



УДК 581.526.325(262.5)

## СОСТОЯНИЕ ПЛАНКТОННОГО АЛЬГОЦЕНОЗА В АКВАТОРИИ ПОРТА ТУАПСЕ И ЗА ЕГО ПРЕДЕЛАМИ В ВЕСЕННЕ-ЛЕТНИЙ ПЕРИОД 2019 Г.

© 2021 г. О. Н. Ясакова

Южный научный центр Российской академии наук, Ростов-на-Дону, Российская Федерация

E-mail: [yasak71@mail.ru](mailto:yasak71@mail.ru)

Поступила в редакцию 27.05.2020; после доработки 16.04.2021;  
принята к публикации 01.09.2021; опубликована онлайн 20.09.2021.

В статье представлены результаты исследования таксономического состава и количества фитопланктона в акватории порта Туапсе и за его пределами в весенне-летний период 2019 г. В апреле 2019 г. обнаружено 43 вида фитопланктона, относящихся к 5 отделам. Средние по акватории порта величины численности и биомассы составили 568 тыс. кл. $\cdot$ л $^{-1}$  и 206 мг $\cdot$ м $^{-3}$  соответственно, что в 1,5 раза ниже, чем в районе открытого моря. Повсеместно в массе (98–99 % общей численности и 62–65 % биомассы фитопланктона) присутствовали диатомовые водоросли. Основу численности составили мелкоклеточные виды *Pseudo-nitzschia* spp. и *Skeletonema costatum* s. l. Кроме них, основу биомассы формировали *Pseudosolenia calcar-avis*, *Dactyliosolen fragilissimus* и *Chaetoceros affinis*. В июне 2019 г. наблюдали снижение качественных (13 видов из 4 отделов) и количественных величин фитопланктона. Средние значения численности и биомассы планктонных водорослей в порту — 59 тыс. кл. $\cdot$ л $^{-1}$  и 81 мг $\cdot$ м $^{-3}$  соответственно; они в 2 раза превышали величины, отмеченные в открытой части моря. В акватории порта обильно развивались эвгленовые водоросли (94 % численности и 83 % биомассы фитопланктона), представленные мезосапробным видом *Eutreptia lanowii*. За пределами порта Туапсе эвгленовые водоросли отсутствовали, по численности (95 %) доминировали диатомеи — *Skeletonema costatum* s. l. и *Thalassionema nitzschioides*. Основу биомассы (82 %) фитопланктона формировали следующие виды динофитовых водорослей: *Ceratium tripos*, *C. furca*, *Ensiculifera carinata*, *Glenodinium paululum*, *Prorocentrum micans* и *Protoberidinium crassipes*.

**Ключевые слова:** фитопланктон, таксономический состав, численность, биомасса, акватория порта Туапсе, северо-восточное побережье Чёрного моря

В последние десятилетия многие исследователи отмечают изменения, происходящие в структуре и функционировании морских планктонных сообществ в шельфовых водах российской части Чёрного моря (Корпакова и др., 2014; Сафронова и др., 2015; Сафронова и Налетова, 2017; Селифонова и Ясакова, 2012). Зонами экологического напряжения в первую очередь являются акватории крупных морских портов, таких как порт Туапсе, грузооборот которого постоянно растёт. Исследования фитопланктона в акватории порта Туапсе и за его пределами в условиях прогрессирующего загрязнения морской среды были проведены в разные сезоны 2009–2011 гг. (Селифонова и Ясакова, 2012; Ясакова и Макаревич, 2017). Изучение качественных и количественных характеристик фитопланктона как наиболее уязвимого звена морских экосистем в условиях антропогенного эвтрофирования портовых вод в современный период представляется весьма актуальной задачей. Именно поэтому цель данной работы — провести исследования видового состава и количества планктонных водорослей в акватории порта Туапсе и за его пределами весной и летом 2019 г. и сравнить эти показатели с соответствующими данными за 2009–2011 гг.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Материалом исследования послужили пробы фитопланктона, которые были собраны на 15 станциях, расположенных в акватории Туапсинского порта (ст. 1–14) и за его пределами (ст. 15) в апреле 2019 г. (рис. 1 и 2). Пробы планктонных водорослей в июне 2019 г. отобраны на 5 станциях (ст. 1–4 находились внутри акватории порта, а ст. 5 — за его пределами) (рис. 3 и 4). Расположение точек отбора проб обусловлено разным уровнем техногенной нагрузки на эти акватории. В период исследований температура воды на поверхности моря изменялась от +11,1 °С (23.04.2019) до +24 °С (12.06.2019); скорость ветра составляла 5–10 м·с<sup>-1</sup>, волнение — 1–2 балла. Пробы объёмом 1–1,5 л отбирали с поверхности моря с помощью 5-литрового батометра Нискина в дневное время суток с борта судна и фиксировали формалином до конечной концентрации 1–2 %, а затем отстаивали в тёмном прохладном месте не менее 15 сут. Далее пробы концентрировали с помощью трубки-сифона с загнутым на 2 см вверх концом, затянутым кусочком мельничного сита № 77. Подсчёт численности и определение объёма клеток фитопланктона производили с помощью камер объёмом 0,05 и 0,1 мл под микроскопом Микмед-2 при объективах 10×/0,30 и 40×/0,65 (Кольцова и др., 1979; Руководство, 1980; Фёдоров, 1979). Клетки измеряли при помощи окуляр-микрометра, минимальный размер учитываемых клеток — 3–5 мкм. Расчёт биомассы проводили счётно-объёмным методом. Объём клеток вычисляли, приравнивая их форму к соответствующей геометрической фигуре (Кольцова, 1970). Для идентификации видов использовали общепринятые руководства (Киселев, 1950; Коновалова и др., 1989; Прошкина-Лавренко, 1955, 1963; Dodge, 1982; Identifying Marine Phytoplankton, 1997). Видовой состав фитопланктона классифицировали в соответствии с системой С. П. Вассера (Водоросли: справочник, 1989). Массовыми считали те виды, которые формировали более 10 % общей численности или биомассы, обычными — 1–10 %, редкими — меньше 1 %. Средние арифметические величины численности (или биомассы) определяли как число, равное сумме численности (или биомассы) на каждой станции, делённой на количество исследуемых станций.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

**Качественный состав фитопланктона.** В акватории порта Туапсе и за его пределами в апреле 2019 г. обнаружено 43 вида фитопланктона, относящихся к 5 отделам (Bacillariophyta, Dinophyta, Euglenophyta, Cyanophyta и Cryptophyta), а также 5 таксономических единиц, не идентифицированных до вида (табл. 1). Максимальное видовое разнообразие отмечено среди диатомовых (20 видов) и динофитовых водорослей (20 видов). В других отделах зарегистрировано по 1 виду. Таксономический состав фитопланктона в июне 2019 г. насчитывал 13 видов из 4 отделов: Bacillariophyta (2 вида), Dinophyta (9 видов), Euglenophyta (1 вид) и Chlorophyta (1 вид).

**Таблица 1.** Таксономический состав фитопланктона в районе исследований в апреле и июне 2019 г.

**Table 1.** Phytoplankton taxonomic composition in the research area in April and June 2019

Отделы и виды водорослей	23.04.2019				12.06.2019			
	Порт Туапсе		Открытая часть моря		Порт Туапсе		Открытая часть моря	
	N	B	N	B	N	B	N	B
<b>Bacillariophyta</b>								
<i>Amphora</i> sp.	R	R	–	–	–	–	–	–
<i>Bacillaria paradoxa</i> J. F. Gmelin	R	R	–	–	–	–	–	–

Продолжение на следующей странице...

Отделы и виды водорослей	23.04.2019				12.06.2019			
	Порт Туапсе		Открытая часть моря		Порт Туапсе		Открытая часть моря	
	N	B	N	B	N	B	N	B
<i>Cerataulina pelagica</i> (Cleve) Hendey	R	R	–	–	–	–	–	–
<i>Chaetoceros affinis</i> Lauder	O	O	O	O	–	–	–	–
<i>Chaetoceros compressus</i> Lauder	R	R	O	R	–	–	–	–
<i>Chaetoceros curvisetus</i> Cleve	R	R	–	–	–	–	–	–
<i>Chaetoceros insignis</i> Proschkina-Lavrenko	R	R	–	–	–	–	–	–
<i>Chaetoceros scabrosus</i> Proschkina-Lavrenko	R	R	R	O	–	–	–	–
<i>Chaetoceros simplex</i> Ostefeld	R	R	R	R	–	–	–	–
<i>Chaetoceros</i> sp.	R	R	–	–	–	–	–	–
<i>Coscinodiscus</i> sp.	R	O	–	–	–	–	–	–
<i>Dactyliosolen fragilissimus</i> (Bergon) Hasle	R	O	R	O	–	–	–	–
<i>Gyrosigma</i> sp.	R	R	–	–	–	–	–	–
<i>Licmophora gracilis</i> (Ehrenberg) Grunow	R	R	R	R	–	–	–	–
<i>Licmophora flabellata</i> (Greville) C. Agardh	R	R	–	–	–	–	–	–
<i>Melosira moniliformis</i> (O. F. Müller) C. Agardh	R	R	–	–	–	–	–	–
<i>Navicula viridula</i> (Kützing) Ehrenberg	R	R	–	–	–	–	–	–
<i>Nitzschia tenuirostris</i> Mereschkowsky	O	R	R	R	–	–	–	–
<i>Pleurosigma elongatum</i> W. Smith	R	R	–	–	–	–	–	–
<i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i> (Cleve) Heiden; <i>Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima</i> (Hasle) Hasle (complex)	M	M	M	M	–	–	–	–
<i>Pseudo-nitzschia seriata</i> (Cleve) H. Peragallo	O	O	–	–	–	–	–	–
<i>Pseudosolenia calcar-avis</i> (Schultze) B. G. Sundström	R	M	R	M	–	–	–	–
<i>Skeletonema costatum</i> (Greville) Cleve s. l.	M	O	M	O	–	–	M	O
<i>Synedra</i> sp.	R	R	–	–				
<i>Thalassionema nitzschioides</i> (Grunow) Mereschkowsky	R	O	R	R	O	O	M	M
<b>Dinophyta</b>								
<i>Akashiwo sanguinea</i> (K. Hirasaka) Gert Hansen & Moestrup	–	–	–	–	R	R	R	O
<i>Ceratium furca</i> (Ehrenberg) Claparède et Lachmann	R	O	–	–	R	O	R	M
<i>Ceratium tripos</i> (O. F. Müller) Nitzsch	R	O	–	–	R	O	R	M
<i>Cochlodinium citron</i> Kofoid & Swezy	R	R	R	O	–	–	–	–
<i>Diplopsalis lenticula</i> Bergh	R	R	R	O	–	–	–	–
<i>Dinophysis rotundata</i> Claparède & Lachmann	R	R	–	–	–	–	–	–
<i>Eniscalifera carinata</i> Matsuoka, Kobayashi & Gains	R	O	–	–	R	R	R	O
<i>Glenodinium</i> sp.	–	–	–	–	R	R	–	–
<i>Glenodinium paululum</i> Lindernann	–	–	–	–	R	R	O	O

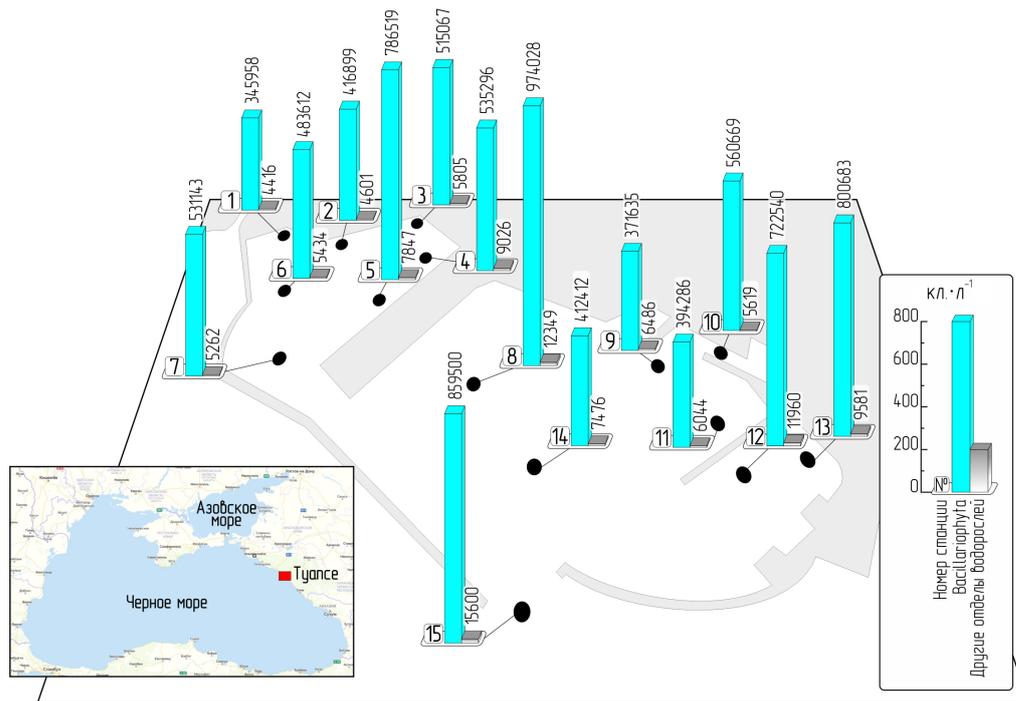
Продолжение на следующей странице...

Отделы и виды водорослей	23.04.2019				12.06.2019			
	Порт Туапсе		Открытая часть моря		Порт Туапсе		Открытая часть моря	
	N	B	N	B	N	B	N	B
<i>Gymnodinium simplex</i> (Lohmann) Kofoid & Swezy	R	R	–	–	–	–	–	–
<i>Gymnodinium wulfii</i> J. Schiller	R	R	–	–	–	–	–	–
<i>Gyrodinium spirale</i> (Bergh) Kofoid & Swezy	R	O	–	–	–	–	–	–
<i>Katodinium glaucum</i> (Lebour) Loeblich III	R	R	–	–	–	–	–	–
<i>Lessardia elongata</i> Saldarriaga & F. J. R. Taylor	R	R	–	–	–	–	–	–
<i>Oblea baculifera</i> Balech ex Loeblich Jr. & Loeblich III	R	O	R	O	–	–	–	–
<i>Prorocentrum compressum</i> (Bailey) T. H. Abé ex J. D. Dodge	R	R	R	R	–	–	–	–
<i>Prorocentrum cordatum</i> (Ostenfeld) J. D. Dodge	R	R	–	–	–	–	–	–
<i>Prorocentrum lima</i> (Ehrenberg) F. Stein	R	R	–	–	–	–	–	–
<i>Prorocentrum micans</i> Ehrenberg	R	R	–	–	R	O	R	O
<i>Protoperidinium brevipes</i> (Paulsen) Balech	–	–	–	–	R	O	–	–
<i>Protoperidinium crassipes</i> (Kofoid) Balech	–	–	–	–	R	O	R	M
<i>Protoperidinium pallidum</i> (Ostenfeld) Balech	R	O	–	–	–	–	–	–
<i>Polykrikos kofoidii</i> Chatton	R	M	R	M	–	–	–	–
<i>Pronoctiluca pelagica</i> Fabre-Domergue	R	R	–	–	–	–	–	–
<i>Scrippsiella trochoidea</i> (F. Stein) A. R. Loeblich III	R	R	–	–	R	R	R	O
Dinophyta, cysts	R	R	–	–	–	–	–	–
<b>Cyanophyta</b>								
<i>Planktolyngbya limnetica</i> (Lemmermann) Komárková-Legnerová & Cronberg	–	–	R	R	–	–	–	–
<b>Cryptophyta</b>								
<i>Plagioselmis prolunga</i> Butcher ex G. Novarino, I. A. N. Lucas & S. Morrall	R	R	O	R	–	–	–	–
<b>Euglenophyta</b>								
<i>Eutreptia lanowii</i> Steuer	–	–	R	R	M	M	–	–
<b>Chlorophyta</b>								
<i>Pterosperma undulatum</i> Ostenfeld	–	–	–	–	R	R	–	–

**Примечание.** Статус вида по численности (N) и по биомассе (B): R — редкий вид; O — обычный; M — массовый.

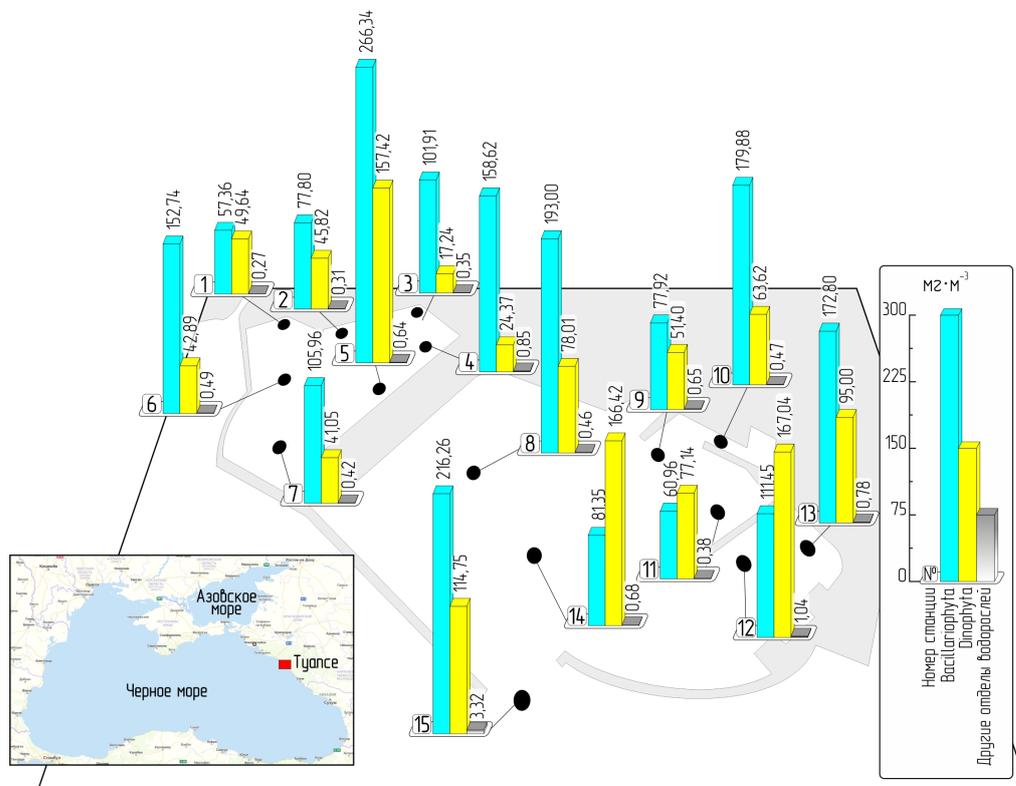
**Note.** Species status in terms of abundance (N) and biomass (B): R – rare species; O – ordinary; M – mass.

**Количественные величины фитопланктона.** В апреле 2019 г. средние по акватории порта величины численности и биомассы составили 568 тыс. кл.·л<sup>-1</sup> и 206 мг·м<sup>-3</sup> соответственно. За пределами порта эти значения были в 1,5 раза выше — 875 тыс. кл.·л<sup>-1</sup> и 334 мг·м<sup>-3</sup> (рис. 1 и 2). Особенно высокие величины численности в порту наблюдали на ст. 5, 8, 12 и 13 (734–986 тыс. кл.·л<sup>-1</sup>), минимальные — на ст. 1 и 9 (350–378 тыс. кл.·л<sup>-1</sup>). Наибольшие величины биомассы в этот период зарегистрированы на ст. 5 (424 мг·м<sup>-3</sup>); они более чем в 3 раза превышали минимальные значения, отмеченные на ст. 1–3 (107–124 мг·м<sup>-3</sup>).



**Рис. 1.** Распределение численности (кл.·л<sup>-1</sup>) фитопланктона в акватории порта Туапсе и за его пределами в апреле 2019 г.

**Fig. 1.** Distribution of the phytoplankton abundance (cells·L<sup>-1</sup>) in the water area of the port of Tuapse and beyond it in April 2019



**Рис. 2.** Распределение биомассы (мг·м<sup>-3</sup>) фитопланктона в акватории порта Туапсе и за его пределами в апреле 2019 г.

**Fig. 2.** Distribution of the phytoplankton biomass (mg·m<sup>-3</sup>) in the water area of the port of Tuapse and beyond it in April 2019

В этот период повсеместно отмечены диатомовые водоросли, которые в целом формировали 98–99 % общей численности и 62–65 % биомассы фитопланктона. Среди них доминировали мелкоклеточные виды *Pseudo-nitzschia* spp. и *Skeletonema costatum* s. l. (72–74 и 21–22 % численности соответственно), обильное развитие которых характерно для весеннего времени года. В незначительном количестве в акватории порта встречены *Chaetoceros affinis*, *Pseudo-nitzschia seriata* и *Nitzschia tenuirostris*, составившие в сумме не более 5 % численности диатомей. В открытой части моря 4 % численности диатомовых водорослей сформировано комплексом видов: *Ch. affinis*, *Ch. compressus*, *Ch. scabrosus*, *N. tenuirostris* и *Thalassionema nitzschioides*.

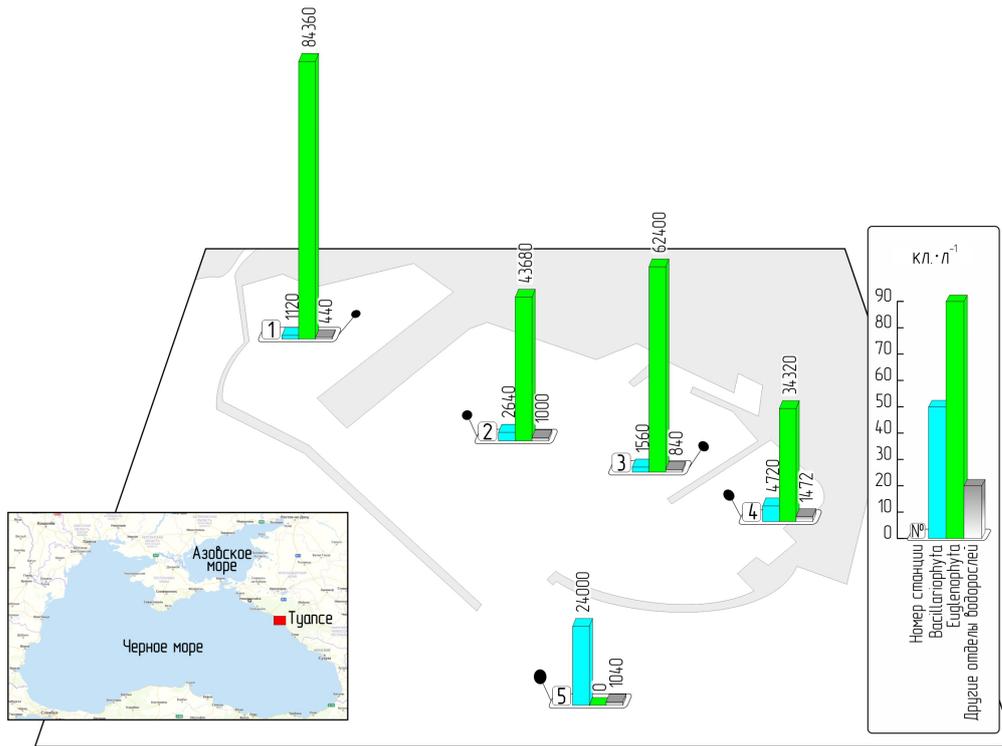
Основу биомассы диатомовых водорослей (86 и 91 % в порту и за его пределами соответственно) формировали следующие виды водорослей: *Pseudo-nitzschia* spp., *Pseudosolenia calcaravis*, *Dactyliosolen fragilissimus*, *Skeletonema costatum* s. l. и *Ch. affinis*. В акватории порта виды *P. seriata*, *Th. nitzschioides* и *Coscinodiscus* sp. составили 11 % биомассы диатомовых; в открытой части моря *Ch. scabrosus* формировал более 5 % биомассы. Для большинства массовых видов наблюдали относительно равномерное распределение в акватории порта. Численность и биомасса *Ch. affinis* на ст. 5 (100 тыс. кл.·л<sup>-1</sup> и 112 мг·м<sup>-3</sup> соответственно) более чем на порядок превышали эти значения на остальных станциях.

Другие отделы водорослей в сумме формировали не более 1–2 % общей численности фитопланктона. На долю динофитовых приходилось 0,5 % общей численности и 34–37 % биомассы. По численности преобладала *Oblea baculifera* (31–36 % численности и 6 % биомассы). В значительном количестве присутствовал *Polykrikos kofoidii* — 14–18 % численности и 55–74 % биомассы динофитовых. В районе порта существенную часть численности (37 %) формировали *Scrippsiella trochoidea*, *Gyrodinium spirale*, *Ensiculifera carinata*, *Gymnodinium simplex* и *Lessardia elongata*; на долю крупных видов *Ceratium furca* и *C. tripos* приходилось 22 % биомассы. В открытой части моря в это время зафиксировано обилие *Diplopsalis lenticula* и *Cochlodinium citron* — в сумме 34 % численности и 17 % биомассы динофитовых.

Криптофитовая водоросль *Plagioselmis prolunga* повсеместно присутствовала в количестве от 2 тыс. кл.·л<sup>-1</sup> (ст. 1) до 10,8 тыс. кл.·л<sup>-1</sup> (ст. 15), в среднем 5 тыс. кл.·л<sup>-1</sup>. При этом вид формировал 1 % численности и 0,3–0,5 % биомассы фитопланктона. Синезелёные и эвгленовые водоросли отмечены в небольшом количестве (в сумме 2 тыс. кл.·л<sup>-1</sup>) только на ст. 15; это менее 1 % общей численности фитопланктона.

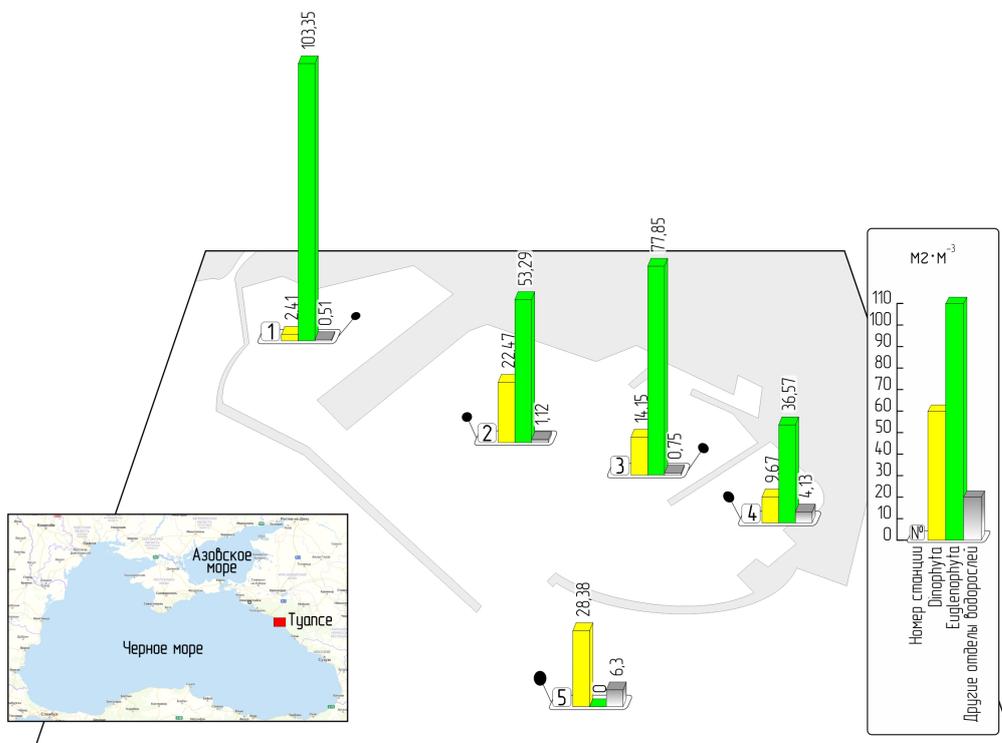
В июне 2019 г. средние значения численности и биомассы планктонных водорослей в порту составили 59 тыс. кл.·л<sup>-1</sup> и 81 мг·м<sup>-3</sup> соответственно (рис. 3 и 4). За пределами порта величины были более чем в 2 раза ниже — 25 тыс. кл.·л<sup>-1</sup> и 34 мг·м<sup>-3</sup>. В акватории порта в этот период отмечали обилие эвгленовых водорослей, представленного мезосапробным видом *Eutreptia lanowii*, который формировал 94 % численности и 83 % биомассы фитопланктона. Повсеместно в порту в небольшом количестве (5 % численности и 16 % биомассы) встречались представители диатомовых (*Th. nitzschioides*) и динофитовых водорослей (*C. tripos*, *C. furca*, *Prorocentrum micans*, *Protoperdinium brevipes* и *P. crassipes*). Представитель зелёных водорослей *Pterosperma undulatum* зарегистрирован только на ст. 4.

Следует отметить, что в акватории порта Туапсе в весенне-летний период 2010 и 2011 гг. синезелёные и эвгленовые водоросли также формировали значительную часть фитопланктона (35–47 % общей численности). Интенсивному развитию этих мезосапробных водорослей способствовала, вероятно, повышенная концентрация питательных веществ, приходящих со сточными водами ливневой канализации (Ясакова и Макаревич, 2017). За пределами порта регистрировали полное отсутствие эвгленовых водорослей, по численности доминировали (95 %) диатомей *Skeletonema costatum* s. l. и *Th. nitzschioides*. Основу биомассы фитопланктона (82 %) формировали динофитовые водоросли, в основном *Ceratium tripos*, *C. furca*, *Ensiculifera carinata*, *Glenodinium paululum*, *P. micans* и *Protoperdinium crassipes*.



**Рис. 3.** Распределение численности (кл.·л<sup>-1</sup>) фитопланктона в акватории порта Туапсе и за его пределами в июне 2019 г.

**Fig. 3.** Distribution of the phytoplankton abundance (cells·L<sup>-1</sup>) in the water area of the port of Tuapse and beyond it in June 2019



**Рис. 4.** Распределение биомассы (мг·м<sup>-3</sup>) фитопланктона в акватории порта Туапсе и за его пределами в июне 2019 г.

**Fig. 4.** Distribution of the phytoplankton biomass (mg·m<sup>-3</sup>) in the water area of the port of Tuapse and beyond it in June 2019

## ОБСУЖДЕНИЕ

Ранее (2009–2011) в порту было обнаружено 95 видов планктонных водорослей, в то время как в открытой части моря видовое разнообразие оказалось существенно ниже (62 вида) (Селифонова и Ясакова, 2012; Ясакова и Макаревич, 2017). Средняя численность фитопланктона в акватории порта за исследованный период составила 105 тыс. кл. $\cdot$ л<sup>-1</sup>, биомасса — 0,228 г $\cdot$ м<sup>-3</sup>. В открытой части, подверженной меньшей антропогенной нагрузке, при сходных значениях численности (120 тыс. кл. $\cdot$ л<sup>-1</sup>) биомасса в 2 раза выше, чем в акватории порта (0,505 г $\cdot$ м<sup>-3</sup>), что указывало на присутствие в этом районе крупноклеточного фитопланктона. Пики численности фитопланктона (115–245 тыс. кл. $\cdot$ л<sup>-1</sup>) отмечали в марте и мае 2009 и 2011 гг. и в июне 2010 г. Значительный вклад в численность (35–38 %) и биомассу (66–70 %) вносили диатомовые водоросли, причём это соотношение мало менялось в открытых и портовых водах. Вклад динофитовых был существенным лишь в суммарную биомассу фитопланктона (26–28 %), при этом они формировали 6–7 % общей численности. Наряду с ролью диатомовых водорослей, велика роль примнезиевых, в частности *Emiliania huxleyi*; её количество было максимальным (56 %) в открытой части, что вдвое превышало значения, отмеченные в порту (27 %). В то же время синезелёные водоросли родов *Oscillatoria* и *Lyngbya* и эвгленовые *Eutreptia lanowii* и *Euglena* sp., которые могут служить одним из показателей неблагоприятной экологической ситуации прибрежных вод, были компонентом фитопланктона акватории порта (11 и 8 % общей численности соответственно). В июне 2010 г. и мае 2011 г. зафиксировано их рекордное количество: в акватории порта они формировали до 35–47 % общей численности фитопланктона. За пределами порта эти водоросли почти полностью отсутствовали (не более 0,02 %).

Средние значения численности планктонных водорослей в порту и за его пределами в 2019 г. составили 313 тыс. кл. $\cdot$ л<sup>-1</sup> в апреле и 450 тыс. кл. $\cdot$ л<sup>-1</sup> в июне. Они почти в 2–2,5 раза превышали значения, отмеченные в акватории порта (145–223 тыс. кл. $\cdot$ л<sup>-1</sup>; в среднем 184 тыс. кл. $\cdot$ л<sup>-1</sup>) и в открытом море (108–207 тыс. кл. $\cdot$ л<sup>-1</sup>; в среднем 172 тыс. кл. $\cdot$ л<sup>-1</sup>) в мае — июне 2009–2011 гг. Проведённые исследования показали, что в апреле 2019 г. количество фитопланктона (568 и 875 тыс. кл. $\cdot$ л<sup>-1</sup>) на порядок выше, чем в июне 2019 г. (59 и 25 тыс. кл. $\cdot$ л<sup>-1</sup>). Биомасса фитопланктона в акватории порта и в открытом море в апреле 2019 г. (в среднем 206 и 334 мг $\cdot$ м<sup>-3</sup> соответственно) также существенно выше (в 2,5–10 раз), чем в июне 2019 г. (81 и 34 мг $\cdot$ м<sup>-3</sup> соответственно). Между тем значения были близки к значениям биомассы, отмеченным в порту (80–242 мг $\cdot$ м<sup>-3</sup>; в среднем 175 мг $\cdot$ м<sup>-3</sup>) и за его пределами (165–400 мг $\cdot$ м<sup>-3</sup>; в среднем 293 мг $\cdot$ м<sup>-3</sup>) в мае и июне 2009–2011 гг.

Максимальная численность и биомасса планктонных водорослей зарегистрированы в апреле 2019 г. за пределами порта (875 тыс. кл. $\cdot$ л<sup>-1</sup> и 334 мг $\cdot$ м<sup>-3</sup> соответственно), что в 1,5 раза выше значений, зафиксированных в акватории порта. Это обусловлено интенсивным развитием преимущественно мелкоклеточных видов диатомей. Необходимо отметить, что апвеллинги, наблюдающиеся в весенний период вдоль всего побережья Северного Кавказа, в значительной мере способствуют насыщению прибрежных вод питательными веществами и, как следствие, цветению воды мелкими видами диатомовых водорослей (Корпакова и др., 2014; Прошкина-Лавренко, 1955). По составу доминантов и уровню обилия состояние фитопланктона соответствовало началу ранневесенней фазы сукцессионного цикла (Макаревич и Олейник, 2017). Самая низкая численность фитопланктона в этот период обнаружена в крайней точке акватории порта (ст. 1). Вероятно, в результате затруднённого водообмена с открытым морем здесь сложились неблагоприятные условия для развития планктонных водорослей.

В июне 2019 г. в открытом море наблюдали повышение доли динофитовых водорослей (82 % общей биомассы), что соответствует летней фазе сезонной сукцессии фитопланктона. По численности вновь доминировали диатомеи (95 %). Сезонная перестройка растительного планктона

зарегистрирована и в акватории порта: доминирующим компонентом планктона здесь стал мезосапробный вид эвгленовых водорослей *E. lanowii*, который формировал основу численности (94 %) и биомассы (83 %). Интенсивное развитие эвгленовых водорослей в целом нехарактерно для северо-восточной части Чёрного моря и может быть свидетельством изменения гидролого-гидрохимических условий среды — повышения уровня эвтрофикации, опреснения и снижения гидродинамической активности вод. На повышенный уровень питательных веществ в акватории порта указывает также в два раза большее обилие планктонных водорослей, наблюдавшееся в летний период, по сравнению с таковым вод открытого моря (ст. 5). Минимальное обилие фитопланктона в акватории порта вновь регистрировали в кутовой зоне (ст. 4), характеризующейся затруднённым водообменном с открытым морем.

По результатам ранее проведённых исследований, значительную часть численности фитопланктона (до 75 %) в это время года формировали кокколитофориды; в 2019 г. доминирующим компонентом планктона были диатомовые и эвгленовые водоросли. Развитие диатомей и эвгленовых водорослей может стимулировать высокая концентрация в воде минерального азота и растворённого органического вещества, в то время как вегетацию кокколитофорид лимитирует минеральный фосфор (Mikaelyan et al., 2013).

**Заключение.** Результаты исследования фитопланктона, выполненные в весенне-летний период 2019 г. в акватории порта Туапсе и за его пределами, существенно дополнили данные о качественных и количественных показателях планктонных микроводорослей, которые были получены в предыдущем десятилетии (2009–2011). Состояние планктонного сообщества в апреле 2019 г. соответствовало ранневесенней фазе сукцессионного цикла фитопланктона. Между тем доминирование в планктоне мезосапробного вида эвгленовых водорослей в июне 2019 г. может служить показателем ухудшения экологической ситуации в районе порта. Вероятно, этому способствовали повышение уровня эвтрофирования, значительное опреснение и стратификация вод, имевшие место в результате установления штилевой погоды и увеличения объёма материкового стока, включая сточные воды ливневой канализации.

*Публикация подготовлена в рамках государственного задания ЮНЦ РАН № АААА-А18-118122790121-5.*

**Благодарность.** Выражаю глубокую признательность академику РАН Г. Г. Матишову и капитану морского порта Туапсе ФГБУ «АМП Чёрного моря» И. Б. Хочолава за организацию и проведение комплексных гидробиологических работ в акватории порта.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. *Водоросли : справочник* / Акад. наук УССР, Ин-т ботаники им. Н. Г. Холодного. Киев : Наукова думка, 1989. 608 с. [*Vodorosli : spravochnik* / Akad. nauk USSR, In-t botaniki im. N. G. Kholodnogo. Kyiv : Naukova dumka, 1989, 608 p. (in Russ.)]
2. Киселев Н. А. *Панцирные жгутиконосцы*. Москва ; Ленинград : Изд-во АН СССР, 1950. 280 с. [Kiselev N. A. *Pantsirnye zhgutikonostsy*. Moscow ; Leningrad : Izd-vo AN SSSR, 1950, 280 p. (in Russ.)]
3. Кольцова Т. Н. Определение объёма и поверхности клеток фитопланктона // *Биологические науки*. 1970. № 6. С. 114–119. [Kol'tsova T. N. Determination of volume and surface of phytoplankton cells. *Biologicheskie nauki*, 1970, no. 6, pp. 114–119. (in Russ.)]
4. Кольцова Т. Н., Лихачева Н. Е., Федоров В. Д. О количественной обработке проб фитопланктона. I. Сравнение объёмов выборок при исследовании различных структурных характеристик морского фитопланктона // *Биологические науки*. 1979. № 6. С. 96–100. [Kol'tsova T. N., Likhacheva N. E., Fedorov V. D. On the quantitative treatment of phytoplankton tests. I. The comparison of the tests volume at investigation of different structure characteristics

- of sea phytoplankton. *Biologicheskie nauki*, 1979, no. 6, pp. 96–100. (in Russ.)]
5. Коновалова Т. В., Орлова Т. Ю., Паутова Л. А. *Атлас фитопланктона Японского моря*. Ленинград : Наука, 1989. 160 с. [Konovalova T. V., Orlova T. Yu., Pautova L. A. *Atlas fitoplanktona Yaponskogo morya*. Leningrad : Nauka, 1989, 160 p. (in Russ.)]
  6. Корпакова И. Г., Цыбульский И. Е., Афанасьев Д. Ф., Барабашин Т. О., Белова Л. В., Налетова Л. Ю., Бычкова М. В., Виноградов А. Ю., Чередников С. Ю. Биоценозы прибрежной зоны шельфа северо-восточной части Чёрного моря // *Основные проблемы рыбного хозяйства и охраны рыбохозяйственных водоёмов Азово-Черноморского бассейна* : сборник научных трудов АЗНИИРХ (2012–2013 гг.). Ростов-на-Дону : Изд-во АЗНИИРХ, 2014. С. 109–129. [Korpakova I. G., Tsybul'skii I. E., Afanas'ev D. F., Barabashin T. O., Belova L. V., Naletova L. Yu., Bychkova M. V., Vinogradov A. Yu., Cherednikov S. Yu. Biotsenozy pribrezhnoi zony shelf'a severo-vostochnoi chasti Chernogo morya. In: *Osnovnye problemy rybnogo khozyaistva i okhrany rybokhozyaistvennykh vodoemov Azovo-Chernomorskogo basseina* : sbornik nauchnykh trudov AzNIIRKh (2012–2013 gg.). Rostov-on-Don : Izd-vo AzNIIRKH, 2014, pp. 109–129. (in Russ.)]
  7. Макаревич П. Р., Олейник А. А. Фитопланктон Баренцева моря в весенний период: состав и структура в районе ледовой кромки // *Труды КНЦ РАН. Океанология*. 2017. Вып. 4. С. 50–58. [Makarevich P. R., Oleinik A. A. Fitoplankton Barentseva morya v vesennii period: sostav i struktura v raione ledovoi kromki. *Trudy KNTs RAN. Okeanologiya*, 2017, iss. 4, pp. 50–58. (in Russ.)]
  8. Прошкина-Лавренко А. И. *Диатомовые водоросли планктона Чёрного моря*. Москва : Изд-во АН СССР, 1955. 216 с. [Proshkina-Lavrenko A. I. *Diatomovye vodorosli planktona Chernogo morya*. Moscow : Izd-vo AN SSSR, 1955, 216 p. (in Russ.)]
  9. Прошкина-Лавренко А. И. *Диатомовые водоросли бентоса Чёрного моря*. Москва : Изд-во АН СССР, 1963. 227 с. [Proshkina-Lavrenko A. I. *Diatomovye vodorosli bentosa Chernogo morya*. Moscow : Izd-vo AN SSSR, 1963, 227 p. (in Russ.)]
  10. *Руководство по методам биологического анализа морской воды и донных отложений* / под ред. А. В. Цыбань. Ленинград : Гидрометеиздат, 1980. 192 с. [*Rukovodstvo po metodam biologicheskogo analiza morskoi vody i donnykh otlozhenii* / A. V. Tsyban (Ed.). Leningrad : Gidrometeoizdat, 1980, 192 p. (in Russ.)]
  11. Сафронова Л. М., Мартынюк М. Л., Фроленко Л. Н., Афанасьев Д. Ф., Мирзоян З. А. Оценка развития биологических сообществ в северо-восточной части Черного моря и трофическая обеспеченность промысловых рыб в современный период // *Вопросы сохранения биоразнообразия водных объектов* : материалы международной научной конференции. Ростов-на-Дону : ФГБНУ «АЗНИИРХ», 2015. С. 283–289. [Safronova L. M., Martynyuk M. L., Frolenko L. N., Afanas'ev D. F., Mirzoyan Z. A. Otsenka razvitiya biologicheskikh soobshchestv v severo-vostochnoi chasti Chernogo morya i troficheskaya obespechennost' promyslovykh ryb v sovremennyi period. In: *Voprosy sokhraneniya bioraznoobraziya vodnykh ob"ektov* : materialy mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii. Rostov-on-Don : FGBNU "AzNIIRKh", 2015, pp. 283–289. (in Russ.)]
  12. Сафронова Л. М., Налетова Л. Ю. Фитопланктон прибрежной зоны северо-восточной части Чёрного моря // *Современные рыбохозяйственные и экологические проблемы Азово-Черноморского региона* : материалы IX Международной научно-практической конференции. Керчь : КФ («ЮгНИРО»), 2017. С. 120–123. [Safronova L. M., Naletova L. Yu. Phytoplankton of the coastal waters of the North-Eastern Black Sea. In: *Current Fishery and Environmental Problems of the Azov and Black Seas Region* : materials of IX International Scientific and Practical Conference. Kerch : KB ("YugNIRO"), 2017, pp. 120–123. (in Russ.)]
  13. Селифонова Ж. П., Ясакова О. Н. Фитопланктон акваторий портовых городов северо-восточного шельфа Чёрного моря // *Морской экологический журнал*. 2012. Т. 11, № 4. С. 67–77. [Selifonova Zh. P., Yasakova O. N. Phytoplankton of areas of the seaports of the northeastern the Black Sea. *Morskoy ekologicheskij zhurnal*, 2012, vol. 11, no. 4, pp. 67–77. (in Russ.)]
  14. Фёдоров В. Д. *О методах изучения фитопланктона и его активности*. Москва : Изд-во МГУ,

1979. С. 106–108. [Fedorov V. D. *O metodakh izucheniya fitoplanktona i ego aktivnosti*. Moscow : Izd-vo MGU, 1979, pp. 106–108. (in Russ.)]
15. Ясакова О. Н., Макаревич П. Р. *Фитопланктон северо-восточной части Чёрного моря*. Ростов-на-Дону : Изд-во ЮНЦ РАН, 2017. 176 с. [Yasakova O. N., Makarevich P. R. *Fitoplankton severo-vostochnoi chasti Chernogo morya*. Rostov-on-Don : Izd-vo YuNTs RAN, 2017, 176 p. (in Russ.)]
16. Dodge J. D. *Marine Dinoflagellates of the British Isles*. London : H. M. S. O., 1982, 301 p.
17. *Identifying Marine Phytoplankton* / C. Tomas (Ed.). San Diego, CA : Academic Press, 1997, 821 p.
18. Mikaelyan A. S., Zatsepin A. G., Chasovnikov V. K. Long-term changes in nutrient supply of phytoplankton growth in the Black Sea. *Journal of Marine Systems*, 2013, vols 117–118, pp. 53–64. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2013.02.012>

## STATUS OF PLANKTON ALGOCENOSIS IN THE WATER AREA OF THE PORT OF TUAPSE AND BEYOND IT IN THE SPRING-SUMMER PERIOD OF 2019

O. N. Yasakova

Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don, Russian Federation

E-mail: [yasak71@mail.ru](mailto:yasak71@mail.ru)

The article presents the research of qualitative structure and quantitative development of phytoplankton in the water area of the port of Tuapse and beyond it in the spring-summer period of 2019. In April 2019, 43 phytoplankton species of 5 divisions were found. In the port area, the mean values of abundance and biomass were of 568 thousand cells·L<sup>-1</sup> and 206 mg·m<sup>-3</sup>, respectively; in the open sea area, the values were 1.5 times higher. In the port area and beyond it, diatoms developed abundantly: 98–99 % of the total phytoplankton abundance and 62–65 % of the biomass. Small-cell species *Pseudo-nitzschia* spp. and *Skeletonema costatum* s. l. formed the basis of the abundance; *Pseudosolenia calcar-avis*, *Dactyliosolen fragilissimus*, and *Chaetoceros affinis* formed the basis of the biomass as well. In June 2019, a decrease was recorded in qualitative (13 species from 4 divisions) and quantitative values of phytoplankton development. In the port area, the mean values of planktonic algae abundance and biomass were of 59 thousand cells·L<sup>-1</sup> and 81 mg·m<sup>-3</sup>, respectively; in the open sea area, these values were more than 2 times lower. In the water area of the port, euglenids developed abundantly: 94 % of the phytoplankton abundance and 83 % of the biomass; those were represented by a mesoaprobic species *Eutreptia lanowii*. Beyond the port of Tuapse, euglenids were not found; in terms of abundance, diatoms predominated (95 %): *Skeletonema costatum* s. l. and *Thalassionema nitzschioides*. The following Dinophyta species formed the basis of the phytoplankton biomass (82 %): *Ceratium tripos*, *C. furca*, *Ensiculifera carinata*, *Glenodinium paululum*, *Prorocentrum micans*, and *Protoperidinium crassipes*.

**Keywords:** phytoplankton, taxonomic composition, abundance, biomass, water area of the port of Tuapse, northeastern Black Sea coast