ВЛИЯНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ ИНВАЗИЙ НА ФИТОПЛАНКТОН ТАГАНРОГСКОГО ЗАЛИВА (В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕНИЯ СОЛЕННОСТИ)

Г.В. Ковалева, К.С. Григоренко

Южный научный центр Российской академии наук, г. Ростов-на-Дону

kovaleva@ssc-ras.ru, grigorenko@ssc-ras.ru

Аннотация. В статье рассматриваются результаты изучения фитопланктона Таганрогского залива в современных условиях повышения солёности. Приведены данные о численности, биомассе и видовом составе фитопланктона, распределении солёности на поверхности Азовского моря во время экспедиции НИС «Денеб» 29 мая – 4 июня 2018 г. После периода распреснения, на протяжении последних 10 лет вновь отмечается тенденция к повышению солёности в Азовском море и Таганрогском заливе, связанная с маловодностью бассейнов рек Дон и Кубань. Трансформация гидролого-гидрохимических параметров существенно влияют на состав фитопланктоного сообщества, которое быстро реагирует на изменение окружающей среды. Проникновение в Азовское море полигалобных динофитовых и диатомовых водорослей чаще всего связывают с адвекциями черноморских вод и их рассматривают как аллохтонный компонент фитопланктоного сообщества. Еще несколько лет назад ареал проникновения этих видов ограничивался только открытой частью Азовского моря, но теперь биологические инвазии полигалобных видов обнаружены в центральной и даже восточной части Таганрогского залива. Анализ видового состава фитопланктона показал, что на акватории залива активно вегетировали виды, которые ранее отмечались только в южной части Азовского моря. Помимо типичных элементов флоры Таганрогского залива, были отмечены такие мезогалобные виды динофитовых водорослей, как *Scrippsiella trochoideum* (Stein) Balech и *Dinophysis acuminata* Clap. et Lachm. Описано массовое развитие золотистой водоросли *Ebria tripartita* (Schum.) Lemm, приведены данные по ее численности и биомассе. Обсуждаются пути предупреждения опасных последствий инвазии «чужеродных видов» в Таганрогский залив.

Ключевые слова: фитопланктон, биологические инвазии, солёность, Таганрогский залив, *Ebria tripartita*, «цветение» воды

История исследований микроскопических водорослей Азовского моря началась еще в конце XIX века. Начальный период исследований альгофлоры Азовского моря связан с именами выдающихся альгологов и гидробиологов: В.М. Арнольди, П.И. Усачева, Г.К. Пищыка, А.И. Прошкиной-Лавренко [1].

За время этих исследований отмечались периоды осолонения (с 1969 по 1976 гг.) в период зарегулирования пресноводного стока, когда объем речных вод, поступающих в море, снизился почти на 40 %. В последующие годы ситуация нормализовалась и, в начале XXI века солёность оставалась на уровне среднепогодных значений. После периода распреснения, на протяжении последних 10 лет вновь отмечается тенденция к повышению солёности в Азовском море и Таганрогском заливе, связанная с маловодностью и снижением пресноводного стока из рек Дон и Кубань. Эти трансформации гидролого-гидрохимических параметров существенно влияют на состав фитопланктоного сообщества, которое быстро реагирует на изменения окружающей среды.

Вопросы, связанные с вселением чужеродных организмов в Азовское море дискутируются в последнее десятилетие достаточно подробно. Исследованы результаты случайного вселения:

гребневиков, различных видов моллюсков и крабов; преднамеренного вселения (акклиматизации) дальневосточной кефали – пиленгаса. Проследить «вселение» планктонных водорослей гораздо сложнее. Следует сразу отметить, что в случае с микроводорослями термин «вселенец» применим не ко всем видам и, на наш взгляд не совсем точен, поэтому его можно использовать с оговоркой, учитывая недостаточно полно разработанную терминологию [2].

Сложности изучения процессов вселения новых видов микроводорослей связаны с их мелкими размерами, значительной мозаичностью в распределении фитопланктона, высокой скоростью размножения и смены поколений, а, следовательно, высокой скоростью смены доминирующих видов. А в случае, если вид не развивается в массе, его вегетация может остаться незамеченной исследователями. Помимо проблем, указанных выше, осложняет дело и тот факт, что исследования микроводорослей в различных районах морей проходят очень неравномерно. Поэтому даже сопоставление опубликованных таксономических списков не позволяют с определенной уверенностью говорить о случаях «вселения» (появления и постоянного присутствия во флоре) того или иного вида микроводорослей.

Проследить «вселение» новых видов фитопланктона в Азовское море является сложной задачей еще и потому, что до конца не ясно, какие виды следует считать автохтонными для Азовского моря. Азовское море – солоноватоводный бассейн и его максимальная соленость составляет 1/3 нормальной морской солености. На то, что флора фитопланктона Азовского моря является смешанной, указывали многие авторы [2; 3; 4]. В ее состав входят как солоноватоводные виды, так и виды морского и континентального происхождения. Для многих видов микроводорослей принадлежность к той или иной группе является спорной из-за слабой изученности их экологии.

В литературе по фитопланктону Азовского моря часто отмечается присутствие видов «вселенцев» («чужеродных видов», иначе называемых – аллохтонным компонентом) в южном районе моря, находящемся под непосредственным влиянием водообмена с Черным морем. В этот список чаще всего попадают полигалобные динофлагелляты из родов *Prorocentrum*, *Ceratium*, *Dinophysis*, *Alexandrium*, *Gymnodinium*, *Prorocentrum*, а также диатомовые водоросли из родов *Pseudosolenia*, *Nitzschia*.

В последнее время, на акватории Азовского моря нами было неоднократно отмечено присутствие поли- и мезогалобных золотистых (*Apedinella spinifera* (Throndsen) Throndsen, *Ochromonas oblonga* N.Carter) празиофициевые (*Pyramimonas glossii* Parke, *Pseudoscourfieldia marina* (Throndsen) Manton) и рафидофитовых (*Chattonella subsalsa* Biecheier,

Heterosigma inlandica Hada, *H. akashiwo* (Hada)Hada) водорослей. Хотя присутствие в планктоне последних, вероятно является не современной тенденцией, а результатом более тщательных таксономических исследований [4].

Проникновение в Азовское море полигалобных динофитовых и диатомовых водорослей чаще всего связано с адвекциями черноморских вод и их рассматривают как аллохтонный компонент фитопланктонного сообщества, хотя некоторые эвригаллинные виды становятся долговременным компонентом альгоценоза (в течение одного биологического сезона) и достигают заметного количественного развития. По нашему мнению, ежегодные случаи проникновения черноморских видов, которые пластично встраиваются в летне-осенний альгоценоз, а с наступлением зимнего периода бесследно исчезают из фитопланктонного комплекса Азовского моря, следует описывать термином – биологические инвазии.

И если еще несколько лет назад ареал проникновения этих видов ограничивался только открытой частью Азовского моря, то сейчас мы фиксируем биологические инвазии полигалобных видов в центральной и даже восточной части Таганрогского залива.

Материалом для данного исследования послужили результаты, полученные в ходе экспедиции НИС «Денеб» (29 мая – 4 июня 2018 г.), а также фондовые данные предыдущих лет. На рисунке 1 представлена схема расположения экспедиционных станций во время экспедиции в мае-июне 2018 г.

Рис. 1. Расположение экспедиционных станций и маршрут НИС «Денеб» в акватории Азовского моря во время экспедиции 29 мая – 4 июня 2018 г.

Работы по гидрологии выполнялись с помощью зонда SBE-19, термосалинографа SBE-21, и доплеровского измерителя течений Aanderaa RCM 9LW. Обработка данных производилась с помощью программного обеспечения фирмы-производителя зонда Sea-Bird Electronics и Aanderaa. Максимальная достигнутая глубина составила 11,8 м на станции 13.

Количественные пробы фитопланктона отбирали из поверхностного слоя воды во флаконы объемом 0,5 л. Пробы фиксировали кислым раствором Люголя и в лабораторных условиях концентрировали осадочным методом до конечного объема 50–80 мл. Для определения таксономического состава и количественного учета фитопланктона, сконцентрированные пробы анализировали с использованием светового микроскопа Leica DME в камере Ножотта (0,1 мл) при увеличении $\times 400$. Крупные формы микроводорослей (более 50 мкм) учитывали во всей камере Ножотта, в двух–трех повторных наполнениях, прочие виды считали в нескольких полосах камеры (до 400 клеток). Для расчета численности использовали стандартные формулы, расчет биомассы проводили по фактическим размерам клеток, рассчитывая объем клетки по методу геометрического подобия. В целях более точной таксономической идентификации видов диатомовых были изготовлены постоянные препараты, для чего эксикат пробы фитопланктона (1–2 мл) кипятили с добавлением перекиси водорода, высушивали и затем заключали в высокопреломляющую смолу Nafrax.

Таганрогский залив – один из самых изученных районов Азовского моря. Восточная его часть, принимающая сток р. Дон, характеризуется небольшими глубинами и резкими колебаниями основных параметров среды в результате сгонно-нагонных явлений. Для этого района характерна наибольшая продолжительность ледового периода, значительная нагрузка биогенного стока и сильно выраженный градиент солёности.

Для распределения солёности на поверхности в период экспедиции (29 мая – 4 июня 2018 г.), представленного на рисунке 2, характерно наличие более интенсивного, по сравнению с предыдущими годами, фронтогенеза в Таганрогском заливе.

Первый фронт имел протяженность около 30 км, и начинался от траверза г. Таганрога. На этом участке акватории залива солёность возрастала с 1 до 6 ‰. В центральной и западной частях залива, вплоть до косы Долгой, солёность возрастала менее резко, причем на промежутке между г. Ейском и косой Долгой был расположен район с понижением солёности с 11 до 9 ‰. Второй фронт расположен на слиянии Таганрогского залива и собственно Азовского моря. Он является более резким, т.к. на протяжении 5–7 км солёность возрастала с 9 до 14 PSU. Водная масса собственно моря (кроме юго-западной части, Темрюкского залива и траверза Приморско-Ахтарска) была заполнена водами с величинами солёности, превышающими 14 PSU.

Рис. 2 – Распределение солёности поверхности Азовского моря и маршрут движения судна во время экспедиции НИС «Денеб» 29 мая – 4 июня 2018 г.

При исследовании изменения вертикальной структуры поля солёности формирование стратификации вод не отмечено. Однако 30 мая, очевидно из-за влияния ветрового подпора речных вод, сформировались два фронта с ростом солёности: от

1 до 6 ‰ в восточной части Таганрогского залива и, от 10 до 14 ‰ за косой Долгой. Вертикальные разрезы солёности Азовского моря 30 мая и 4 июня 2018 г. представлены на рисунках 3 и 4, соответственно.

Рис. 3 – Вертикальный разрез солёности водной массы Азовского моря 30 мая 2018 г.

Рис. 4 – Вертикальный разрез солёности водной массы Азовского моря 4 июня 2018 г.

Фитопланктон Таганрогского залива в период проведения экспедиции был представлен 55 таксонами (рангом ниже рода). Наибольшим разнообразием отличались зеленые (Chlorophyta – 16 таксонов), диатомовые (Bacillariophyta – 13) и синезеленые водоросли (Cyanophyta – 11). Остальные отделы были представлены существен-

но меньшим числом таксонов: Cryptophyta – 5, Dinophyta – 4, Prasinophyta – 3, Chrysophyta – 2, Euglenophyta – 1.

Показатели численности и биомассы фитопланктона были традиционно высокими для летнего сезона (табл. 1). Биомасса составляла в среднем $8,6 \text{ г/м}^3$, а численность $25,6 \text{ млн. кл/м}^3$.

Таблица 1
Показатели количественного развития фитопланктона Таганрогского залива
(30 мая – 4 июня 2018 г.)

Отдел	Восточный район залива		Центральный район залива		Западный район залива	
	Ч	Б	Ч	Б	Ч	Б
Cyanophyta	1486,1	156,1	2694,4	5685,5	812,6	2151,2
Chrysophyta	244,4	745,6	2164,6	584,7	279,9	84
Bacillariophyta	3101,6	3963,9	4753	5655,4	1593	3486,9
Dinophyta	1,7	3,9	6,9	124,4	2,8	90,5
Euglenophyta	-	-	57,6	53,7	2,7	6,7
Chlorophyta	7782,8	1364,5	7974,5	568,5	2959,3	96
Cryptophyta	1999,9	95	9279,8	304,1	2000,8	85,3
Prasinophyta	2111,1	57,7	768,6	86,9	1,4	1,7
Eucariota (пико)	2288,9	23,7	11200	135,1	11247,7	189,8
Vсero	19 016,5	6 410,4	38 899,4	13 198,3	18 900,2	6 192,1

Примечание: Ч – численность (тыс. кл/м³), Б – биомасса (мг/м³).

Обычно, в летний период, на акватории залива доминируют (по численности и биомассе) три отдела: зеленые (Chlorophyta), сине-зеленые (Cyanophyta) и диатомовые (Bacillariophyta) водоросли. Численное преимущество того, или иного отдела может меняться в разных районах залива (восточный, центральный, западный), но общая тенденция сохраняется – синезеленые и зеленые водоросли преобладают в восточной части залива, а диатомовые – в центральной и западной. По данным, представленным в таблице 1 – такая закономерность не прослеживается. Более того, не типичным для летнего сезона была высокая численность золотистых (Chrysophyta) и криптофитовых (Cryptophyta) водорослей в центральной части залива.

Анализ видового состава фитопланктона показал, что на акватории залива активно вегетировали виды, которые ранее отмечались только в южной части Азовского моря (в районе Керченского пролива) и их появление связывали с адвекциями черноморских вод.

Помимо типичных элементов флоры Таганрогского залива, были отмечены такие мезогалобные виды динофитовых водорослей, как *Scrippsiella trochoideum* (Stein) Balech и *Dinophysis acuminata* Clap. et Lachm. Но самым необычным было массовое развитие золотистой водоросли *Ebria tripartita* (Schum.) Lemm. При чем, численность *Ebria tripartita* была наиболее высокой в опресненной восточной части залива и уменьшалась по направлению к западному району (табл. 2).

Таблица 2
Количественные показатели развития *Ebria tripartita* в Таганрогском заливе
(30 мая – 4 июня 2018 г.)

	Восточный район залива	Центральный район залива	Западный район залива	Среднее значение
Численность (тыс. кл/м ³)	244,4	78,3	9,5	110,7
Биомасса (мг/м ³)	745,6	448,2	40,3	411,3

Ebria tripartita – считается морским, эвригалинный и эвритермным, гетеротрофным видом, широко распространенным в морях и океанических водах (Атлантический и Тихий океаны). Известен в Балтийском, Каспийском, Азовском, Черном, Средиземном и Адриатическом морях. Есть сведения, что этот вид выдерживает соленость от 3 до 22‰ [5], а по другим данным [6] в Каспийском море вид обитает при солености 10–12‰. *Ebria tripartita* способна как к фотосинтезу, так и гетеротрофному типу питания.

Вид – потенциально токсичный, способный возбуждать «цветение» воды.

Следует особо отметить, что вид с трудом идентифицируется в планктонных пробах (традиционными методами гидробиологии). Обнаружение массового развития *Ebria tripartita* в водах Таганрогского залива стало возможным благодаря изучению постоянных препаратов (в смоле NafraX), изготовленных для идентификации диатомовых водорослей (рис. 5).

Рис. 5 – *Ebria tripartita* (1–4 – в водной среде, камера Ножотта;
5–6 – в постоянном препарате, смола Nafrax)

На данном этапе сложно сделать однозначный вывод о происхождении популяции *Ebria tripartita*, массово развивавшейся в июне 2018 г. на акватории Таганрогского залива. Вид мог быть занесен как с течением из Азовского (Черного?) моря, так и привнесен с балластными водами судов. Как показывают данные о распределении солёности – экологические условия в Таганрогском заливе на момент проведения экспедиции способствовали массовому развитию этого вида. Если тенденция к проникновению солёных вод в восточную часть залива сохранится, не только *Ebria tripartita*, но и другие морские виды (например, потенциально токсичные виды динофитовых водорослей) могут стать возбудителями «цветений воды».

В заключении можно отметить, что повышение солёности вод Таганрогского залива и последующая за ним перестройка флоры микроводорослей (включающая инвазии морских потенциально токсичных видов) – может стать опасным природным явлением. Велика вероятность того, что к ежегодным массовым вспышкам численности синезеленых водорослей, типичным для этого района [7], добавятся еще «красные приливы». Эти природные явления опасны как рыболовства, так и для водообеспечения населенных пунктов, использующих воду из Таганрогского залива. Для предупреждения опасных последствий инвазий «чужеродных видов» необходимо тщательно

отслеживать трансформацию гидролого-гидрохимических и гидробиологических показателей в ходе мониторинговых исследований Таганрогского залива.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке проекта РФФИ № 18-05-80010 «Исследование и прогноз опасных гидрометеорологических

и геолого-геоморфологических процессов в районах функционирования стратегических объектов на Азово-Черноморском побережье (исторические и современные аспекты)» и в рамках реализации ПФИ Президиума РАН 1.52 «Обеспечение устойчивого развития Юга России в условиях климатических, экологических и техногенных вызовов» (ГЗ ЮНЦ РАН, № проекта АААА-А18-118011990324-5).

Список литературы

1. Ковалева Г.В. 2016. История изучения микроводорослей Азовского моря. Обзор. Наука Юга России (Вестник Южного научного центра). 12(3): 51–66.
2. Прошкина-Лавренко А.И. 1963. Диатомовые водоросли планктона Азовского моря. М.; Л., АН СССР: 190 с.
3. Студеникина Е.И., Алдакимова А.Я., Губина Г.С. 1999. Фитопланктон Азовского моря в условиях антропогенных воздействий. Ростов н/Д, изд-во Эверест: 175 с.
4. Ковалёва Г.В. 2002. Влияние биологических инвазий на таксономическое разнообразие микроводорослей Азовского моря. В кн.: Основные проблемы рыбного хозяйства и охраны рыбохозяйственных водоемов Азово-Черноморского бассейна: Труды АзНИИРХ (за 2001–2002 гг.). М.: 158–164.
5. Рябушко Л.И. 2003. Потенциально опасные микроводоросли Чёрного и Азовского морей. ИнБЮМ НАНУ. Севастополь, изд-во ЭКОСИ-Гидрофизика: 288 с.
6. Прошкина-Лавренко А.И., Макарова И.В. 1968. Водоросли планктона Каспийского моря. Л. Наука. 295 с.
7. Матишов Г.Г., Ковалева Г.В., Ясакова О.Н. 2016. Аномальное осолонение в Таганрогском эстуарии и дельте Дона. Наука Юга России (Вестник Южного научного центра). 12(1): 43–50.

THE INFLUENCE OF BIOLOGICAL INVASIONS ON THE PHYTOPLANKTON OF THE TAGANROG BAY (UNDER THE CONDITIONS OF SALINITY INCREASE)

G.V. Kovaleva, K.S. Grigorenko

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

kovaleva@ssc-ras.ru, grigorenko@ssc-ras.ru

Abstract. The paper considers the results of studies on the phytoplankton of the Taganrog Bay under the current conditions of salinity increase. The data on the abundance, biomass, and species composition of phytoplankton, the distribution of salinity in the surface layer of the Sea of Azov during the expedition of *RV The Deneb* of 29 May – 4 June 2018 are given. After the period of salinity normalization, the salinity increase trend has been observed in the Sea of Azov and Taganrog Bay over the past 10 years, associated with low water content and freshwater flow decrease from the Don River. The transformation of hydrological-hydrochemical parameters significantly affects the composition of phytoplankton community, which reacts quickly to environmental changes. The penetration of polyhalobic dinoflagellata (dinophyta) and diatom algae into the Sea of Azov is most often associated with the advection of the Black Sea waters and is considered as an allochthonous component of the phytoplankton community. The geographical range of penetration of these species a few years ago was limited only to the open part of the Sea of Azov; nowadays, however, biological invasions of polyhalobic species have been registered in the central and even eastern parts of the Taganrog Bay. An analysis of the species composition of phytoplankton indicated that species, previously observed only in the southern part of the Sea of Azov, actively vegetate in the Taganrog Bay water area. In addition to the typical elements of the Taganrog Bay flora, such mesohalobic species of dinophyta algae as *Scrippsiella trochoideum* (Stein) Balech and *Dinophysis acuminata* Clap. et Lachm were also registered. The mass development of the golden algae *Ebria tripartita* (Schum.) Lemm is described and the data on this species abundance and biomass are given. The ways to prevent dangerous consequences of invasion of the alien species into the Taganrog Bay are discussed.

Keywords: phytoplankton, biological invasions, salinity, Taganrog Bay, *Ebria tripartita*, «blooming water»

References

1. Kovaleva G.V. 2016. [History of the study of microalgae of the Azov Sea. Review]. Nauka Yuga Rossii (Vestnik Yuzhnogo Nauchnogo tsentra). 12(3): 51–66. (In Russian).
2. Proshkina-Lavrenko A.I. 1963. Diatomovye vodorosli planktona Azovskogo morja. [Diatoms of plankton of the Sea of Azov]. Moscow- Leningrad, Academy of Sciences of the USSR Publishers: 190 p. (In Russian).
3. Studenikina E.I. Aldakimova A.Y, Gubina G.S. 1999. Fitoplankton Azovskogo morja v uslovijah antropogennykh vozdeystvij. [Phytoplankton of the Azov Sea in the conditions of anthropogenic influences]. Rostov-on-Don, Everest Publishers: 175 p. (In Russian).
4. Kovalev G.V. 2002. Vliyaniye biologicheskikh invaziy na taksonomicheskoye raznoobraziye mikrovodorosley Azovskogo morya. [Influence of biological invasions on the taxonomic diversity of microalgae of the Azov Sea]. In: Osnovnyye problemy rybnogo khozyaystva i okhrany rybokhozyaystvennykh vodoyemov Azovo-Chernomorskogo basseyna [The main problems of fisheries and the protection of rybokhozyaystvennykh waters of the Azov-Black Sea basin]. Tr.AzNIIRH (for 2001–2002.). M.: 158–164. (In Russian).
5. Ryabushko L.I. 2003. Potencial'no opasnye mikrovodorosli Chjornogo i Azovskogo morej. [Potentially harmful microalgae of the Azov and Black sea basin]. Sevastopol, EKOCI-Gidrofizika Publishers: 288 p. (In Russian).
6. Proshkina-Lavrenko A.I., Makarova I.V. 1968. Vodorosli planktona Kaspijskogo morya [Plankton Algae of the Caspian Sea]. Leningrad. Nauka. 295 p. (In Russian).
7. Matishov G.G., Kovaleva G.V., Yasakova O.N. 2016. [Abnormal salinity in estuaries of Taganrog Bay and Don delta]. Nauka Yuga Rossii (Vestnik Yuzhnogo Nauchnogo tsentra). 12 (1): 43–50. (In Russian).