

Комплексные исследования экологического состояния прибрежной акватории Севастополя (Западный Крым, Черное море)

**В. И. Рябушко*, С. В. Щуров, Н. П. Ковригина,
Е. В. Лисицкая, Н. В. Поспелова**

*Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН,
Севастополь, Россия*

**e-mail: rabushko2006@yandex.ru*

Поступила 10.11.2019 г.; принята к публикации 21.02.2020 г.; опубликована 25.03.2020 г.

Настоящая работа выполнена с целью анализа результатов гидрологических, гидрохимических и гидробиологических исследований, проведенных в 2018–2019 гг. в районе севастопольского взморья в различные гидрологические сезоны. Мониторинг состояния водной среды и биоты проведен на полигоне Кача от устья реки Бельбек до мыса Маргопуло. Выполнено пять комплексных съемок на 15 станциях. В пробах определяли температуру, соленость, растворенный кислород, биохимическое потребление кислорода (БПК₅), окисляемость, содержание кремния, минеральных форм азота и фосфора, качественные и количественные показатели фито- и меропланктона. Установлено, что полигон Кача имеет однородную пространственную термохалинную структуру. Влияние пресных вод на распределение солености не обнаружено. Отмечена высокая обеспеченность кислородом, низкие величины биохимического потребления кислорода и окисляемости, а также низкие и однородные концентрации минеральных форм азота и фосфора. Значения индекса эвтрофикации (*E-TRIX*), которые изменялись от 1.44 до 2.20, свидетельствуют о низком трофическом уровне акватории. Зарегистрировано 63 вида микроводорослей. Численность потенциально токсичных видов была минимальной. В меропланктоне идентифицированы личинки 45 видов донных беспозвоночных. Минимальное число видов (5) отмечено в марте, максимальное (24) – в летний сезон. Рекомендовано продолжение мониторинга гидрологического, гидрохимического и экологического состояния акватории и биоты.

Ключевые слова: температура, соленость, кислород, биогенные вещества, фитопланктон, меропланктон, Черное море.

Благодарности: работа выполнена по теме государственного задания ИнБЮМ РАН «Исследование механизмов управления продукционными процессами в биотехнологических комплексах с целью разработки научных основ получения биологически активных веществ и технических продуктов морского генезиса», номер гос. регистрации АААА-А18-118021350003-6. Авторы выражают благодарность А. И. Акимову за предоставленные данные по содержанию хлорофилла *a*.

© Рябушко В. И., Щуров С. В., Ковригина Н. П., Лисицкая Е. В., Поспелова Н. В., 2020



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0)

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License

Для цитирования: Комплексные исследования экологического состояния прибрежной акватории Севастополя (Западный Крым, Черное море) / В. И. Рябушко [и др.] // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2020. № 1. С. 103–118. doi:10.22449/2413-5577-2020-1-103-118

Comprehensive Research of the Environmental Status of Coastal Waters of Sevastopol (Western Crimea, Black Sea)

**V. I. Ryabushko*, S. V. Shchurov, N. P. Kovrigina,
E. V. Lisitskaya, N. V. Pospelova**

A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia

**e-mail: rabushko2006@yandex.ru*

Submitted 10.11.2019; revised 21.02.2020; published 25.03.2020

The status of the aquatic environment and biota in the Sevastopol coastal area was monitored in five expeditions in 2018–2019. The sampling was performed at 15 sites from the mouth of the Belbek River to Cape Margopulo. Temperature, salinity, dissolved oxygen, biochemical oxygen demand (BOD₅), oxidizability, silicates, mineral forms of nitrogen and phosphorus, and qualitative and quantitative phyto- and meroplanktonic indicators were determined in the samples. It is established that the Kacha region has a uniform spatial thermohaline structure. The influence of the riverine runoff on the distribution of salinity is not found. High oxygen supply, low biochemical oxygen demand and oxidizability as well as low and uniform concentrations of mineral forms of nitrogen and phosphorus are noted. The values of the eutrophication index (E-TRIX), which vary from 1.44 to 2.20, indicate the low trophic level of waters. 63 species of microalgae are registered, among which the number of potentially toxic species is negligible. In meroplankton, larvae of 45 species of bottom invertebrates have been identified. The minimum number of species (5) was noted in March, and the maximum (24) was observed in summer. It is advisable to continue to monitor the oceanographic, hydrochemical and ecological status of the water area under study.

Keywords: temperature, salinity, oxygen, nutrients, phytoplankton, meroplankton, the Black Sea.

Acknowledgements: the work is performed under state order on topic of IBSS of RAS “Study of Control Systems of Biotechnological Complex Production Processes Aimed at Development of Scientific Basis for Obtaining Biologically Active Agents and Technical Products of Marine Origin”, state registration No. AAAA-A18-118021350003-6.

The authors are grateful to A. I. Akimov for provision of data on chlorophyll-a content.

For citation: Ryabushko, V.I., Shchurov, S.V., Kovrigina, N.P., Lisitskaya, E.V. and Pospelova, N.V., 2020. Comprehensive Research of the Environmental Status of Coastal Waters of Sevastopol (Western Crimea, Black Sea). *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (1), pp. 103–118. doi:10.22449/2413-5577-2020-1-103-118 (in Russian).

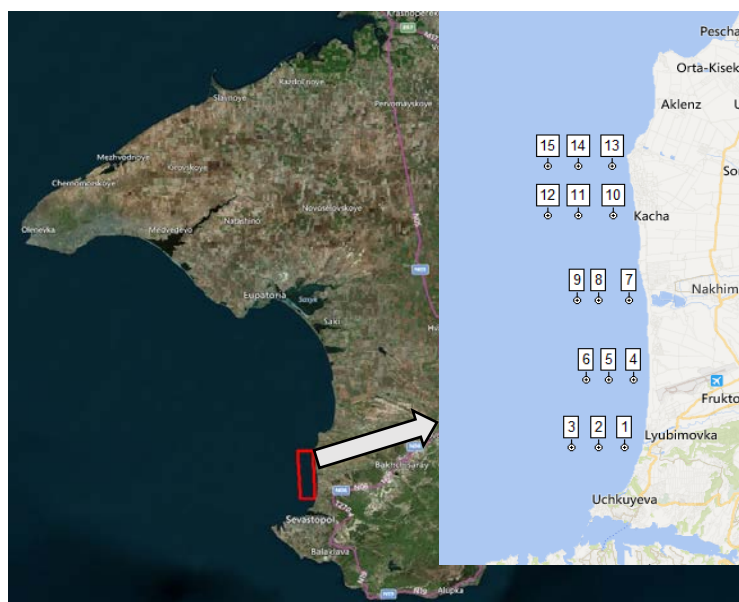
Результаты комплексных исследований, выполненных в 2018 г. в прибрежной зоне от устья р. Бельбек до м. Маргопуло (далее – полигон Кача), позволили рекомендовать данный район для развития марихозяйств [1]. В 2019 г. в исследуемой акватории была установлена первая мидийная

ферма, а также выделено несколько районов для создания впоследствии морских фермерских хозяйств. Представляет интерес дальнейший мониторинг состояния водной среды и биоты в период функционирования морских ферм, так как вопрос о влиянии марихозяйств на окружающую среду становится особенно актуальным. Полученные данные позволяют контролировать экологическое состояние прибрежных вод в длительной перспективе. Целью настоящей работы является анализ результатов гидрологических, гидрохимических и гидробиологических исследований, проведенных в 2018–2019 гг. на полигоне Кача в различные гидрологические сезоны.

Материал и методы. Исследования проведены на полигоне от устья р. Бельбек до м. Маргопуло с 9 июля 2018 г. по 27 июня 2019 г. (рис. 1). Меридиональная протяженность полигона составила 15 км, удаленность станций от берега – от 1 до 4 км. Глубины в точках отбора проб изменялись от 13 до 45 м. Пробы отбирали с борта маломерного судна на 15 станциях и трех горизонтах поверхность, 10 м, дно. Для отбора проб воды использовали батометр БМ-48. Наблюдения за температурой воды проводили с помощью глубоководных опрокидывающихся термометров ТГ.

Всего отобрано 150 проб и выполнено около 1500 гидрохимических анализов. В пробах определяли соленость, растворенный кислород, биохимическое потребление кислорода (БПК₅), перманганатную окисляемость в щелочной среде, содержание кремния, минеральные формы азота и фосфора по общепринятым методикам [2, 3].

Материал для исследования фито- и меропланктона отбирали на пяти прибрежных станциях № 1, 4, 7, 10, 13. Для изучения видового разнообразия



Р и с. 1. Карта-схема района исследований [1]

Fi g. 1. Sketch map of the study area [1]

и численности фитопланктона пробы воды объемом 1.5 л сгущали до 25–50 мл методом обратной фильтрации через ядерные мембраны (диаметр пор 1 мкм). Обработку проб фитопланктона проводили методом прямого счета микроводорослей в живой и сгущенной капле ($V = 0.01$ мл) и в камере ($V = 1$ мл) в трех повторностях с использованием светового микроскопа *Jenaval Carl Zeiss* при увеличении 10×25 . Расчеты численности и биомассы микроводорослей выполнены с помощью компьютерной программы «Планктон» [4]. Отбор проб меропланктона осуществляли сетью Джеди (диаметр входного отверстия 36 см, размер ячеи мельничного газа – 135 мкм). Облавливали слой воды 10–0 м. Обработку проб проводили на живом материале путем тотального подсчета личинок в камере Богорова под бинокулярном МБС-9. Для уточнения их видовой принадлежности использовали световой микроскоп Микмед-5 [5].

Результаты и обсуждение. *Температура и соленость.* Сезонная изменчивость температуры воды определяется двумя основными физическими процессами: прогревом в весенне-летний сезон и охлаждением в осенне-зимние месяцы. Соленость вод Черного моря является более консервативной характеристикой среды.

Для более полного представления о термохалинном режиме полигона Кача нами привлечены результаты исследований у побережья Севастополя [6, 7] и многолетние наблюдения на полигоне Института биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН (ИнБЮМ) (взморье Севастополя, западнее Южного мола) [8–10]. Так, в результате интенсивного прогрева к началу июля 2018 г. сформировался однородный слой толщиной до 10 м с температурой воды более $23\text{ }^{\circ}\text{C}$. В период, предшествующий первой комплексной съемке (9 июля 2018 г.), преобладали ветры северо-западных направлений. В результате развился апвеллинг, наиболее ярко выраженный на Южном берегу Крыма. Температура воды на поверхности моря на всех станциях была однородной – около $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Апвеллинг не привел к выходу холодных вод на поверхность, но толщина однородного прогретого слоя уменьшилась до 5 м. Температура на глубине 10 м понизилась до $11.8\text{--}16.7\text{ }^{\circ}\text{C}$, а на глубине 15 м – до $11\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Величины и диапазон изменчивости солености по глубинам являются характерными для летнего сезона года, т. е. соленость плавно увеличивалась от поверхности до дна ($18.05\text{--}18.25\text{ }‰$). Поверхностное распределение солености было однородным. Влияние пресных вод на распределение солености (сток рек Бельбек и Кача, а также распресненных вод Севастопольской бухты) не обнаружено.

К началу второй съемки (23 октября 2018 г.) в связи с резким понижением температуры воздуха и развитием термической конвекции произошла смена летнего типа вертикальной стратификации температуры воды на зимний. Этот процесс сопровождался понижением температуры на поверхности моря до $18.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ и формированием верхнего квазиоднородного слоя толщиной до 20 м. Соленость вод уменьшилась по сравнению с летним наблюдением на $0.1\text{--}0.2\text{ }‰$.

К началу третьей съемки (14 марта 2019 г.) температура воды составляла $8.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ от поверхности до дна, что вполне согласуется со среднелетним

летними значениями температуры воды на полигоне ИнБЮМ. Сопоставление наблюдений за соленостью воды на этом полигоне и в акватории Качи в течение года показало, что полигон ИнБЮМ подвержен распреснению водами Севастопольской бухты, а распреснение полигона Кача реками отсутствует.

К началу последней съемки (27 июня 2019 г.) температура воды плавно росла и превысила 25 °С на поверхности. Однако затем в результате сгонных процессов неоднократно наблюдался выход к поверхности холодных вод вплоть до середины августа, что не является характерным для взморья Севастополя.

Гидрохимический режим района определялся в основном динамическими процессами и влиянием загрязнений, поступающих из Севастопольской бухты, рек Бельбек и Кача, а также с хозяйственно-бытовыми стоками [11, 12]. В таблице представлены средние и экстремальные значения гидрохимических показателей, полученные в 2018–2019 гг.

В летнее время содержание кислорода на всех горизонтах находилось на достаточно высоком уровне (5.34–7.32 мл/л и 81–110 % насыщения). Минимальное содержание отмечено на поверхности прибрежной ст. 1, расположенной вблизи выпуска хозяйственно-бытовых сточных вод, максимальное – на глубине 13 м прибрежной ст. 7. Значения абсолютного содержания кислорода не опускались ниже предельно допустимой концентрации (ПДК), которая составляет 4.2 мл/л согласно нормативам качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения¹. Дефицит кислорода в придонном слое не отмечен. Величины БПК₅ и окисляемости на поверхности имели значения ниже ПДК (2.0 и 4.0 мгО₂/л соответственно), что говорит об относительной чистоте исследованного района. Концентрации биогенных веществ были низкими; отмечено некоторое повышение содержания нитратов с глубиной и с удалением от берега, а также кремния от поверхности ко дну от 2.5 до 4.5 раза. Значения азота аммонийного на поверхности имели широкий диапазон изменчивости (0–27.7 мкг/л). Максимальная его концентрация зафиксирована на ст. 4 и обусловлена влиянием выпуска хозяйственно-бытовых сточных вод, расположенных вблизи ст. 1. В качестве примера на рис. 2, а представлено распределение концентраций биогенных веществ в июле 2018 г. на прибрежном вдольбереговом разрезе, поскольку на станциях этого разреза, кроме гидрохимических работ, проводили исследования структуры, численности и биомассы фито- и меропланктона.

В осеннее время, в октябре 2018 г., наблюдали уменьшение абсолютного содержания кислорода по сравнению с летним периодом. Среднее значение содержания кислорода уменьшилось на 0.78 мл/л и на 1.5 % насыщения; максимальное – на 0.82 мл/л и на 8.4 % насыщения.

Средние значения БПК₅ и окисляемости, так же как и кислорода, уменьшались, по сравнению с летней съемкой, на 0.17 и 0.29 мгО₂/л и были ниже ПДК¹, что подтверждает чистоту выбранного района.

¹ Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 13 декабря 2016 года № 552. URL: <http://agroportal2.garant.ru:81/document?id=71486774&byPara=1> (дата обращения: 16.03.2020).

Средние и экстремальные значения гидрохимических показателей на полигоне Кача (2018–2019 гг.)

Average and extremal values of hydrochemical characteristics at the Kacha test site (2018–2019)

Значение / Value	Гидрохимические показатели / Hydrochemical characteristics								
	O ₂		PO ₄	Si	NO ₂	NO ₃	БПК ₅ , мгО ₂ /л / BOD ₅ , mgO ₂ /L	Окисляемость, мгО ₂ /л / Oxidizability, mgO ₂ /L	NH ₄ , мкг/л / NH ₄ , µg/L
	мл/л / ml/L	%	мкг/л / µg/L						
Поверхность – дно / Surface – Bottom						Поверхность / Surface			
9 июля 2018 / July 09, 2018									
Среднее/ Average	6.63	98.6	4.0	178	0.6	5.5	0.75	3.15	6.9
Min	5.34	81.9	1.4	30	0	0.6	0.38	2.61	0
Max	7.32	110.4	7.7	314	1.3	17.4	1.33	3.45	27.7
23 октября 2018 / October 23, 2018									
Среднее/ Average	5.85	97.1	3.4	53	0.7	6.7	0.58	2.86	10.0
Min	5.65	82.6	1.9	21	0.2	1.3	0.26	2.50	4.3
Max	6.50	102.0	9.2	226	3.1	25.5	1.70	3.13	22.8
14 марта 2019 / March 14, 2019									
Среднее/ Average	7.43	102.0	2.8	101	1.1	9.3	0.89	2.77	8.8
Min	7.17	98.6	2.0	50	0.5	5.3	0.59	2.39	1.7
Max	7.86	107.8	4.2	157	1.7	16.4	1.26	3.18	24.1
27 июня 2019 / June 27, 2019									
Среднее/ Average	5.77	107.1	8.0	126	0.5	4.5	1.40	3.38	13.7
Min	5.39	91.3	5.7	85	0.1	2.3	0.86	3.06	9.7
Max	6.49	122.0	10.4	281	1.9	13.8	2.16	3.62	21.1

Концентрации биогенных веществ осенью мало отличались от концентраций, полученных летом. Их диапазоны изменчивости в слое поверхность – дно составляли: для нитритов 0.2–3.1 мкг/л, для нитратов 1.3–25.5 мкг/л, для фосфатов 1.9–9.2 мкг/л и 21–226 мкг/л для кремния. Их максимальные концентрации отмечены в придонном слое. Азот аммонийный имел диапазон изменчивости на поверхности от 4.3 до 22.8 мкг/л. Распределение основных биогенных веществ на прибрежном вдольбереговом разрезе в октябре 2018 г. представлено на рис. 2, *b*.

Материалы гидрохимических исследований, проведенных в марте 2019 г., можно отнести к *зимнему периоду*, так как температура воды в исследованном слое (8.70–8.40 °С) соответствовала зимнему гидрологическому сезону.

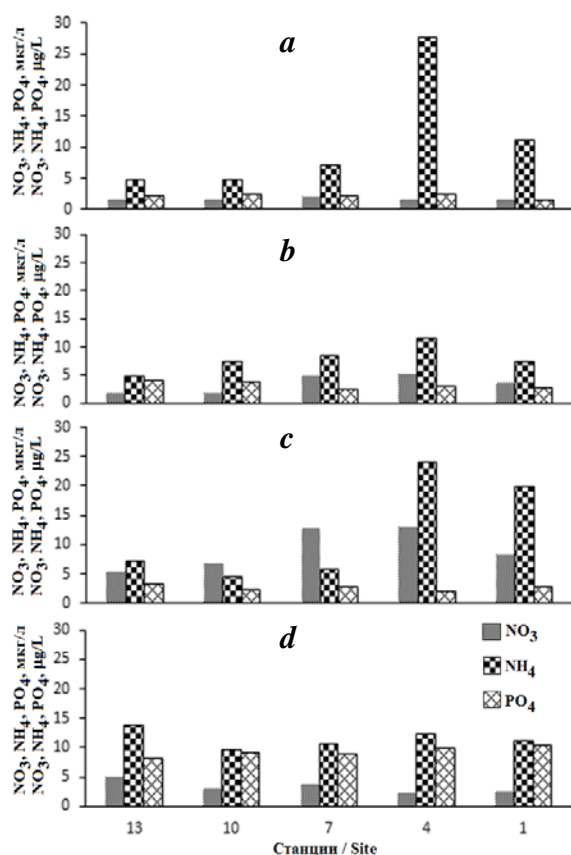


Рис. 2. Распределение концентраций биогенных веществ на прибрежном разрезе: июль 2018 г. (a); октябрь 2018 г. (b); март 2019 г. (c); июнь 2019 г. (d)
 Fig. 2. Biogenic substance concentration distribution at the shore transect: July 2018 (a); October 2018 (b); March 2019 (c); June 2019 (d)

Вследствие низкой зимней температуры значения абсолютного содержания кислорода повысились, по сравнению с летним и осенним периодами, до 7.86 мл/л (поверхность, ст. 14). Относительное содержание кислорода повысилось до 107.8 % насыщения (глубина 10 м, ст. 11). Минимальное содержание кислорода (7.17 мл/л и 98.6 % насыщения) отмечено на ст. 1, что обусловлено влиянием выпуска хозяйственно-бытовых вод.

Значения БПК₅ и окисляемости не превышали ПДК.

Биогенные вещества имели низкие концентрации, характерные для прибрежных акваторий (см. табл. 1) [13]. Максимальные значения нитратов и азота аммонийного зафиксированы на поверхности прибрежной ст. 4 (рис. 2, c). Концентрации азота аммонийного на всех прибрежных станциях выше, чем на станциях на промежуточном разрезе, что обусловлено влиянием хозяйственно-бытового стока и сброса вод от многочисленных пансионатов и домов отдыха, расположенных вдоль берега. Концентрации кремния и минерального фосфора на поверхности имели однородные низкие значения. В придонном слое концентрации кремния были ниже, чем на поверхности, и изменялись от 46.9 до 100.2 мкг/л. Средние концентрации кремния на поверхности были в 1.4 раза выше средних в придонном слое, что указывает на присутствие дополнительных пресных вод различного происхождения.

Съемка 27 июня 2019 г. включала в себя полностью прибрежный разрез и одну станцию на мористом разрезе (ст. 15), которую мы рассматриваем как фоновую. Результаты исследований показывают высокую обеспеченность воды кислородом вследствие интенсивного развития фотосинтеза. Абсолютный максимум в 122 % отмечен на поверхности ст. 15, а на глубине 13 м ст. 1 максимум составил 110.8 % насыщения. В слое поверхность – 13 м наблюдали общее перенасыщение вод кислородом. В придонном слое на глубине 35 м (ст. 15) зафиксировано минимальное (91.8 %) значение насы-

щения кислородом. Отмечено понижение абсолютных величин концентрации кислорода до 1.66 мл/л, связанное с летним прогревом воды. Значения БПК₅ находились в диапазоне 0.86–2.16 мгО₂/л, максимальная величина, отмеченная на поверхности ст. 13, превышала ПДК (2.0 мгО₂/л) на 0.16 мгО₂/л. Значения окисляемости – ниже ПДК. Значения минеральных форм N и P были типичными для летнего периода незагрязненных прибрежных вод (рис. 2, d) [14]. Лимитирование развития фитопланктона азотом и фосфором не отмечено.

На основании гидрохимических данных, полученных на прибрежном разрезе, и материалов по содержанию хлорофилла *a* рассчитан индекс эвтрофикации (*E-TRIX*), значения которого изменялись от 1.44 до 2.20, что соответствует акватории с низким трофическим уровнем [1, 15].

Фитопланктон. За цикл наблюдений в планктоне зарегистрировано 63 вида микроводорослей, более 80 % которых относятся к отделам Dinophyta и Bacillariophyta. В осенний период отмечены достаточно низкие значения численности (0.3–11 млн кл/м³) и биомассы (2–15 мг/м³), а также видового разнообразия (22 вида) микроводорослей. Диатомовые водоросли составляли от 0.26 до 57 % суммарной численности и 10–78 % суммарной биомассы, динофитовые – 4–60 % и 19–89 %, гаптофитовые – 0.4–43 % от суммарных значений численности и биомассы соответственно. На всех станциях доминировали: из диатомовых (Bacillariophyta) – *Pseudosolenia calcar-avis*, из динофитовых (Dinophyta) – *Prorocentrum cordatum*, *P. balticum*, *P. compressum*. Их численность составляла 30–80 % от суммарной. По биомассе лидирующее положение занимали диатомовая *P. calcar-avis* (до 65 % суммарной) и динофитовая *Ceratium furca* (до 42 % суммарной). При ранжировании вклада каждого вида микроводорослей в суммарную численность фитопланктона отмечено, что в группе доминирующих кормовые виды составляли до 70 % суммарной численности фитопланктона.

Массовое развитие фитопланктона, вплоть до уровня «цветения» воды, в прибрежной зоне Крыма обычно наблюдается в конце августа – начале сентября, когда высоких значений биомасс достигают крупноклеточные диатомовые *Proboscia alata* или *Pseudosolenia calcar-avis* [16]. Октябрь – ноябрь почти всегда характеризуется низкими значениями численности фитопланктона на фоне снижения температуры морской воды и количества биогенных веществ.

Ранней весной численность планктонных водорослей достигала 700 млн кл/м³, биомасса – 500 мг/м³. Диатомовые водоросли составляли 96–99.9 % суммарной численности и 95–99 % суммарной биомассы. Доминировали мелкоклеточные диатомовые *Skeletonema costatum* и виды родов *Chaetoceros* и *Pseudo-nitzschia* – типичные представители весеннего планктона. Их численность и биомасса достигали 87–99 % от суммарной. *Skeletonema costatum* – холодолюбивый колониальный вид, массовое развитие которого отмечается преимущественно в зимний период. Хотя этот вид может появляться и достигать значительной численности весной и в начале лета после сильных апвеллингов и подъема холодных придонных морских вод, обогащенных биогенными веществами, в поверхностные слои.

Видовой состав и количественные показатели планктонных микроводорослей в марте 2019 г. – обилие мелкоклеточных холодолюбивых диатомовых водорослей, численность которых в отдельных районах может достигать уровней «цветения» воды, минимальная численность динофитовых водорослей – были типичны для прибрежной зоны Крыма в весенний период. В прибрежье г. Севастополя в этот период часто наблюдали высокие значения численности кокколитофориды *Emiliana huxleyi* [17]. На полигоне Кача этот вид также встречался ранней весной, его численность составляла 2–6 млн кл/м³. При ранжировании вклада каждого вида микроводорослей в суммарную численность фитопланктона показано, что в группе доминирующих кормовые виды составляли до 99 % суммарной численности фитопланктона.

В летний период численность фитопланктона на отдельных станциях была высокой (до 270 млн кл/м³) за счет цианобактерий, предположительно рода *Microcystis*, доля которых составила 30–95 %. Цианобактерии являются обычными обитателями прибрежных морских вод, их высокая численность может приводить к заморам, что часто отмечают в северо-западной зоне Черного моря [18]. Исследуемый нами район находится под влиянием стока реки Бельбек, который может оказывать кратковременное воздействие на характеристики фитопланктона. Доминирующим видом была также гаптофитовая *Emiliana huxleyi* (12–92 % суммарной численности). Этот вид, массовый для конца весны – начала лета, в некоторые годы вызывает «цветение» воды. Суммарная биомасса фитопланктона составила 26–58 мг/м³. По биомассе лидирующее положение в начале лета занимали динофитовые родов *Ceratium* (до 46 %) и *Prorocentrum* (до 35 % от суммарной), которые позже сменила крупноклеточная диатомовая *P. calcar-avis* (до 34 % суммарных значений биомассы). Потенциально токсичные виды динофитовых рода *Dinophysis* встречались единично – не более 30 кл/л при критических значениях для конхиокультуры более 200 кл/л.

Межгодовая изменчивость численности и биомассы фитопланктона в раннелетний сезон довольно высокая и связана с характерными для этого периода апвеллингами, скрытыми или выходящими на поверхность. Ранжирование вклада каждого вида микроводорослей в суммарную численность фитопланктона показало, что большинство видов, отмеченных в июне 2019 г., являются кормовыми.

Меропланктон. В состав меропланктона входили пелагические личинки беспозвоночных, относящихся к следующим таксонам: тип Annelida, класс Polychaeta – 14 видов; тип Mollusca, классы Bivalvia – 8 видов, Gastropoda – 10 видов; тип Arthropoda, подтип Crustacea: инфракласс Cirripedia – 2 вида и отряд Decapoda – 11 видов. Единично встречены не идентифицированные до вида планулы Coelenterata (Cnidaria), пилидии немертин (Nemertea) и актинотрохи *Phoronis* (Phoronida).

В осенний период 2018 г. при температуре воды 18–18.2 °С плотность меропланктона была низкой – от 20 до 95 экз./м³. На долю личинок Bivalvia приходилось от 35 до 61 % суммарной численности меропланктона, Gastropoda – от 20 до 44 % и не более 13 % составляли личинки остальных перечисленных таксонов. Личинки мидии *Mytilus galloprovincialis* находились на поздней стадии великонхи «с глазком», их плотность колебалась от

7 до 39 экз./м³. Можно предположить, что их оседание уже началось. На всей акватории единично встречены личинки моллюска-вселенца в Черное море анадары *Anadara kagoshimensis* и поздние великонхи семейства Veneridae. Указанные моллюски размножаются в теплый период года [19].

К октябрю основная масса личинок уже осела, вследствие чего их плотность в планктоне стала существенно ниже, чем в летний период, когда она достигала 1930 экз./м³. В октябре понижалась и численность личинок полихет – на всех станциях единично встречались личинки семейства Spionidae (*Spio decorata*, *Prionospio* sp.). Только на ст. 7 и 10 зарегистрированы поздние науплиусы и циприсы ускононого рака *Amphibalanus improvisus*, но их численность не превышала 11 экз./м³. Вероятно, к моменту отбора проб прошло осеннее оседание баянусов. Численность личинок десятиногих раков (*Athanas nitescens*, *Hippolyte leptocerus*, *Upogebia pusilla*) не превышала 10 экз./м³, так как у берегов Крыма большинство видов Decapoda размножается в летний период [20].

В марте 2019 г. температура воды не превышала 8.7 °С. Суммарная плотность личинок была низкой (9–32 экз./м³). Видовой состав меропланктона был типичен для зимнего периода – доминировали личинки полихеты *Harmothoe imbricata* (20 экз./м³), размножающейся только в зимний сезон [21]. Единично встречены представители семейства Spionidae. Численность личинок мидии не превышала 8 экз./м³. Велигеры гастропод семейства Rissoidae отмечены единично только на ст. 1. Науплиусы Cirripedia встречались на всех станциях, но их численность не превышала 12 экз./м³.

Таким образом, таксономический состав меропланктона в осенний и ранневесенний период был относительно беден, а численность – низкая.

В июне 2019 г. температура воды повысилась до 18 °С, начали размножаться многие виды беспозвоночных, что отразилось на качественных и количественных показателях меропланктона. Плотность пелагических личинок стала существенно выше: максимальная (5299 экз./м³) зарегистрирована в районе ст. 13, минимальная (263 экз./м³) на ст. 4. Как и в июле 2018 г., в планктоне преобладали личинки Cirripedia. Если в весенне-осенний период встречались личинки только одного вида – баянуса *A. improvisus*, то летом отмечена вспышка численности и другого вида усконогих раков – верруки *Verruca spengleri* – 1556 экз./м³ (ст. 13). В Черном море этот вид распространен в прибрежных мелководных зонах, он поселяется на камнях и валунах и предпочитает районы с активным водообменом [22].

В июне пик численности отмечен и для личинок гастропод. Максимальное значение (2076 экз./м³) зарегистрировано на ст. 13. Доминировали личинки массовых в сообществе обрастания моллюсков *Bittium reticulatum*, *Rissoa parva* [23]. Суммарная численность личинок двустворок не превышала 987 экз./м³. В планктоне преобладали великонхи митилястера *Mytilaster lineatus*, спизулы *Spisula subtruncata* и не идентифицированные до вида личинки представителей семейств Veneridae и Cardiidae. Только на ст. 13 были обнаружены великонхи мидии *M. galloprovincialis* (10 экз./м³). Полихетный меропланктон был разнообразен по видовому составу, однако его плотность не превышала 55 экз./м³, на ст. 4 личинки полихет не обнаружены. Наиболее массово представлены личинки семейства Spionidae (*Polydora*

cornuta, *Malacoceros fuliginosus*, *Spio decorata*, *Prionospio* sp.). В летнем меропланктоне увеличилось видовое разнообразие десятиногих раков. Их максимальная плотность – 97 экз./м³ – зарегистрирована также на ст. 13.

В период исследований на всех станциях минимальные значения численности отмечены в марте, максимальные – в летний период. Наибольшее видовое разнообразие и максимальная плотность меропланктона зарегистрированы в июне – июле на ст. 13. Отмечена относительная синхронность динамики численности меропланктона на всей исследуемой акватории.

Заключение. Результаты исследований, выполненных в 2018–2019 гг., показали, что полигон Кача имеет однородную пространственную термохалинную структуру. Вертикальная структура и сезонная изменчивость термохалинных характеристик были близки к режимным характеристикам севастопольского взморья. Влияние пресных вод (сток рек Бельбек и Кача, а также распресненных вод Севастопольской бухты) на распределение солености не обнаружено. В летние периоды отмечены сгонные процессы, несущие скрытый характер, когда подъем глубинных холодных вод не доходит до поверхности.

Отмечена высокая обеспеченность кислородом, низкие значения БПК₅ и окисляемости, а также низкие и однородные концентрации минеральных форм азота и фосфора. Содержание кислорода не опускалось ниже ПДК, что свидетельствует о чистоте исследованной акватории. Концентрации биогенных веществ типичны для незагрязненных прибрежных вод. Значения индекса эвтрофикации (*E-TRIX*), которые изменялись от 1.44 до 2.20, свидетельствуют, что воды акватории характеризуются низким трофическим уровнем.

Видовой состав, средние показатели численности и биомассы фитопланктона в период исследования типичны для черноморской прибрежной зоны Крыма. Зарегистрировано 63 вида микроводорослей. Среднегодовые количественные показатели фитопланктона являются достаточными для обеспечения моллюсков кормом. Численность потенциально токсичных видов была минимальной.

Таксономический состав меропланктона и сроки встречаемости личинок существенно не отличались от данных, полученных в других районах Крыма. В меропланктоне идентифицированы личинки 45 видов донных беспозвоночных. Минимальное число видов (5) отмечено в марте, максимальное (24) – в летний сезон.

При установке морской фермы необходимо проводить регулярный мониторинг гидрологического и гидрохимического состояния акватории, численности кормовых и токсичных видов микроводорослей, а также личинок мидий как одного из основных объектов марикультуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Комплексные экологические исследования прибрежной зоны западного Крыма с целью выбора места размещения морской фермы (Черное море) / В. И. Рябушко [и др.] // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2019. Вып. 2. С. 67–77. doi:10.22449/2413-5577-2019-2-67-77
2. Методы гидрохимических исследований основных биогенных элементов / В. В. Сапожников [и др.]. М. : ВНИРО, 1988. 119 с.

3. Руководство по методам химического анализа морских вод / под ред. С. Г. Орадовского. СПб. : Гидрометеиздат, 1993. 264 с.
4. *Лях А. М., Брянцева Ю. В.* Компьютерная программа для расчета основных параметров фитопланктона // *Экология моря*. 2001. Вып. 58. С. 87–90.
5. *Попов М. А., Лисицкая Е. В., Поспелова Н. В.* Ландшафтное и биологическое разнообразие залива Мегало-Яло (Крым, Черное море) // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа*. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2014. Вып. 28. С. 214–219.
6. *Ациховская Ж. М., Куфтаркова Е. Л.* Абиогические факторы среды в районе сброса сточных вод (акватория Севастополя) // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа*. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 1999. Вып. 1. С. 47–57.
7. Фоновая характеристика и сезонная изменчивость вертикальной стратификации термохалинного поля у побережья Севастополя / В. Н. Белокопытов [и др.] // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексные исследования ресурсов шельфа*. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2002. Вып. 1(6). С. 22–28.
8. Термохалинная структура вод на взморье Севастополя и ее влияние на основные параметры продукции мидийной фермы / О. А. Трощенко [и др.] // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа*. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2007. Вып. 15. С. 110–119.
9. *Куфтаркова Е. А., Еремин И. Ю., Субботин А. А.* Тонкая вертикальная химическая структура вод в районе мидийной фермы (предпроливная часть Севастопольской бухты) // *Морской экологический журнал*. 2011. Т. 10, № 1. С. 38–42.
10. *Трощенко О. А., Субботин А. А., Еремин И. Ю.* Изменчивость основных лимитирующих факторов среды в процессе выращивания двустворчатых моллюсков на ферме в районе Севастополя // *Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология*. 2019. Т. 5, № 2. С. 308–321.
11. *Куфтаркова Е. А., Немировский М. С., Родионова Н. Ю.* Гидрохимический режим района экспериментальной мидиевой фермы (рейд Севастополя) // *Экология моря*. 2002. Вып. 59. С. 61–65.
12. Экологическая оценка современного состояния вод в районе взаимодействия Севастопольской бухты с прилегающей частью моря / Е. А. Куфтаркова [и др.] // *Морской экологический журнал*. 2006. Т. 5, № 1. С. 72–91.
13. *Рябушко Л. И., Поспелова Н. В., Балычева Д. С.* Микроводоросли эпизоона культивируемого моллюска *Mytilus galloprovincialis* Lam. 1819, фитопланктон и гидролого-гидрохимические характеристики акватории мидийно-устричной фермы (Севастополь, Черное море) // *Морской биологический журнал*. 2017. Т. 2, № 4. С. 67–83.
14. *Ryabushko L. I., Lishaev D. N., Kovrigina N. P.* Species diversity of epilithon diatoms and the quality of the waters of the Donuzlav Gulf ecosystem (Crimea, the Black Sea) // *Diversity*. 2019. Vol. 11, iss. 7. Article no. 114. 12 p. doi:10.3390/d11070114
15. Диагноз качества вод Черного моря в районе г. Севастополя / В. И. Губанов [и др.] // *Современные проблемы экологии Азово-Черноморского региона: Материалы III Международной конференции, 10–11 октября 2007 г., Керчь, ЮгНИРО* / гл. ред. Б. Н. Панов. Керчь : ЮгНИРО, 2008. С. 90–97. URL:

https://www.oceandocs.org/bitstream/handle/1834/9479/YugNIRO_Conference_Materials_October_2007.pdf (дата обращения: 14.03.2020).

16. *Сеничева М. И.* Необычно сильные вспышки развития крупноклеточных видов диатомовых водорослей в прибрежных водах г. Севастополя в 2007–2010 гг. (Черное море) // Морской экологический журнал. 2014. Т. 13, № 4. С. 50–56.
17. *Стельмах Л. В.* Эколого-физиологические основы развития весеннего «цветения воды» кокколитофоридой *Emiliania huxleyi* в Черном море // Системы контроля окружающей среды. 2018. № 13. С. 85–92.
18. *Теренько Г. В.* Аномальное «цветение» воды в Одесском заливе Черного моря водорослью *Nodularia spumigena* Mertens ex Bornet et Flahault (Cyanoprokaryota) в июне 2019 года // Цианопрокариоты/цианобактерии: систематика, экология, распространение: Материалы докладов II Международной научной школы-конференции, 16–21 сентября 2019 г., Сыктывкар, Россия / отв. ред. Е. Н. Патова. Сыктывкар : ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, 2019. С. 263–267. doi:10.31140/book-2019-03
19. *Лисицкая Е. В.* Таксономический состав и сезонная динамика меропланктона в акватории мидийно-устричной фермы (Севастополь, Крым, Черное море) // Морской биологический журнал. 2017. Т. 2, № 4. С. 38–49. doi:10.21072/mbj.2017.02.4.04
20. *Макаров Ю. Н.* Десятиногие ракообразные. Киев : Наукова думка, 2004. 430 с. URL: https://www.oceandocs.org/bitstream/handle/1834/9813/Desyatinoguiе_rakoobraznie.pdf (дата обращения: 16.03.2020).
21. *Киселева М. И.* Многощетинковые черви (Polychaeta) Черного и Азовского морей. Апатиты : Изд-во Кольского научного центра РАН, 2004. 409 с.
22. *Зевина Г. Б., Полтаруха О. П.* Усоногие раки (Cirripedia, Thoracica) Черного моря // Бюллетень МОИП. Отдел биологический. 1999. Т. 104, № 1. С. 30–39.
23. *Чухчин В. Д.* Экология брюхоногих моллюсков Черного моря. Киев : Наукова думка, 1984. 176 с.

Об авторах:

Рябушко Виталий Иванович, главный научный сотрудник, Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН (299011, Россия, г. Севастополь, пр. Нахимова, 2), доктор биологических наук, **ORCID ID: 0000-0001-5052-2024**, **Scopus AuthorID: 7801673501**, **WoS ResearcherID: H-4163-2014**, rabushko2006@yandex.ru

Щуров Сергей Вячеславович, научный сотрудник, Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН (299011, Россия, г. Севастополь, пр. Нахимова, 2), **SPIN-code: 3036-2366 AuthorID: 970075**, skrimea@mail.ru

Ковригина Неля Петровна, старший научный сотрудник, Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН (299011, Россия, г. Севастополь, пр. Нахимова, 2), кандидат географических наук, **ORCID ID: 0000-0002-6734-8285**, **Scopus AuthorID: 6507114864**, maricultura@mail.ru

Лисицкая Елена Васильевна, старший научный сотрудник, Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН (299011, Россия, г. Севастополь, пр. Нахимова, 2), кандидат биологических наук, **ORCID ID: 0000-0002-8219-4616**, **Scopus AuthorID: 6504112143**, **WoS ResearcherID: T-1970-2017**, lisitskaya@gmail.com

Поспелова Наталия Валериевна, старший научный сотрудник, Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН (299011, Россия, г. Севастополь, пр. Нахимова, 2), кандидат биологических наук, **ORCID ID: 0000-0002-3165-2090**, **Scopus AuthorID: 56884605100**, **WoS ResearcherID: C-7572-2016**, *maricultura@mail.ru*

Заявленный вклад авторов:

Рябушко Виталий Иванович – постановка цели и задач комплексного исследования, редактирование рукописи

Щуров Сергей Вячеславович – сбор материала, гидрологические работы

Ковригина Неля Петровна – гидрохимические работы

Лисицкая Елена Васильевна – исследования меропланктона

Поспелова Наталия Валериевна – исследования фитопланктона

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Ryabushko, V.I., Shchurov, S.V., Kovrigina, N.P., Lisitskaya, E.V. and Pospelova, N.V., 2019. A Comprehensive Environmental Study of Coastal Area of Western Crimea as Justification of Selection of Marine Farming Sites (Black Sea). *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (2), pp. 67–77. doi:10.22449/2413-5577-2019-2-67-77 (in Russian).
2. VNIRO, 1988. [Methods of Hydrochemical Studies of Main Biogenic Elements]. Moscow: VNIRO, 119 p. (in Russian).
3. Oradovsky, S.G., ed., 1993. *Guidelines for the Chemical Analysis of Sea Waters*. Saint-Petersburg: Gidrometeoizdat, 264 p. (in Russian).
4. Lyakh, A.M. and Bryantseva, Yu.V., 2001. Computer's Program for the Calculation of Basic Phytoplankton Parameters. *Ecology of the Sea*, 58, pp. 87–90 (in Russian).
5. Popov, M.A., Lisitskaya, E.V. and Pospelova, N.V., 2014. [Landscape and Biological Diversity of the Megalo-Yalo Gulf (Crimea, Black Sea)]. In: MHI, 2014. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones and Comprehensive Use of Shelf Resources*. Sevastopol, MHI. Iss. 28, pp. 214–219 (in Russian).
6. Atsikhovskaya, Zh.M. and Kuftarkova, E.L., 1999. [Abiotic Environmental Factors in the Area of Waste Water Discharge (Sevastopol Water Area)]. In: MHI, 1999. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones and Comprehensive Use of Shelf Resources*. Sevastopol, MHI. Iss. 1, pp. 47–57 (in Russian).
7. Belokopytov, V.N., Lomakin, P.D., Subbotin, A.A. and Shchurov, S.V., 2002. [Background Characteristics and Seasonal Variability of Thermohaline Field Vertical Stratification at the Sevastopol Coastal Area]. In: MHI, 2002. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones and Comprehensive Use of Shelf Resources*. Sevastopol: ECOSI-Gidrofizika. Iss. 1(6), pp. 22–28 (in Russian).
8. Troschenko, O.A., Eremin, I.Yu., Subbotin, A.A. and Schurov, S.V., 2007. Thermohaline Structure of Water adjoin Sevastopol and it Influence on Main Parameters of Mussel Farm. In: MHI, 2007. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones and Comprehensive Use of Shelf Resources*. Sevastopol: ECOSI-Gidrofizika. Iss. 15, pp. 110–119 (in Russian).
9. Kuftarkova, E.A., Eremin, I.Y. and Subbotin, A.A., 2011. Thin Vertical Chemical Structure at the Mussel Farm Located before a Strait Part of Sevastopol Bay. *Marine*

- Ekological Journal*, 10(1), pp. 38–42 (in Russian).
10. Troshchenko, O.A., Subbotin, A.A. and Eremin, I.Y., 2019. Variability of Main Limiting Environmental Factors in the Process of Bivalve Mollusk Cultivation at the Mussel Farm in Sevastopol. *Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Geography. Geology*, 5(2), pp. 308–321 (in Russian).
 11. Kuftarkova, E.A., Nemirovsky, M.S. and Rodionova, N.Yu., 2002. Hydrochemical Regime of the Region of the Experimental Mussel Farm (the Outer Harbor of Sevastopol, the Black Sea). *Ecology of the Sea*, 59, pp. 61–65 (in Russian).
 12. Kuftarkova, E.A., Gubanov, V.I., Kovrigina, N.P., Eremin, I.Yu. and Senicheva, M.I., 2006. Ecological Assessment of Modern State of Waters in the Region of Interaction of the Sevastopol Bay and Part of the Sea Contiguous to it. *Marine Ekological Journal*, 5(1), pp. 72–91 (in Russian).
 13. Ryabushko, L.I., Pospelova, N.V., Balycheva, D.S., Kovrigina, N.P., Troshchenko, O.A. and Kapranov, S.V., 2017. Epizoon Microalgae of the Cultivated Mollusk *Mytilus Galloprovincialis* Lam. 1819, Phytoplankton, Hydrological and Hydrochemical Characteristics in the Mussel-and-Oyster Farm Area (Sevastopol, Black Sea). *Marine Biological Journal*, 2(4), pp. 67–83. doi:10.21072/mbj.2017.02.4.07 (in Russian).
 14. Ryabushko, L.I., Lishaev, D.N. and Kovrigina, N.P., 2019. Species Diversity of Epilithon Diatoms and the Quality of the Waters of the Donuzlav Gulf Ecosystem (Crimea, the Black Sea). *Diversity*, 11(7), 114. doi:10.3390/d11070114
 15. Gubanov, V.I., Kuftarkova, E.A., Kovrigina, N.P. and Rodionova, N.Yu., 2008. Diagnosis of the Black Sea Water Quality in the Area of Sevastopol. In: B. N. Panov, ed., 2008. *Current Problems of the Azov-Black Sea Region Ecology. Materials of III International Conference*. Kerch, YugNIRO, 10–11 October 2007. Kerch: YugNIRO Publishers', pp. 90–97 (in Russian).
 16. Senicheva, M.I., 2014. Unusual “Water-bloom” of Large-Cell Diatoms Algae’ Species in Off-Shore Waters of Sevastopol in 2007–2010 (the Black Sea). *Marine Ekological Journal*, 13(4), pp. 50–56 (in Russian).
 17. Stelmakh, L.V., 2018. Environmental and Physiological Bases of Coccolithophorid *Emiliana Huxleyi* Spring Bloom Development in the Black Sea. *Monitoring Systems of Environment*, (33), pp. 85–92 (in Russian).
 18. Terenko, G.V., 2019. The Anomalous of a Water Bloom by *Nodularia Spumigena* Mertens Ex Bornet Et Flahault (Cyanoprokaryota) in the Odessa Bay of the Black Sea in June 2019. In: E. N. Patova, ed., 2019. *Proceedings of the II International Scientific Conference Cyanoprokaryota/Cyanobacteria: Systematic, Ecology, Distribution, September 16–21, 2019*. Syktyvkar: Institute of Biology, Komi Scientific Center, UB RAS. doi:10.31140/book-2019-03 (in Russian).
 19. Lisitskaya, E.V., 2017. Taxonomic Composition and Seasonal Dynamics of Mero-plankton in the Area of Mussel-Oyster Farm (Sevastopol, Black Sea). *Marine Biological Journal*, 2(4), pp. 38–49. doi:10.21072/mbj.2017.02.4.04 (in Russian).
 20. Makarov, Yu.N., 2004. *Decapods*. Kiev: Naukova Dumka, 430 p. (in Russian).
 21. Kiselyova, M.I., 2004. *Polychaetes (Polychaeta) of the Azov and Black Seas*. Apatity: Izd-vo Kol'skogo Nauchnogo Tsentra RAN, 409 p. (in Russian).
 22. Zevina, G.B. and Poltarukha, O.P., 1999. Barnacles (Cirripedia, Thoracica) of the Black Sea. *Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Biological Series*, 104(1), pp. 30–39 (in Russian).
 23. Chukhchin, V.D., 1984. *Ecology of the Black Sea Gastropods*. Kiev: Naukova Dumka, 176 p. (in Russian).

About the authors:

Vitaly I. Ryabushko, Chief Research Associate, A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS (2 Nakhimov Av., Sevastopol, 299011, Russian Federation), Dr.Sci. (Biol.), **ORCID ID: 0000-0001-5052-2024**, **Scopus Author ID: 7801673501**, **WoS ResearcherID: H-4163-2014**, *rabushko2006@yandex.ru*

Sergey V. Shchurov, Research Associate, A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS (2 Nakhimov Av., Sevastopol, 299011, Russian Federation), **SPIN-code: 3036-2366** **Author ID: 970075**, *skrimea@mail.ru*

Nelya P. Kovrigina, Senior Research Associate, A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS (2 Nakhimov Av., Sevastopol, 299011, Russian Federation), Ph.D. (Geogr.), **ORCID ID: 0000-0002-6734-8285**, **Scopus Author ID: 6507114864**, *maricultura@mail.ru*

Elena V. Lisitskaya, Senior Research Associate, A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS (2 Nakhimov Av., Sevastopol, 299011, Russian Federation), Ph.D. (Biol.), **ORCID ID: 0000-0002-8219-4616**, **Scopus Author ID: 6504112143**, **WoS ResearcherID: T-1970-2017**, *e.lisitskaya@gmail.com*

Natalia V. Pospelova, Senior Research Associate, A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS (2 Nakhimov Av., Sevastopol, 299011, Russian Federation), Ph.D. (Biol.), **ORCID ID: 0000-0002-3165-2090**, **Scopus Author ID: 56884605100**, **WoS ResearcherID: C-7572-2016**, *maricultura@mail.ru*

Contribution of the authors:

Vitaly I. Ryabushko – setting of the comprehensive research task and objectives

Sergey V. Shchurov – material collection, hydrological work

Nelya P. Kovrigina – hydrochemical work

Elena V. Lisitskaya – meroplankton studies

Natalia V. Pospelova – phytoplankton studies

All the authors have read and approved the final manuscript.