

ФИТОПЛАНКТОН, ФИТОБЕНТОС,  
ФИТОПЕРИФИТОН

УДК 581.526.325:581.54(262.54)

СОСТАВ И СЕЗОННАЯ СУКЦЕССИЯ ФИТОПЛАНКТОНА  
ТАГАНРОГСКОГО ЗАЛИВА АЗОВСКОГО МОРЯ  
И НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЯ р. ДОН  
В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА

© 2020 г. Л. Г. Корнева<sup>а</sup>, \* Г. Ю. Глущенко<sup>б</sup>, \*\*

<sup>а</sup>Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, пос. Борок, Некоузский р-н, Ярославская обл., Россия

<sup>б</sup>Южный научный центр РАН, Ростов-на-Дону, Россия

\*e-mail: korneva@ibiw.yaroslavl.ru

\*\*e-mail: gluschenko\_gala@mail.ru

Поступила в редакцию 20.07.2018 г.

После доработки 21.01.2019 г.

Принята к публикации 06.02.2019 г.

В январе–ноябре 2017 г. исследован фитопланктон Таганрогского залива Азовского моря и нижнего течения р. Дон. Идентифицировано 210 видов эукариотических водорослей и цианопрокариот. Анализ таксономического и эколого-географического состава, сезонной динамики биомассы и размерной структуры фитопланктона показал, что соотношение крупных таксономических и эколого-географических групп в альгофлоре не изменилось по сравнению с предыдущими годами исследования 1980-е–начало 2000-х гг. В условиях современной аридизации климата в составе альгоценозов увеличилась пропорция миксотрофных фитофлагеллят и цианопрокариот из “планктотрихетового” комплекса и доля мелкоразмерных видов. Основной фактор, влияющий на формирование видового богатства, общей биомассы и структуры фитопланктона – соленость воды. Максимальное разнообразие и биомасса фитопланктона прослеживались в зоне хорогоалиникума.

*Ключевые слова:* фитопланктон, сезонная сукцессия, размерная структура, факторы среды, соленость, климат, Таганрогский залив Азовского моря, Нижний Дон

DOI: 10.31857/S032096522001009X

## ВВЕДЕНИЕ

Изучение закономерностей формирования структуры и разнообразия водных сообществ под влиянием климатических изменений – фундаментальная научная проблема. Для ее решения необходимо иметь представление о закономерностях трансформации и особенностях структуры фитопланктона, реагирующего на действие природных и антропогенных факторов изменением видового разнообразия, соотношения таксонов и количественных показателей, а также замещением одной размерной группы водорослей на другую. Изучение фитопланктона Таганрогского залива Азовского моря ведется с конца XIX в., однако, до сих пор полноценных современных таксономических данных с критическим анализом видового состава альгоценозов крайне мало (Ковалева, 2016). Единичные работы посвящены планктонным водорослям нижнего течения р. Дон (Лужняк, 2017) – акватории, для которой характерны явления сгонов и нагонов воды, зависящие от силы и преобладающего направления

ветра. В последние годы термохалинный режим устьевого взморья Таганрогского залива и дельты р. Дон претерпевает аномальные трансформации. В связи с воздействием природного и антропогенного факторов и, следовательно, с маловодьем граница раздела пресных и морских вод в заливе находится максимально близко к устью реки. В результате сгонов воды аномального масштаба и происходящего в последние годы осолонения Азовского моря в авандельте р. Дон периодически отмечают появление солоноватых вод с соленостью 4–8‰. Это мало изученное явление возникает из-за снижения объема вод, поступающих в Азовское море из р. Дон, и замещения их морскими водами Черного моря. В результате формируются новые, ранее не наблюдавшиеся типы стратификации водных масс в дельте реки (Григоренко и др., 2016; Матишов и др., 2017). В связи с этим важно понять, как процессы, происходящие на общем фоне аридизации климата, влияют на структуру автотрофного планктона.

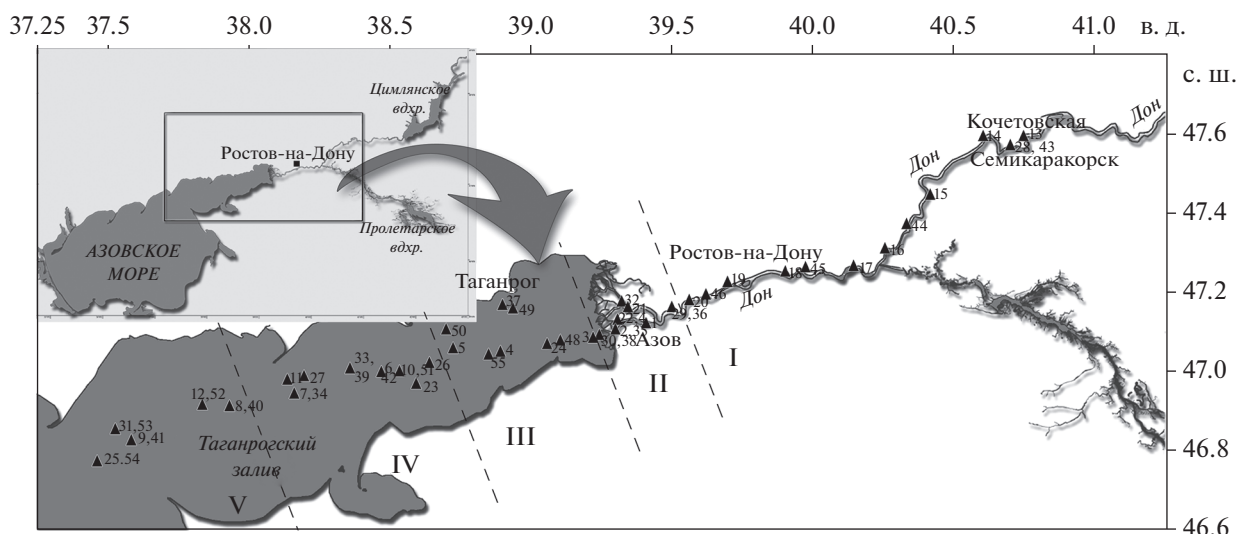


Рис. 1. Карта-схема района исследования: 1–55 – номера станций; пунктир – границы районов: I – нижнее течение р. Дон (от г. Азов до станции Кочетовская), II – авандельта–дельта р. Дон, III – восточный, IV – центральный, V – западный районы Таганрогского залива.

Цель работы – изучить таксономический, размерный, эколого-географический состав и сезонную динамику альгофлоры планктона Таганрогского залива Азовского моря и Нижнего Дона, проанализировать влияние абиотических факторов на формирование пространственной и сезонной изменчивости фитопланктона; сравнить современные данные с полученными в предшествующие периоды наблюдений.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материал собран на 42 станциях Таганрогского залива и нижнего течения р. Дон в январе и апреле–ноябре 2017 г. В нижнем течении р. Дон (Нижний Дон) рассматривали участок от г. Азов до станции Кочетовская (район I) и авандельту–дельту реки (район II). В пределах Таганрогского залива, согласно схеме районирования по гидродинамическим характеристикам и солености вод, выделяли восточный район (III), находящийся под влиянием пресного стока р. Дон; центральный (IV), где смешиваются опресненные водные массы и воды залива; западный (V), на который воздействуют осолоненные азовоморские воды (Матишов и др., 2007; Студеникина и др., 2005) (рис. 1).

Пробы фитопланктона отбирали с поверхностного горизонта 0.5 м. Численность водорослей определяли для разных размерных групп: ультрапланктона, который подразделяли на пико- (размеры клеток 0.2–2 мкм) и нанопланктон (2–20 мкм), и для микропланктона с размером клеток  $\geq 20$  мкм.

Учет ультрапланктона проводили методом прямого счета с использованием эпифлуоресцентной микроскопии (Гусельникова и др., 2007;

Bellinger, Sigeo, 2010). Пробы объемом 10 мл фиксировали 25%-ным раствором глутарового альдегида до конечной концентрации 1% (Зайка и др., 1989). В лабораторных условиях 1–2 мл пробы, окрашенной флуорохромом акридином оранжевым, профильтровывали через мембранные ядерные фильтры (диаметр пор 0.2 мкм), которые предварительно окрашивали спиртовым раствором судана черного (Гусельникова и др., 2007). В люминесцентном микроскопе Микмед-2-Вар-11 при увеличении  $\times 1500$  просматривали от 5 до 100% площади фильтра.

Для анализа микропланктона пробы воды объемом 1–1.5 л фиксировали раствором Люголя, отстаивали в течение 10–14 сут и декантировали до  $\sim 100$  мл. Учет численности проводили в камере Нажотта объемом 0.01 мл с использованием световых микроскопов МББ-1А и Микмед-5 при увеличении  $\times 400$ . Для ее репрезентативной оценки в камере просчитывали до 400–500 особей отдельных видов водорослей, представленных как отдельными клетками, так и ценобиями, нитями и колониями (Методика..., 1975). Биомассу оценивали счетно-массовым методом, исходя из численности и объема клеток, определенного по формулам геометрического подобия (Брянцева и др., 2005). К доминирующим относили виды, достигающие  $\geq 10\%$  суммарной биомассы фитопланктона. Идентификацию диатомовых водорослей проводили в постоянных препаратах с применением световой микроскопии.

Для определения таксономической принадлежности водорослей использовали определители и сводки (Вассер и др., 1989; Голлербах и др., 1953; Забелина и др., 1950; Крахмальский, 2011;

Матвиенко, 1965; Прошкина-Лавренко, 1963; Царенко, 1990; Komárek, 2013; Komárek, Anagnostidis, 1998, 2005; Tomas, 1997). Данные о приуроченности к определенному местообитанию, к категории солености и сапробности, а также эколого-географическая характеристика видов приведены согласно работе Л.Г. Корневой (2015). Таксономический список эукариотических водорослей составлен с учетом систематических преобразований Guiry M. и Guiry G. (2018), цианопрокариот – согласно работам Komárek (Komárek, 2013; Komárek, Anagnostidis, 1998, 2005).

Влияние факторов среды на численность и таксономический состав фитопланктона с учетом их сезонной и пространственной изменчивости оценивали с помощью регрессионного непараметрического анализа DistLM (distance-based linear modeling) с использованием индексов сходства Брея–Кёртиса и Theta+. Оцифровку и графическую визуализацию моделей осуществляли методом ординации dbRDA (distance-based redundancy analysis). В качестве факторов использовали соленость и температуру воды, в качестве показателя расстояния от устья – географическую долготу. Достоверным считали уровень значимости  $p \leq 0.01$ . Кластерный анализ проводили с учетом присутствия и отсутствия представителей различных отделов водорослей методом невзвешенного парного среднего (UPGMA), где в качестве критерия сходства использован индекс Брея–Кёртиса.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В период исследований температура воды в Таганрогском заливе Азовского моря и в дельте р. Дон варьировала от  $-0.6$  (в январе) до  $+28.9^\circ\text{C}$  (июле–августе), минерализация – от  $0.5$  до  $0.9$  мг/л (в нижнем течении р. Дон) и соленость от  $0.6$  до  $14.1\text{‰}$  (в Таганрогском заливе). Соленость воды постепенно увеличивалась в направлении от Нижнего Дона к западной части Таганрогского залива, ее среднее значение для района I было  $0.8 \pm 0.1$ , II –  $0.9 \pm 0.1$ , III и IV –  $5.1 \pm 0.4$ , V –  $10.7 \pm 0.3\text{‰}$ .

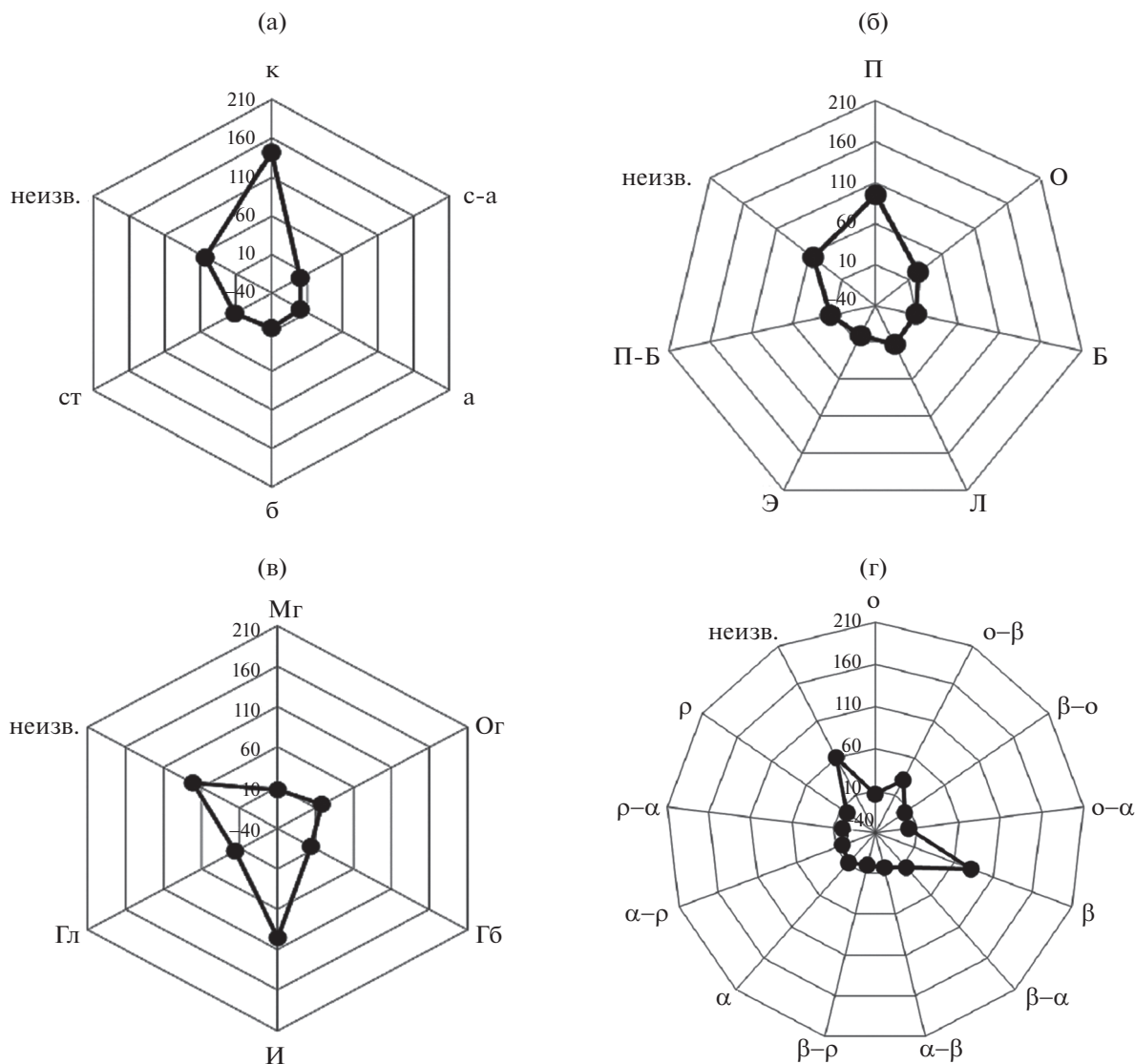
В составе фитопланктона выявлено 210 видов эукариотических водорослей и цианопрокариот, относящихся к 10 отделам: Bacillariophyta – 61, Chlorophyta – 52, Cyanoprokaryota – 50, Dinophyta – 18, Cryptophyta – 11, Euglenophyta – 11, Chrysophyta – 4, Xanthophyta, Charophyta и Nartophyta – по одному виду. Наибольшим видовым богатством характеризовались диатомовые, зеленые водоросли и цианопрокариоты. По частоте встречаемости лидировали криптофитовые водоросли *Komma caudata* (Geitler) Hill, *Plagioselmis prolunga* Butcher et al., диатомовые *Cyclotella caspia* Grunow, *Cyclotella atomus* Hustedt, *Nitzschia acicularis* (Kützinger) Smith, виды рода *Thalassiosira* Cleve, динофитовые из родов *Glenodinium* Ehrenberg, и

*Gymnodinium* Stein, зеленые *Monoraphidium contortum* (Thuret) Komárková-Legnerová, *Scenedesmus quadricauda* (Turpin) Brébisson; цианопрокариоты *Planktothrix agardhii* (Gomont) Anagnostidis & Komárek, *Snowella lacustris* (Chodat) Komárek & Hindák и *Pseudanabaena limnetica* (Lemmermann) Komárek. Наибольшим видовым богатством фитопланктона характеризовался Таганрогский залив (172 вида), в нижнем течении р. Дон зафиксировано 150 видов, 96 видов были общими для исследованных районов.

Фитопланктон представлен различными экологическими группами: планктонными, бентосными, эпифитными формами, морскими, солоновато-водными, а также типичными представителями пресных вод. Среди зеленых водорослей и цианопрокариот отмечены пресноводные и солоновато-водные виды, в составе диатомовых и динофитовых – виды морского, неритического и океанического происхождения, а также солоновато-водные (эстуарные) и пресноводные. По видовому богатству преобладали индифференты по отношению к солености воды и  $\beta$ -мезосапробы (рис. 2). Большинство видов с известными биогеографическими характеристиками входили в группу космополитов (67%).

Кластеризация районов исследования по соотношению крупных таксономических групп (рис. 3) показала достоверную дифференциацию альгофлоры реки (районы I и II) и залива (районы III–V). Коэффициент корреляции, показывающий степень соответствия полученного теоретического распределения реальным данным, был  $0.96$ . В “речном” кластере выделялись нижнее течение р. Дон (I) и авандельта–дельта (II), в кластере “залива” – его восточная часть (ст. 3–5 района III). Остальные станции залива объединялись в три группы: относящиеся ко всей акватории (III–V), центральному (IV) и западному (V) районам. В направлении от нижнего течения р. Дон к западной части Таганрогского залива изменение видового богатства фитопланктона приобретало форму куполообразной кривой с максимумом в районах III и IV – зоне критической солености (хорогалиникума): I – 108, II – 118, III и IV – 136, V – 75 видов.

Уровень развития, характер сезонной динамики, смена ценообразующих видов фитопланктона в нижнем течении р. Дон и Таганрогском заливе различались (рис. 4). Ценофитический состав альгоценозов залива и реки в основном формировали диатомовые водоросли, цианопрокариоты и различные группы фитофлагеллят со смешанным типом питания (миксотрофы). В нижнем течении р. Дон отмечен один весенний максимум биомассы фитопланктона в мае ( $3.8\text{--}4.0$  мг/л), сформированный диатомовыми, эвгленовыми и динофитовыми водорослями, с последующим ее снижением



**Рис. 2.** Соотношение числа видов различных эколого-географических групп водорослей в планктоне Таганрогского залива и Нижнего Дона. Распространение (а): к – космополит, с-а – северо-альпийский, а – альпийский, б – бореальный, ст – субтропический. Местообитание (б): П – планктонный, О – обитатель обрастаний, Б – бентосный, Л – литоральный, Э – эпибионтный, П-Б – планкто-бентосный. Отношение к галобности (в): Мг – мезогалоб, Ог – олигогалоб, Гб – галофоб, И – индифферент, Гл – галофил. Отношение к сапробности (г): о – олигосапроб, о-β – олиго-бета-мезосапроб, β-о – бета-мезо-олигосапроб, о-α – олиго-альфа-мезосапроб, β – бета-мезосапроб, β-α – бета-альфа-мезосапроб, α-β – альфа-бета-мезосапроб, β-ρ – бета-мезо-полисапроб, α – альфа-мезосапроб, α-ρ – альфа-мезо-полисапроб, ρ-α – поли-альфа-мезосапроб, ρ – полисапроб; неизв. – вид, малоизученный в биогеографическом и экологическом отношении или с сомнительной идентификацией.

и постепенной перестройкой доминирующего комплекса: Bacillariophyta–Сryptophyta–Суанорокаryota. В Таганрогском заливе зафиксировано два подъема биомассы: в начале июня (6.0–14.0 мг/л) и в августе–сентябре (5.7–48.2 мг/л) за счет развития Суанорокаryota.

В нижнем течении р. Дон в январе доминировали диатомовые водоросли *Skeletonema costatum* (Greville) Cleve, *Cyclotella atomus* и *C. caspia*, а также криптофитовые *Rhodomonas* cf. *marina* (Dangeard) Lemmermann. В мае–начале июня к диато-

мовым из рода *Cyclotella* (Kützing) Brébisson присоединились эвгленовые (*Euglena* cf. *variabilis* Klebs, *Euglena* sp.), нановодоросли из отд. Chlorophyta и динофитовые (*Diplopsalis acuta* (Apstein) Entz, *Gymnodinium* sp.). Последующая перестройка доминирующего комплекса в июле–августе заключалась в превалировании криптофитовых (*Komma caudata*), диатомовых (*Skeletonema subsalsum* (Cleve-Euler) Bethge, *Thalassiosira* cf. *incerta* Makarova; *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonson) и появлении безгетероцистных цианопрока-

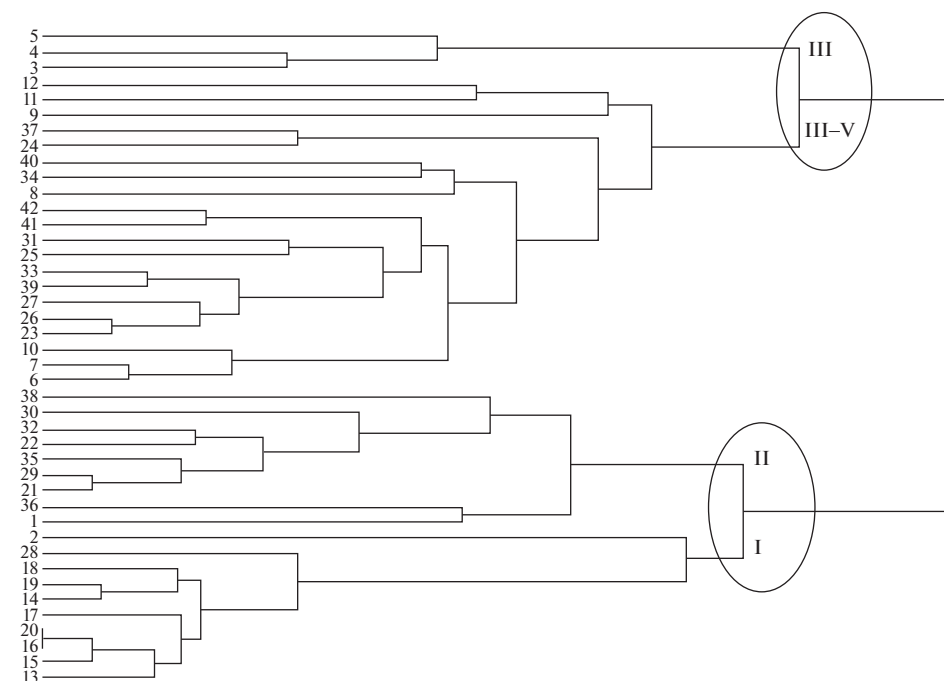


Рис. 3. Дендрограмма флористического сходства районов исследования. I–V – номера районов, 1–42 – номера станций.

приот (*Aphanocapsa delicatissima* W. & West). В начале осени (сентябрь) лидировали криптофитовые *Komma caudata* и *Cryptomonas marssonii* Skuja, диатомовые *Aulacoseira granulata*, динофитовые *Gymnodinium* sp. и цианобактерии *Planktothrix agardhii*, *Anagnostidinium amphibium* (Agardh ex Gomont) Strunecký et al., *Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing, *Microcystis* sp. В ноябре ценозообразующий комплекс представляли диатомовые *Skeletonema costatum*, *Cyclotella meneghiniana* Kützing, *Ulnaria ulna* (Nitzsch) Compère и зеленые нановодоросли.

Сезонное чередование видов фитопланктона в разных районах Таганрогского залива различалось. В подледный период в январе на всей акватории развивались диатомовые *Skeletonema costatum*, *Cyclotella atomus*, *Thalassiosira* cf. *aculeata* Proshkina-Lavrenko, *T. eccentrica* (Ehrenberg) Cleve и динофитовые *Heterocapsa rotundata* (Lohmann) Hansen, *Glenodinium* sp. В апреле доминирующий комплекс состоял из диатомовых *Skeletonema costatum*, *Cyclotella atomus*, *Thalassiosira* cf. *subsalina* Proshkina-Lavrenko, *T. eccentrica*. В мае к ним присоединились диатомеи *Actinocyclus senarius* (Ehrenberg) Ehrenberg, *Thalassiosira* cf. *parva* Proshkina-Lavrenko, динофитовые *Prorocentrum micans* Ehrenberg, *Gonyaulax scrippsae* Kofoid и нановодоросли из отдела Chlorophyta; в восточном районе доминировали лишь диатомовые *Cyclotella atomus* и *C. caspia*. В начале июня повсеместно лидировал из цианобактерий безгетероцистный вид *Snowella la-*

*custris*. Параллельно с ним в разных районах залива доминировали: в западном – *Gomphosphaeria* sp. (порядок Chroococcales), в центральном – *Woronichinia elorantae* Komárek & Komárková-Legnerová (порядок Chroococcales), diazotроф *Anabaenopsis arnoldii* Aptekar (порядок Nostocales) и диатомея *Thalassiosira eccentrica*, а в восточной части – *W. elo-*

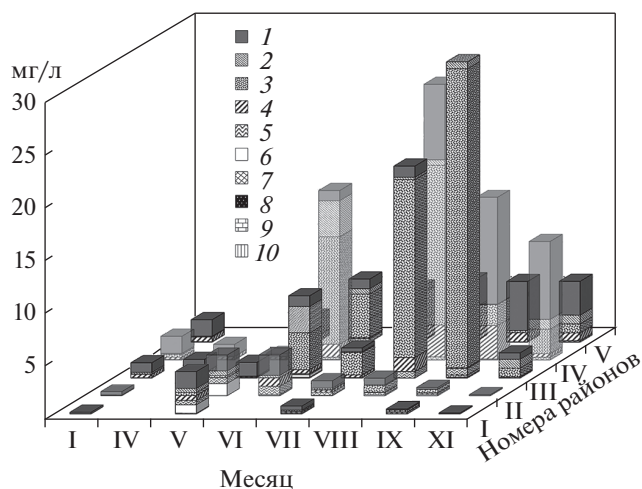
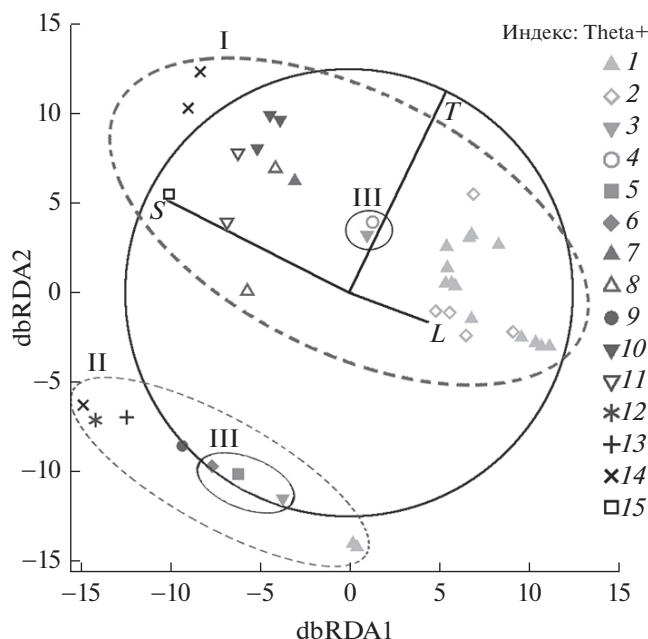


Рис. 4. Сезонная динамика биомассы водорослей Таганрогского залива и Нижнего Дона. 1 – Bacillariophyta, 2 – Chlorophyta, 3 – Cyanobacteria, 4 – Dinophyta, 5 – Cryptophyta, 6 – Euglenophyta, 7 – Chrysophyta, 8 – Charophyta, 9 – Xanthophyta, 10 – Naptophyta.



**Рис. 5.** Связь структуры фитопланктона Таганрогского залива и Нижнего Дона с некоторыми абиотическими факторами. Ось абсцисс (dbRDA1) объясняет 52.4% подогнанной (установленной) и 18.9% общей вариации, ось ординат (dbRDA2) – 41.3% подогнанной и 14.9% общей вариации. Векторы, указывающие направление эффекта параметра в графике ординации (*L* – долготы (° в.д.), *T* – температура (°С) и *S* – соленость воды (‰)): 1 – 0.5–0.99, 2 – 1.00–1.49, 3 – 4.00–4.49, 4 – 4.50–4.99, 5 – 6.50–6.99, 6 – 7.00–7.49, 7 – 8.00–8.49, 8 – 8.50–8.99, 9 – 9.00–9.49, 10 – 9.50–9.99, 11 – 10.00–10.49, 12 – 10.50–10.99, 13 – 11.50–11.99, 14 – 12.00–12.49, 15 – 12.50–12.99. Пунктирные линии – безледный (I) и подледный (II) комплексы, III – зона хорогалиникума.

*rantae* и представитель зеленых *Tetraëdron minimum* (Braun) Hansgirg. В конце июня–августе наблюдали постепенное замещение хроококковых на нитчатые осцилляториевые (*Pseudanabaena limnetica*). Однако в западном районе наряду с цианопрокариотами преобладали морские теплолюбивые диатомовые *Pseudosolenia calcar-avis* (Schultze) Sundström и динофитовые *Prorocentrum micans*. В сентябре к доминирующему комплексу присоединились диатомея *Leptocyclus minimus* Gran, динофлагеллята *Cochlodinium polykrikoides* Margalef и в восточном районе – *Woronichinia compacta* (Lemmermann) Komárek & Hindák из цианопрокариот. В ноябре из диатомовых преобладала *Thalassiosira cf. incerta*, а в восточном районе залива доминирующий комплекс сменили цианопрокариоты *Snowella lacustris* и *Planktothrix agardhii*, диатомовые *Skeletonema costatum*, *Cyclotella meneghiniana* и неидентифицированные зеленые нановодоросли.

В течение всего года большую часть суммарной биомассы формировали водоросли мик-

рофракции, их максимумы развития наблюдали весной (60–86% биомассы) и летом (91–95%). В мае они встречались во всех исследованных районах, а в августе – только в Таганрогском заливе. В сентябре их доля в общей биомассе снижалась до 77%, в ноябре – до 71%. Осенью они развивались в основном в центральном и западном районах залива. Наибольший вклад нанофракции в суммарную биомассу фитопланктона в течение года отмечен в восточном районе залива. Максимального развития эта размерная группа достигала в январе (54–60%), мае (38–57%) и ноябре (32–47%). Пиководоросли преобладали в нижнем течении р. Дон и в его устьевом районе в течение всего периода исследования. Их наибольшая относительная биомасса отмечена в январе (15–20%) и ноябре (12–20%). В направлении от Нижнего Дона к западной части Таганрогского залива по мере увеличения солености воды процентное содержание пико- и нанопланктона в суммарной биомассе постепенно уменьшалось с 10 до 3% и с 39 до 27% соответственно, а доля микропланктона, наоборот, увеличивалась с 51 до 73%. Средняя для участков биомасса фитопланктона варьировала от  $1.8 \pm 0.5$  до  $11.7 \pm 2.7$  мг/л, достигая наибольшего значения в районах III и IV, в зоне хорогалиникума ( $10.5 \pm 2.4$  мг/л).

Результаты регрессионного анализа показали, что по количественному соотношению видов нано- и микропланктона “подледный” и “безледный” комплексы достоверно различались (пунктирные линии на рис. 5). В каждом из них четко прослеживалось формирование ценологических групп, которые распределялись в пространстве ординации факторов по направлению увеличения солености воды. Связь фитопланктона с соленостью наиболее четко выражена в Таганрогском заливе. Структура фитопланктона Нижнего Дона была более чувствительна к фактору долготы. Участки вод с соленостью 5–8‰ (зона хорогалиникума) располагались в восточной части Таганрогского залива (рис. 5).

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Сравнение данных по составу альгофлоры планктона в период распреснения Азовского моря (1980-е–начало 2000-х гг.) (Лужняк, 2017; Макаревич, 2007; Макаревич, Ларионов, 2004) и наших данных показывает, что в 2017 г. в нижнем течении р. Дон количество видов не изменилось, а в заливе уменьшилось в три раза. Превалирование, как и ранее, видового богатства диатомовых, зеленых водорослей, цианопрокариот и преобладание космополитов, видов-индифферентов по отношению к солености и β-мезосапробов свидетельствовало о стабильности общей структуры альгофлоры планктона исследованных районов.

В отличие от предшествующих наблюдений (Макаревич, 2007; Макаревич, Ларионов, 2004) в сезонной динамике биомассы фитопланктона Таганрогского залива в 2017 г. выявлено два летних пика, сформированных цианопрокариотами, а не диатомовыми и зелеными водорослями, как отмечалось ранее. В нижнем течении р. Дон почти круглогодично лидировали диатомовые водоросли, в конце июля–сентябре к ним присоединялись цианопрокариоты и криптофитовые. Присутствие последних в доминирующем комплексе также не отмечали в предыдущие годы. Смещение в 2017 г. во времени массового весеннего развития диатомовых водорослей на один месяц могло быть связано с более поздним прогревом толщи воды до температуры  $>17^{\circ}\text{C}$ .

Сезонная смена основных лидирующих видов фитопланктона исследованной акватории была сходной с описанной в работах (Лужняк, 2017; Макаревич, 2007; Макаревич, Ларионов, 2004). Однако появление среди ценозообразующих видов Нижнего Дона доминантов, способных к миксотрофному типу питания (динофитовых и криптофитовых водорослей), и массовое развитие цианопрокариот в конце августа сигнализировали о высоком уровне содержания органического вещества и об увеличении гетеротрофной составляющей в функционировании экосистемы (Корнева, 2015). В Таганрогском заливе в 2017 г. отмечено уменьшение доли зеленых водорослей в суммарной биомассе фитопланктона, начало интенсивного развития цианопрокариот в июне и смена основных доминантов (*Snowella lacustris*, *Pseudanabaena limnetica*, *Planktothrix agardhii* и виды рода *Woronichinia* Elenkin, заменили преобладавших ранее *Microcystis aeruginosa*, виды родов *Aphanizomenon* Morren ex Bornet & Flahault, *Anabaena* Bory de Saint-Vincent & Flahault и *Oscillatoria* Vaucher ex Gomont). Нарастающее развитие безгетероцистных цианопрокариот и их представителей из “планктотрихетового” (осцилляториевого) комплекса, устойчивых к недостатку света и высокому содержанию биогенных веществ (Reynolds et al., 2002), характерно для заключительных стадий олиго-эвтрофной сукцессии (Корнева, 2015) и свидетельствует об увеличении трофии вод залива.

На повышение уровня трофии вод залива и реки указывает также изменение соотношения размерных групп фитопланктона. По сравнению с предыдущим периодом (Глущенко, Лужняк, 2013), в 2017 г. наблюдали уменьшение доли микроводорослей в среднем на 10% и увеличение в 1.5 раза доли мелкоклеточного нанопланктона. Повышение доли крупноразмерного фитопланктона по мере увеличения солености хорошо согласуется с результатами, полученными при росте минерализации в водохранилищах Нижней Волги (Корнева, 2015).

В 2017 г. в пространственном распределении фитопланктона сохранялись три комплекса водорослей с присущими им специфическими наборами видов (Макаревич, 2007; Макаревич, Ларионов, 2004), но границы их развития сместились в залив в результате усиления аридизации и продвижения соленых вод. Первый комплекс, характеризующийся преобладанием диатомовых и динофитовых водорослей, был сформирован в западном районе (в зоне влияния морских вод) и распространялся до центральной части залива, а иногда и до восточной. Второй комплекс с доминированием диатомовых водорослей и цианопрокариот, ранее приуроченный к опресненным водам восточной части Таганрогского залива и Нижнего Дона, сохранил свое расположение и в 2017 г. Третий – смешанный комплекс, отличающийся по видовому составу от двух первых, ранее занимал районы смешения пресных и солоноватых вод в центральной части залива, а в 2017 г. сместился ближе к его восточной части. Присутствие галофилов в этой части залива носит периодический характер, предположительно связанный с заносом азотно-черноморских солоноватых вод в результате сгонно-нагонных явлений. Поэтому расширение зоны развития представителей морского планктона в центральном районе залива и их проникновение вплоть до его восточной части пока не может свидетельствовать о натурализации морских видов по всей акватории Таганрогского залива. Однако результаты статистического анализа подтверждают и иллюстрируют, что наиболее важный фактор формирования флоры и структуры автотрофного планктона в исследованных водоемах – соленость. Данные об увеличении видового богатства и биомассы фитопланктона в зоне критической солености согласуются с концепцией максимального разнообразия протистов в хорогалиникуме (Skarlato, Telesh, 2017) и служат хорошим дополнением в ее развитие.

**Выводы.** В январе–ноябре 2017 г. в Таганрогском заливе и нижнем течении р. Дон обнаружено 210 видов водорослей из 10 отделов. По видовому богатству преобладали диатомовые, зеленые водоросли и цианопрокариоты. Основную часть видов представляли космополиты, индифференты по отношению к солености воды и  $\beta$ -мезосапробы по отношению к содержанию легкоусвояемого органического вещества. Структуру планктонных альгоценозов залива и реки определяли диатомовые водоросли, цианопрокариоты и различные группы миксотрофных фитофлагеллят. В сезонной динамике биомассы фитопланктона Нижнего Дона зарегистрирован один весенний максимум, обусловленный развитием диатомей и жгутиковых водорослей. В динамике фитопланктона Таганрогского залива отмечен обширный летний максимум, образованный цианопрокариотами. Средняя биомасса фитопланктона постепенно уве-

личивалась от реки к заливу и достигала наибольших значений в его восточном и центральном районах в зоне хорогалиникума, где выявлено наибольшее видовое богатство фитопланктона. Увеличение доли биомассы мелкоклеточных видов водорослей, обилия видов “планктотрихетового” комплекса цианопрокариот и миксотрофных фитофлагеллят свидетельствуют о глубоких изменениях, происходящих в исследованных водных экосистемах вследствие возрастания уровня трофии вод при изменении климата. Увеличение солености вод в условиях аридизации отражается на формировании структуры альгопланктоценозов и периодическом расширении ареала распространения его морских представителей к дельте реки.

### БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарны О.С. Макаровой (Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН) за помощь в подготовке материала для диатомового анализа, В.Л. Семину (Южный научный центр РАН) в работе с программным обеспечением Primer-6 & Rpartova+ и сотрудникам лаборатории гидрологии и гидрохимии (Южный научный центр РАН) за любезно предоставленные данные по абиотическим параметрам водоемов.

### ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках научного проекта № 17-34-50135 “Оценка изменений сезонной сукцессии фитопланктона Таганрогского залива Азовского моря и Нижнего Дона в условиях изменяющегося климата”.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Брянцева Ю.В., Лях А.М., Сергеева А.В. 2005. Расчет объемов и площадей поверхности одноклеточных водорослей Черного моря. Севастополь, Препринт Институт биологии южных морей НАН Украины.
- Вассер С.П., Кондратьева Н.В., Масюк Н.П. и др. 1989. Водоросли: справочник. Киев: Наук. думка.
- Глуценко Г.Ю., Лужняк О.Л. 2013. Роль водорослей разных размерных фракций в общей биомассе фитопланктона Таганрогского залива // Вестник Южного научного центра. Т. 9. № 1. С. 42.
- Голлербах М.М., Косинская Е.К., Полянский В.И. 1953. Определитель пресноводных водорослей СССР. М.: Сов. наука. Вып. 2.
- Григоренко К.С., Московец А.Ю., Аршакян Г.Г., Мирко А.С. 2016. О взаимодействии пресных речных вод р. Дон и осолоненных вод Таганрогского залива Азовского моря // Наука юга России. Т. 12. № 1. С. 107.
- Гусельникова Н.Е., Черкасова М.Н., Власова С.Н. 2007. Методика прямого учета бактерий в пробах воды с применением флуоресцентного красителя // Питьевая вода. № 1. С. 22–23.
- Забелина М.М., Киселев И.А., Прошкина-Лавренко А.И., Шешукова В.С. 1950. Диатомовый анализ: Определитель ископаемых и современных диатомовых водорослей. Кн. 3. Л.: Госгеолиздат.
- Заика В.Е., Шевченко В.А., Булатов К.В. 1989. Экология морского фототрофного пикопланктона. М.: Научный центр биологических исследований.
- Ковалева Г.В. 2016. История изучения микроводорослей Азовского моря. Обзор // Наука Юга России. Т. 12. № 3. С. 51.
- Корнева Л.Г. 2015. Фитопланктон водохранилищ бассейна Волги. Кострома: Костромской печатный дом.
- Крахмальний А.Ф. 2011. Динофитовые водоросли Украины (иллюстрированный определитель). Киев: Альтерпрес.
- Лужняк О.Л. 2017. Современное состояние фитопланктона нижнего течения реки Дон в условиях антропогенного преобразования стока // Вода: химия и экология. № 9. С. 11.
- Макаревич П.Р. 2007. Планктонные альгоценозы эстуарных экосистем. Баренцево, Карское и Азовское моря. Москва: Наука.
- Макаревич П.Р., Ларионов В.В. 2004. Сезонная сукцессия фитопланктонного сообщества Таганрогского залива // Комплексный мониторинг среды и биоты Азовского бассейна. Т. 6. Апатиты: Кольск. науч. центр. С. 106.
- Матвиенко О.М. 1965. Визначник прісноводних водоростей Української РСР. Т. III. Ч. 1. Київ: Наук. думка.
- Матишов Г.Г., Григоренко К.С., Московец А.Ю. 2017. Механизмы осолонения Таганрогского залива в условиях экстремально низкого стока Дона // Наука юга России. Т. 13. № 1. С. 35.
- Матишов Д.Г., Ильин Г.В., Моисеев Д.В. 2007. Сезонная термохалинная изменчивость водных масс в Таганрогском заливе Азовского моря // Вестник Южного научного центра. Т. 3. № 1. С. 28.
- Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. 1975. Москва: Наука.
- Прошкина-Лавренко А.И. 1963. Диатомовые водоросли планктона Азовского моря. Москва: Наука.
- Студеникина Е.И., Мирзоян З.А., Мартынюк М.Л. и др. 2005. Методы сбора и обработки гидробиологических проб // Методы рыбохозяйственных и природоохранных исследований в Азово-Черноморском бассейне. Краснодар: АЗНИИРХ, С. 50.
- Царенко П.М. 1990. Краткий определитель хлорококковых водорослей Украинской ССР. Киев: Наук. думка.
- Bellinger E.G., Sigeo D.C. 2010. Freshwater Algae: Identification and Use as Bioindicators. Wilts: Chippenham.
- Guiry M.D., Guiry G.M. 2018. AlgaeBase. World-wide electronic publication. Galway: National University of Ireland Press. Available at: <http://www.algaebase.org>. (accessed 08.05.2018).
- Kotárek J. 2013. Süßwasserflora von Mitteleuropa: Cyanoprokaryota: Heterocytous Genera. Bd 19/3. Berlin: Springer.
- Kotárek J., Anagnostidis K. 1998. Süßwasserflora von Mitteleuropa: Cyanoprokaryota: Chroococcales. Bd 19/1. Heidelberg: Spektrum.



- Komárek J., Anagnostidis K.* 2005. Süßwasserflora von Mitteleuropa: Cyanoprokaryota: Oscillatoriales. Bd 19/2. München: Elsevier.
- Reynolds C.S., Huszar V., Kruk C.* 2002. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton // *J. Plankton Res.* V. 24. № 5. P. 417.
- Skarlato S.O., Telesh I.V.* 2017. The development of the protistan species-maximum concept for the critical salinity zone // *Russ. J. Mar. Biol.* V. 43. № 1. P. 1.
- Tomas C.R.* 1997. Identifying Marine Phitoplankton. San Diego: Academic Press.

## Composition and Seasonal Succession of the Phytoplankton of the Taganrog Bay of the Sea of Azov and the Lower Don under Changing Climate

L. G. Korneva<sup>1, \*</sup> and G. Yu. Glushchenko<sup>2, \*\*</sup>

<sup>1</sup>*Papanin Institute for Biology of Inland Waters, Russian Academy of Sciences, Borok, Nekouzskii raion, Yaroslavl oblast, Russia*

<sup>2</sup>*Southern Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don, Russia*

\**e-mail: korneva@ibiw.yaroslavl.ru*

\*\**e-mail: glushchenko\_gala@mail.ru*

The results of the study on the phytoplankton in the Taganrog Bay in the Sea of Azov and the Lower Don during January–November 2017 are presented. 210 species of eukaryotic algae and cyanoprokaryotes were identified. Analysis of the taxonomic, ecological and geographical composition of the plankton algoflora, seasonal dynamics of biomass of phytoplankton taxonomic and size structures showed that the ratio of large taxonomic and ecological-geographic groups in the algal flora did not change in comparison with previous years (1980s–early 2000s). However, in algocoenosis the proportion of myxotrophic phytophagellate, cyanoprokaryotes from “planktotrichet” complex and small-sized species increased. It is shown that the salinity of water is the main factor influencing the formation of species richness, total biomass and structure of phytoplankton. The maximum diversity and biomass of phytoplankton were recorded in the zone of horohalini-um.

*Keywords:* phytoplankton, seasonal succession, size structure, climate, salinity, Taganrog Bay of the Sea of Azov, Lower Don