194–197. [Vodyanitsky V. A. Otchet o rabote Novorossiiskoi biologicheskoi stantsii im. V. M. Arnol'di za 1928 g. *Russkii gidrobiologicheskii zhurnal*, 1929, vol. 8, no. 6–7, pp. 194–197. (in Russ.)]
4. Водяницкий В. А. *Записки натуралиста*. Москва : Наука, 1975. 192 с. [Vodyanitsky V. A. *Zapiski naturalista*. Moscow: Nauka, 1975, 192 p. (in Russ.)]
5. Зинова Е. С. Несколько водорослей Новороссийской бухты // *Труды Ленинградского общества естествоиспытателей*. 1927. Т. 57, вып. 3. С. 45–68. [Zinova E. S. Neskol'ko vodoroslei Novorossiiskoi bukhty. *Trudy Leningradskogo obshchestva estestvoispytatelei*, 1927, vol. 57, iss. 3, pp. 45–68. (in Russ.)]
6. Зинова Е. С. Водоросли Черного моря, окрестностей Новороссийской бухты и их использование // *Труды Севастопольской биологической станции АН СССР*. 1935. Т. 4. 136 с. [Zinova E. S. Vodorosli Chernogo morya, okrestnostei Novorossiiskoi bukhty i ikh ispol'zovanie. *Trudy Sevastopol'skoi biologicheskoi stantsii AN SSSR*, 1935, vol. 4, 136 p. (in Russ.)]
7. Потеряев Е. А. Отчет о деятельности Новороссийской биологической станции им. В. М. Арнольди за 15 лет // *Труды Новороссийской биологической станции им. В. М. Арнольди*. 1936.

- Т. 2, вып. 1. С. 3–16. [Poteryaev E. A. Otchet o deyatelnosti Novorossiiskoi biologicheskoi stantsii im. V. M. Arnol'di za 15 let. *Trudy Novorossiiskoi biologicheskoi stantsii im. V. M. Arnol'di*, 1936, vol. 2, iss. 1, pp. 3–16. (in Russ.)]
8. Русанов К. В. Н. В. Морозова-Водяницкая на Новороссийской биологической станции: первые годы – самые трудные // *Морской биологический журнал*. 2018. Т. 3, № 1. С. 61–72. [Rusanov K. V. N. V. Morozova-Vodyanitskaya in the Novorossiysk biological station: the early years (1920–1926) where the most difficult ones. *Morskoy biologicheskij zhurnal*, 2018, vol. 3, no. 1, pp. 61–72. (in Russ.)]. <https://doi.org/10.21072/mbj.2018.03.1.07>
9. Behnin A. Die Russischen Hydrobiologischen Institutionen am Schwarzen Meer. *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie*, 1927, vol. 17, iss. 5–6, pp. 357–361. <https://doi.org/10.1002/iroh.19270170509>
10. Rylov V. M. Über zwei neue Diaptomus-Arten aus dem Kaukasus. *Zoologischer Anzeiger*, 1927, bd. 73, nu. 3–4, ss. 59–67.

**NOVOROSSIYSK BIOLOGICAL STATION
NAMED AFTER PROFESSOR V. M. ARNOLDI
IN 1927–1932**

K. V. Rusanov

Kharkov, Ukraine

E-mail: kokamoka51@gmail.com

On the basis of reports and memories, the history of the Novorossiysk Biological Station named after Professor V. M. Arnol'di in 1927–1932 is presented. In this period, the Station was headed by V. A. Vodyanitsky.

Keywords: V. A. Vodyanitsky, Novorossiysk, biological station, history, 1927–1932, ichthyology, hydrobiology, climatology, ecology of algae



ЗАМЕТКИ

УДК 582.273(261.24)

**О НАХОДКАХ КРАСНОЙ ВОДОРОСЛИ
GAILLONA ROSEA (ROTH) ATHANASIADIS (RHODOPHYTA)
В РОССИЙСКОЙ ЧАСТИ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ БАЛТИКИ**

© 2019 г. **А. А. Володина**

Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН, Москва, Россия

E-mail: volodina.alexandra@gmail.com

Поступила в редакцию 15.02.2019; после доработки 26.02.2019;
принята к публикации 22.05.2019; опубликована онлайн 24.06.2019.

Приведены сведения о первых находках *Gaillona rosea* (Roth) Athanasiadis 2016:814 (*Aglaothamnion roseum* (Roth) Maggs & L'Hardy-Halos 1933:522) в российской части Юго-Восточной Балтики. Пробы водорослей в российской части Юго-Восточной Балтики вдоль побережья Калининградской области на глубинах 1–15 м отбирали на северном побережье Самбийского полуострова в районе м. Таран и м. Гвардейский на станциях, приуроченных к твёрдым грунтам. Первые образцы талломов *G. rosea* осенью 2015 г. собраны в плавающих матах многолетних водорослей *Furcellaria lumbricalis* и *Polysiphonia fucoides*, обнаруженных вдоль западного и северного побережья Самбийского полуострова (м. Таран) на глубинах 1,5–7 м. Для побережья Гданьского залива (западный берег Самбийского полуострова) находки вида в 2015 г. — это первая регистрация. В июле 2016 г. вид обнаружен в пробах на м. Таран на глубине 0,5 м. Размеры талломов не превышают 3 см. Вид встречается с *F. lumbricalis* и *P. fucoides* как в прикрепленных сообществах, так и в дрейфующих матах. В Балтийском море *G. rosea* довольно распространён, за исключением Гданьского залива и самой северной части Балтики, характеризующейся низкой солёностью. В сопредельных литовских водах данные об обилии вида отсутствуют. Учитывая, что находки вида редки и в российской части ЮВБ, можно заключить, что *G. rosea* редок во всей Юго-Восточной Балтике.

Ключевые слова: Юго-Восточная Балтика, макроводоросли, *Gaillona rosea*, *Aglaothamnion roseum*

Gaillona rosea (Roth) Athanasiadis 2016:814 (Rhodophyta, Ceramiales, Callithamniaceae) именовался ранее *Aglaothamnion roseum* (Roth) Maggs и L'Hardy-Halos 1833:522, а также *Callithamnion roseum* (Roth) Harvey 1819:129 и *Ceramium roseum* Roth 1798:47 [2]. В Балтийском море *G. rosea* довольно распространён [3], за исключением Гданьского залива и самой северной части Балтики [3, 8] (Northern Quark), где солёность понижена до 4‰ [1], но чаще он встречается в Западной Балтике до Дарсского порога, а также вдоль побережья Швеции и юго-западного побережья Финляндии [8]. Встречаемость вида в море нестабильна [6], он не образует значительных скоплений и везде имеет малые размеры талломов длиной 2–6 см [8, 9]. По данным Torn [10], вид обнаружен как в районах с низкой концентрацией биогенов, так и в умеренно-загрязнённых бухтах. Водоросль чаще регистрируют в заливах, а также в проливах между островами и материком [1, 2, 3, 6, 8, 10]; вдоль открытых берегов Балтики она редка. Например, в литовской акватории Юго-Восточной Балтики

(далее — ЮВБ) *G. rosea* последний раз был обнаружен в 1998 г., однако данные о его обилии неизвестны, а сам он, наряду с другими красными водорослями, считается редким [4, 5, 7]. В других морях РФ вид не встречается.

Исследования флоры макроводорослей российского побережья ЮВБ проводятся нами с 2008 г. водолажным методом на 119 станциях на глубинах 1–15 м вдоль побережья Самбийского полуострова. Всего в 2008–2016 гг. водолажным методом собрано 292 пробы прикреплённых растений, и только в 2016 г. в одной из проб обнаружен *G. rosea* (рис. 1). Собранные образцы водорослей хранятся в гербарии лаборатории морской экологии ИО РАН.

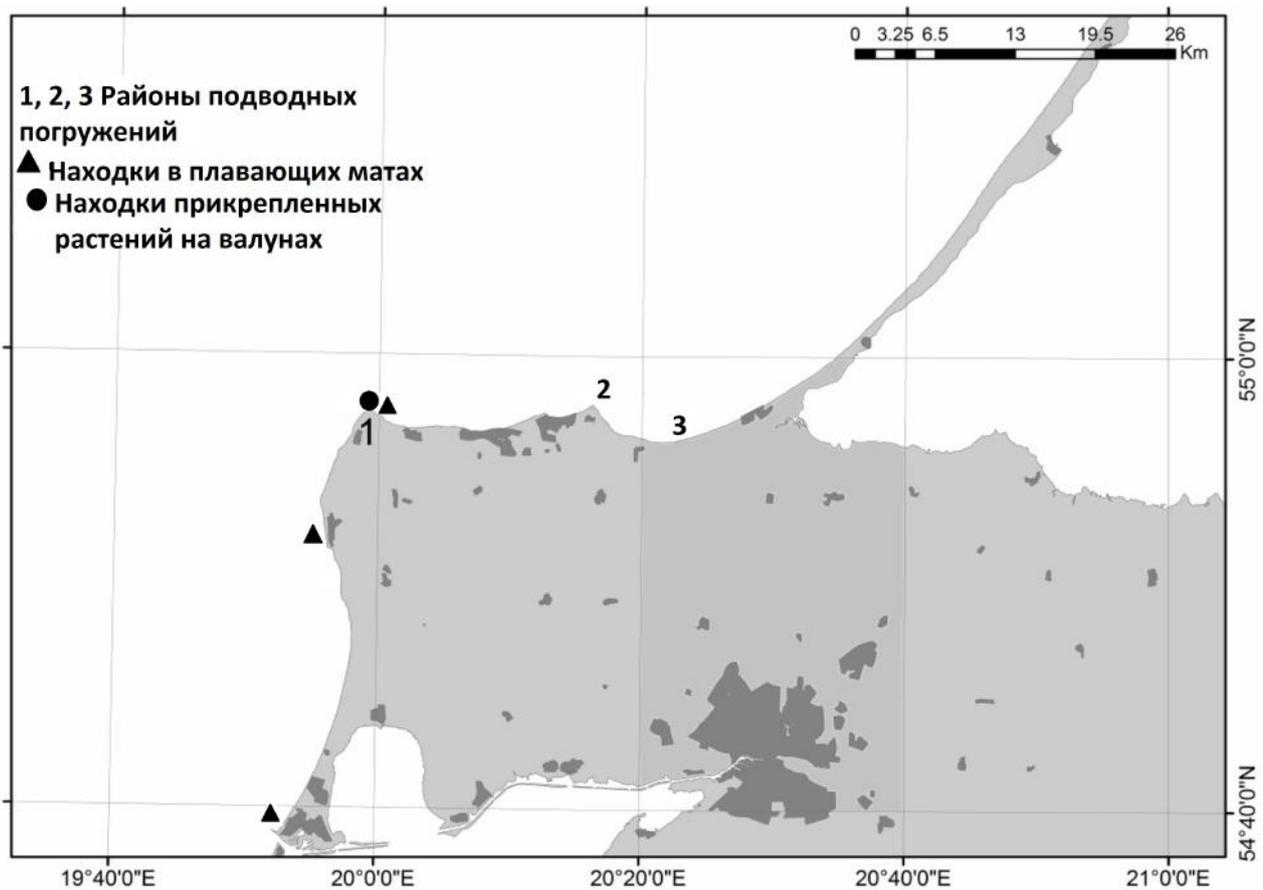


Рис. 1. Карта-схема отбора проб. 1 — м. Таран; 2 — м. Гвардейский; 3 — Сокольники

Fig. 1. The map of sampling. 1 – Cape Taran; 2 – Cape Gvardeysky; 3 – Sokol'niki

Находки *G. rosea* в 2015–2016 гг. вдоль побережья Калининградской области — первая регистрация вида в российской части ЮВБ и в Гданьском заливе. Размеры талломов водоросли не превышали 3 см. Осенью 2015 г. *G. rosea* найден в штормовых матах *Furcellaria lumbricalis* и *Polysiphonia fucoides* (12.09.2015; 05.10.2015; 13.11.2015), дрейфовавших вдоль западного и северного побережья Самбийского полуострова на глубинах 1,5–7 м (рис. 2). В состав матов также входили виды *Cladophora rupestris*, *Ceramium virgatum*, *Battersia arctica*, встречающиеся в сообществах *F. lumbricalis* в окрестностях м. Таран. В 2016 г. (26 июля) в районе м. Таран на глубине 0,5 м в ассоциации *Polysiphonia fucoides* + *Cladophora glomerata* обнаружен эпифитно 1 экземпляр *G. rosea* (1 таллом). Общее проективное покрытие водорослями составляло 40–90 %. В этой ассоциации произрастают также *C. rupestris*, *B. arctica*, *Ceramium tenuicorne*, *C. virgatum*. Таким образом, в местах обнаружения вид отмечен как в прикреплённых сообществах с *P. fucoides*, так и в дрейфующих матах *F. lumbricalis* и *P. fucoides*.



Рис. 2. *Aglaothamnion roseum*. Находка 05.10.2015. М. Таран. Увеличение ×3

Fig. 2. *Aglaothamnion roseum* found on October 10, 2015. Cape Taran. Magnification ×3

Поскольку в Балтийском море вид произрастает преимущественно в заливах и проливах, которые защищены от сильного штормового воздействия, редкость вида в Юго-Восточной Балтике можно объяснить открытостью побережья.

Исследования выполняются в рамках государственного задания Института океанологии имени П. П. Ширшова РАН «Морские природные системы Балтийского моря и Атлантического океана: формирование природных комплексов Балтийского моря и их изменение под влиянием Атлантического океана и антропогенного воздействия» (№ 0149-2019-0013).

Благодарность. Автор благодарит Володину Е., Лукошевичюса В., Пичугина А., Ливчикова В., Федотова П. за помощь в организации и проведении исследований в 2015–2016 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Bergström L., Bergström U. Species diversity and distribution of aquatic macrophytes in the Northern Quark, Baltic Sea. *Nordic Journal of Botany*, 1999, vol. 19, iss. 3, pp. 375–383. <https://doi.org/10.1111/j.1756-1051.1999.tb01131.x>
2. Guiry M.D., Guiry G.M. *AlgaeBase. World-wide electronic publication*. Galway: National University of Ireland. 2018. URL: <http://www.algaebase.org> [accessed 23.01.2019].
3. Kontula T., Fürhapter K. Documentation of the checklist and distribution data for Baltic Sea macrophyte species [including] Table 7.1: Checklist of Baltic Sea Macrophyte Species. In: *Checklist of Baltic Sea macro-species*. T. Kontula, J. Haldin (Eds). Helsinki: Helsinki Commission, 2012, pp. 9–12. (Baltic Sea Environment Proceedings ; no. 130).
4. Kostkevičiene J., Sinkevičiene Z. A preliminary checklist of Lithuanian macroalgae. *Botanica Lithuanica*, 2008, vol. 14, iss. 1, pp. 11–27.
5. Labanauskas V. Baltijos Jūros Lietuvos Priekrantės Šiaurinės Dalies Macroductilų Rūšių Įvairovė Paplitimas. *Botanica Lithuanica*, 1998, vol. 4, iss. 4, pp. 403–413.

6. Lakowitz K. *Die Algenflora der gesamten Ostsee*. Danzig u. a.: Friedländer, 1929, 474 p.
7. *Lietuvos Baltijos Jūros aplinkos apsaugos valdymo stiprinimo dokumentų parengimas* : III-oji Tarpinė Ataskaita. Klaipėda, 2012, 497 p.
8. Pankow H. *Ostsee-Algenflora*. Jena: G. Fischer Verlag, 1990, 648 p.
9. Pliński M., Surosz W. *Krasnorosty-Rhodophyta, Brunatnice – Phaeophyta – (Red Algae & Brown Algae)*. (With the English Key for the identification to the genus). Gdańsk: Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, 2013, 146 p. (Flora Zatoki Gdańskiej i wyd przyległych (Bałtyk Południowy) ; no. 6).
10. Torn L., Orav H. Recent distribution of *Aglaothamnion roseum* (Rhodophyta) in Estonian coastal waters, NE, Baltic Sea. *Proceedings of the Estonian Academy Sciences, Biology and Ecology*, 2002, vol. 51, no. 3, pp. 217–221.

**ON FINDINGS OF THE RED ALGA
GAILLONA ROSEA (ROTH) ATHANASIADIS (RHODOPHYTA)
IN THE RUSSIAN PART OF THE SOUTH-EASTERN BALTIC**

A. A. Volodina

Shirshov Institute of Oceanology, RAS, Moscow, Russian Federation
E-mail: volodina.alexandra@gmail.com

Information on the first findings of *Gaillona rosea* (Roth) Athanasiadis 2016:814 (*Aglaothamnion roseum* (Roth) Maggs & L'Hardy-Halos 1933:522) in the Russian part of the South-Eastern Baltic is given. Samples of algae in the Russian part of the South-Eastern Baltic along the coast of the Kaliningrad region at depths of 1–15 m were collected by diving method on the north coast of the Sambian Peninsula near Cape Taran and Cape Gvardeysky at the stations confined to hard ground. First samples of *G. rosea* collected from drifting mats of perennial algae *Furcellaria lumbricalis* and *Polysiphonia fucoides* were first registered along the west and north coast of the Sambian Peninsula (Cape Taran) at depths of 1.5–7 m in autumn 2015. The finding of the species in 2015 on the west coast of the Sambian Peninsula is the first registration for the coast of the Gdansk Bay. In July 2016, the species was found in samples at Cape Taran at a depth of 0.5 m. The length of the thalli does not exceed 3 cm. The species was registered with *F. lumbricalis* and *P. fucoides*, both in attached communities and in drifting mats. *G. rosea* is quite common in the Baltic Sea, with the exception of the Gdansk Bay and the northernmost part of the Baltic Sea, where the salinity is low. There is no data available on the abundance of the species in the adjacent Lithuanian waters. The species is rarely registered in the Russian part of the South-Eastern Baltic, and therefore *G. rosea* is rare in the entire South-Eastern Baltic Sea.

Keywords: South-Eastern Baltic Sea, macroalgae, *Gaillona rosea*, *Aglaothamnion roseum*

Российская академия наук
Зоологический институт
Институт морских биологических исследований
имени А. О. Ковалевского

Морской биологический журнал

Основан в феврале 2016 г.

Научное издание

Издатели журнала:
ФГБУН Зоологический институт РАН
ФГБУН «Институт морских биологических исследований имени А. О. Ковалевского РАН»

Печатается по рекомендации учёного совета
ФГБУН «Институт морских биологических исследований
имени А. О. Ковалевского РАН»
(протокол № 3 от 22.05.2019)

Свидетельство о государственной регистрации:
Сер. ПИ № ФС 77-64821 от 02.02.2016
Сер. Эл № ФС 77-64800 от 02.02.2016
ISSN 2499-9768 print
ISSN 2499-9776 online

Выпускающий редактор:
Довгаль И. В.

Корректор:
Копытова О. Ю.

Разработка оригинал-макета:
Геворгиз Р. Г.

Компьютерная вёрстка:
Баяндин А. С.

Оригинал-макет подготовлен в пакете \LaTeX (TeX Live 2015 / Debian Linux)
с использованием свободных шрифтов FreeSerif и FreeSans

Подп. к печати 22.05.2019	Формат 60 × 84/8	Бум. офсетная № 1	Печать офсетная
Уч.-изд. листов 12,1	Усл.-печ. листов 12	Тираж 150 экз.	Заказ № 06А/23

Отпечатано в ООО «ИТ "Ариал"», ОГРН 1149102043530 от 18.09.2014,
295015, г. Симферополь, ул. Севастопольская, 31-а/2, +7 978 71 72 901, it.ariel@yandex.ru



Вниманию читателей!

*Зоологический институт РАН,
Институт морских биологических исследований имени А. О. Ковалевского РАН*

*издают
научный журнал*

МОРСКОЙ БИОЛОГИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

- МБЖ — периодическое издание открытого доступа. Подаваемые материалы проходят независимое двойное слепое рецензирование. Журнал публикует обзорные и оригинальные научные статьи, краткие сообщения и заметки, содержащие новые данные теоретических и экспериментальных исследований в области морской биологии, материалы по разнообразию морских организмов, их популяций и сообществ, закономерностям распределения живых организмов в Мировом океане, результаты комплексного изучения морских и океанических экосистем, антропогенного воздействия на морские организмы и экосистемы.
- Целевая аудитория: биологи, экологи, биофизики, гидро- и радиобиологи, океанологи, географы, учёные других смежных специальностей, аспиранты и студенты соответствующих научных и отраслевых профилей.
- Статьи публикуются на русском и английском языках.
- Периодичность — четыре раза в год.
- Подписной индекс в каталоге «Пресса России» — E38872.

Заказать «Морской биологический журнал»

можно в научно-информационном отделе ИМБИ.
Адрес: ФГБУН «Институт морских биологических исследований имени А. О. Ковалевского РАН», пр. Нахимова, 2, Севастополь, 299011, Российская Федерация.
Тел.: +7 8692 54-41-10.
E-mail: mbj@imbr-ras.ru.

*Zoological Institute, RAS,
Kovalevsky Institute of Marine
Biological Research, RAS*

*publish
scientific journal*

MARINE BIOLOGICAL JOURNAL

- MBJ is an open access, peer reviewed (double-blind) journal. The journal publishes original articles as well as reviews and brief reports and notes focused on new data of theoretical and experimental research in the fields of marine biology, diversity of marine organisms and their populations and communities, patterns of distribution of animals and plants in the World Ocean, the results of a comprehensive studies of marine and oceanic ecosystems, anthropogenic impact on marine organisms and on the ecosystems.
- Intended audience: biologists, ecologists, biophysicists, hydrobiologists, radiobiologists, oceanologists, geographers, scientists of other related specialties, graduate students, and students of relevant scientific profiles.
- The articles are published in Russian and English.
- The journal is published four times a year.
- The subscription index in the “Russian Press” catalogue is E38872.

You may order Marine Biological Journal

in the Scientific Information Department of IMBR.
Address: Kovalevsky Institute of Marine Biological Research RAS, 2 Nakhimov avenue, Sevastopol, 299011, Russian Federation.
Tel.: +7 8692 54-41-10.
E-mail: mbj@imbr-ras.ru.