

ГЛАВА 6. «ЦВЕТЕНИЕ» ВОДЫ В АЗОВСКОМ МОРЕ

УДК 574.5:574.52:574.633:574.636(636.086.783+262.54) DOI 10.23885/1993-6621-2020-8-122-148

6.1. ПРОБЛЕМА «ЦВЕТЕНИЯ» ВОДЫ В АЗОВСКОМ МОРЕ

Г.В. Ковалёва

Аннотация. В работе рассмотрены отдельные аспекты изучения «цветения» воды в Азовском море. Описаны основные вопросы, связанные с возможным негативным воздействием на здоровье людей, животных и окружающую среду, экономику (включая туризм, аквакультуру и рыболовство). В статье приведен обзор разных направлений изучения «цветений» микроводорослей в Азовском море, связанных как с развитием автохтонных пресноводных видов (цианопрокариот), так и с проникновением аллохтонных (чужеродных по происхождению) видов. Отдельно рассмотрены случаи «цветения» микроводорослей на льду Таганрогского залива, а также массового развития морских диатомовых в лиманах восточного побережья Азовского моря. Анализируется влияние аллохтонных видов (вселенцев) на видовое разнообразие микроводорослей Азовского моря. В заключении приведены предложения по снижению интенсивности «цветений» воды и предотвращению негативных последствий этого явления.

Ключевые слова: «цветение» воды, «красные приливы», микроводоросли, Таганрогский залив, Азовское море

Азовское море – один из самых мелководных морских бассейнов Мирового океана. Из-за его мелководности и высокой продуктивности в этом водоеме ежегодно фиксируются «цветения» воды [Матишов и др., 2016].

«Цветение» воды – природное явление, являющееся следствием массового размножения планктонных микроскопических водорослей, пигменты которых окрашивают воду в тот или иной цвет. «Цветение» водорослей может быть почти незаметно невооруженным глазом, но чаще всего изменяет цвет воды на коричневый, зеленый, и даже желтый, оранжевый или красный (рис. 1). Часто «цветение» напоминает завихрения краски, плавающей на поверхности воды, но также может выглядеть как пена, тина или пленка. «Цветения» микроводорослей наблюдаются в пресных, морских и солоноватых водоемах, поскольку может быть спровоцировано развитием разных видов из различных таксономических групп.

Даже если «цветение» воды вызывают не токсичные виды, массовая численность клеток фитопланктона в водной толще (когда плотность популяции может достигать 300–500 млн кл/м³, а биомасса достигать нескольких сотен грамм на кубометр) представляет опасность для нормального функционирования экосистемы. С одной стороны, микроводоросли являются первичным звеном пищевой цепи для гидробионтов и в процессе фотосинтеза производят

кислород, но с другой – при отмирании большого числа клеток, на утилизацию такой большой биомассы расходуется больше кислорода, чем продуцируется. Кроме того, массовое скопление клеток обычно отмечается в поверхностном горизонте (особенно в случае с «цветением» цианопрокариот), что приводит к затенению нижних слоев воды и, соответственно, угнетению развития других фотосинтезирующих водорослей. Всё это в результате приводит к катастрофической нехватке кислорода в водной толще (гипоксии) и провоцирует новое опасное явление – «замор», в результате которого гибнут все неуспевшие покинуть опасную зону гидробионты, включая рыб.



Рис. 1. Примеры окрашивания воды в разные цвета во время «цветения»
(фото с сайта: <https://ekabu.ru/54506-cvetenie-vody.html>)

Несмотря на то что «цветения» воды, связанные с массовым развитием микроводорослей, являются регулярными природными явлениями, основные усилия по его изучению предпринимаются лишь на протяжении последних 50 лет, когда это приобрело характер эпидемии.

В мировой литературе наибольшее внимание уделяется «красным приливам», которые вызваны «цветением» динофитовых и диатомовых водорослей [Getchis, Shumway, 2017]. Большой резонанс этого явления связан с потенциальным ущербом для марикультуры и рыболовства, в особенности учитывая, что «красные приливы» часто спровоцированы развитием видов, продуцирующих токсины.

Токсичные виды водорослей морского и солоноватоводного планктона наносят ущерб не только объектам марикультуры и рыбного хозяйства, заметно ухудшают рекреационные параметры морских побережий, но и могут нанести вред здоровью людей [Вершинин, Орлова, 2008]. Микроводоросли, включая токсичные виды, являются начальным звеном пищевой цепи в водоемах. Водные беспозвоночные, в основном моллюски-фильтраторы (мидии, устрицы, гребешки и др.), а также крабы, креветки и рыбы, могут аккумулировать токсины микроводорослей до концентраций, летальных для человека. В настоящее время известно около 300 видов микроводорослей, вызывающих «цветение» воды, более 50 видов из которых способны продуцировать токсины [Вершинин, Орлова, 2008].

В последнее время всё больше внимания уделяется изучению «цветений» воды в пресноводных водоемах, где чаще всего отмечают массовое развитие цианопрокариот (иначе называемых цианобактерии, или синезеленые водоросли). В странах с развитой марикультурой, особенно в тех районах, где морепродукты являются частью национальной культуры питания (Юго-Восточная Азия, Северная и Южная Америки, Западная и Южная Европа, Австралия, Новая Зеландия) изучением «цветения» воды занимаются очень серьезно. В этих странах существует нормативно-правовая база по контролю этих явлений, налажен регулярный мониторинг массового развития вредоносных микроводорослей и разработаны системы по предупреждению возможных негативных последствий. Однако в Российской Федерации единственным нормативным актом является пункт 6.10–6.11 СанПиН 2.3.4.050-96 (раздел «Производство и реализация рыбной продукции»), вводящий ПДК по сакситоцину и требующий полного отсутствия диарейных ядов в тканях моллюсков [Вершинин, Орлова, 2008]. Разумеется, этого совершенно недостаточно. Помимо этого, в России полностью отсутствует медицинская статистика об отравлениях фитотоксинами, а здравоохранительные органы слабо осведомлены о синдромах отравления токсинами микроводорослей [Вершинин, Орлова, 2008].

В настоящее время в Российской Федерации «цветению» воды, и особенно распространению токсичных видов микроводорослей, уделяют достаточное внимание только на Дальнем Востоке [Коновалова, 1989; 1992; Селина, 1993; Орлова, Стоник, 2001; Вершинин, Орлова, 2008 и др.].

Игнорирование проблемы «цветения» воды может привести к крайне негативным последствиям и в вопросах водоснабжения. Так, массовое развитие цианопрокариот в Цимлянском водохранилище в октябре 2009 г., совпавшее с устойчивой ветровой активностью, привело к остановке насосов и прекращению водоснабжения г. Волгодонска [Матишов, Ковалёва, 2010]. А во второй половине 2015 г. многие жители г. Таганрога, г. Азова, с. Кагальник, с. Порт-Катон и других населенных пунктов, расположенных на берегу Таганрогского залива, отметили, что с акватории залива периодически доносился запах, напоминающий запах дуста. Мясо рыбы, выловленной в этот период, также име-

ло резкий запах дуста, избавиться от которого не удавалось даже при термической обработке. Исследования показали [Матишов и др., 2016], что это явление тоже было связано с интенсивным развитием и отмиранием цианопрокариот на побережье Таганрогского залива. После того как сотрудники Южного научного центра РАН опубликовали на эту тему серию статей и материалов в СМИ, АО «Ростовводоканал» сообщил о подготовке к реализации проекта по дополнительной очистке питьевой воды (с помощью активированного угля). Этот проект должен полностью избавить горожан от «дурнопахнущей воды» в период «цветения» цианопрокариот [Деркачев, 2018].

С целью модернизации очистных сооружений водопровода «Ростовводоканалом» в 2018 г. был выполнен проект «Системы удаления антропогенных загрязнений из воды реки Дон», который включал блок подготовки и дозирования порошкового активированного угля, пульпопроводы, водопровод и трубопроводы производственной канализации. В октябре 2018 г. от разработчика и поставщика основного технологического оборудования ООО ТД «ЛИТ» поступило предложение по совершенствованию принятых проектных решений, направленное на ускорение сроков строительства при сохранении основных проектных технических показателей. Объект было предложено выполнить в блочно-модульном исполнении в специальных контейнерах. В 2019 г. были намечены закупка оборудования, а также строительно-монтажные работы. В настоящее время завершается корректировка рабочей документации [Ростовводоканал, 29.11.2018].

Учитывая, что «цветение» микроводорослей может оказывать негативное воздействие на здоровье людей, животных и окружающую среду, экономику (включая туризм, аквакультуру и рыболовство), это явление представляет собой постоянную угрозу для устойчивого развития прибрежных регионов и требует пристального изучения.

Отдельный аспект изучения «цветений» воды связан с проникновением чужеродных видов, заносимых в Азовское море с балластными водами судов [Ковалёва, 2002; 2016]. Поскольку во многих портах РФ контроль за сменой балластных вод проводится недостаточно тщательно, при сбросе этих вод в портах перед загрузкой на акваторию попадают чужеродные виды, способные не только адаптироваться, но и составить конкуренцию автохтонным видам. Проследить «вселение» планктонных водорослей довольно сложно, и это связано как с мелкими размерами клеток и значительной мозаичностью в распределении фитопланктона, так и с высокой скоростью размножения и смены доминирующих видов. В случае если в период массового развития вида-вселенца в бассейне не проходила гидробиологическая экспедиция, его вегетация может остаться незамеченной исследователями. Осложняет дело и тот факт, что исследования микроводорослей в различных районах морей проходят очень неравномерно, поэтому сопоставление опубликованных ранее таксономических списков не позволяет с определенной уверенностью гово-

речь о конкретных случаях «вселения» того или иного вида микроводорослей. Довольно часто «находки» некоторых видов-вселенцев в бассейне происходят повторно [Ковалёва, 2002; 2016].

Изучение «цветений» микроводорослей в Азовском море имеет несколько направлений, требующих отдельного исследования. Не касаясь методов дистанционного мониторинга, вопросов определения токсинов микроводорослей и медицинских аспектов последствий их воздействия на организм человека, в данной работе мы обобщили лишь отдельные гидробиологические аспекты изучения этого явления в Азовском море.

Азовское море представляет собой мелководный водоем с относительно большим притоком пресных вод и отдаленной связью с Мировым океаном. По физико-географическим и гидрологическим признакам его разделяют на два района: собственно море (считающееся, по мнению некоторых исследователей, придаточным водоемом Чёрного моря) и Таганрогский залив, являющийся эстуарием реки Дон. Две крупные реки, впадающие в Азовское море – Дон и Кубань, – приносят большое количество биогенных веществ, что приводит к существенной эвтрофикации бассейна. Небольшие глубины Азовского моря и, как следствие, хорошая прогреваемость вод, наряду с высокой биологической продуктивностью, приводят к ежегодным «цветениям» воды как в заливе, так и в море [Студеникина и др., 1999; Матишов, Фуштей, 2003; Матишов и др., 2016; Алескерова и др., 2018].

Учитывая описанные выше физико-географические и гидрологические особенности, можно сделать вывод, что флора микроводорослей Азовского моря формируется как из солоноватоводно-морских, так и пресноводных видов. Значительную роль играет и водообмен с Чёрным морем, откуда регулярно поступают типично морские виды. Многие виды микроводорослей (морские и пресноводные) имеют широкий диапазон толерантности по отношению к солености вод. Роль эвригалинных видов микроводорослей во флоре Азовского моря очень велика [Студеникина и др., 1999; Ковалёва, 2008].

Таким образом, при изучении предпосылок возникновения «цветения» воды, и особенно видов, которые формируют вспышки численности, следует обозначить два направления:

1) **массовое развитие автохтонных видов** (типичных для флоры, местных видов);

2) **вспышки численности аллохтонных видов** (чужеродных, видов-вселенцев, проникнувших в новый ареал с другой территории).

К первой группе можно отнести ежегодное «цветение» цианопрокариот в Таганрогском заливе, а ко второй – спорадически возникающие вспышки численности морских динофитовых и диатомовых водорослей, чье появление в акватории Азовского моря связано с проникновением черноморских вод или заносом с балластными водами судов.

6.1.1. «Цветение» воды, спровоцированное автохтонными видами цианопрокариот в Таганрогском заливе

За более чем 50-летний период изучения фитопланктона Азовского моря было выявлено около 103 видовых и внутривидовых таксонов цианопрокариот [Студеникина и др., 1999; Ковалёва, 2008]. Эта группа водорослей имеет большое значение в формировании биомассы фитопланктона, особенно в Таганрогском заливе. В летние месяцы, в период пика развития цианопрокариот, на их долю приходится до 90 % всей биомассы фитопланктона. При этом биомасса фитопланктона варьирует от 3–10 до 70–80 г/м³. Самое обильное «цветение» воды после зарегулирования Дона отмечалось в 60-е годы XX в., когда биомасса цианопрокариот в Таганрогском заливе достигала 900 г/м³ [Студеникина и др., 1999], а их ареал выходил за пределы залива, охватывая северо-восточный район собственно моря.

Массовое развитие цианопрокариот в Таганрогском заливе начинается обычно в июле при температуре воды 24–29 °С и достигает максимума в августе – сентябре при установившейся теплой и безветренной погоде, а завершение вегетации часто растягивается с октября по ноябрь (в зависимости от температуры воды).

В планктоне Азовского моря наиболее часто встречаются следующие виды цианопрокариот: *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs, *Microcystis aeruginosa* Kütz. emend Elenk., *Anabaena flos-aquae* Elenk., *Lyngbya limnetica* Lemm. К периодическим доминантам следует отнести *Microcystis pulverea* (Wood.) Fortii emend Elenk., *Anabaena spiroides* Kleb. Водоросли родов *Merismopedia*, *Gloecapsa*, *Gomphosphaeria*, *Coelosphaerium* не достигают обильной вегетации, однако незначительное количество клеток постоянно присутствует в планктоне залива. А такие виды, как *Anabaena reniformis* Lemm. emend Aptek., *A. affinis* Lemm., *Synechocystis salina* Wisl., периодически появляются в Таганрогском заливе, достигая значительной биомассы [Студеникина и др., 1999]. В последние десятилетия (с 1997 г.) в планктоне Таганрогского залива и восточных районах Азовского моря часто отмечается еще несколько видов цианопрокариот: *Planktothrix agardhii* (Gom.) Anagn. et Kom. (устаревший синоним: *Oscillatoria agardhii* Gom.) и *Nodularia spumigena* Mertens [Ковалёва, 2008]. Появление этих видов в кутовой части Таганрогского залива может быть связано с периодическим повышением солености в придельтовом районе.

Среди цианопрокариот, регулярно развивающихся на акватории Таганрогского залива, выделяют пять видов, у которых доказано наличие токсинов (*Anabaena flos-aquae* (Lyngb.) Breb., *Anabaena knipowitschii* Usachev, *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs, *Microcystis aeruginosa* (Kütz.) Kütz. emend. Elenk., *Nodularia spumigena* Mertens) и вероятность их присутствия у еще одного вида – *Microcystis pulverea* [Ковалёва, 2008; Матишов и др., 2016].

Величина солености – важный лимитирующий фактор для развития микроводорослей в эстуарных водоемах. Большая часть цианопрокариот – пре-

сноводные организмы, однако эвригалинность некоторых из них позволяет им интенсивно вегетировать далеко за пределами опресненной зоны. Массовое развитие цианопрокариот в Азовском море ограничено изогалиной 10,5 ‰ [Ковалёва, 2008]. Экологическая граница расселения пресноводного вида *Aphanizomenon flos-aquae* расположена в диапазоне солености от 1,5 до 12 ‰, но рост его биомассы и максимальная численность отмечены в диапазоне солености 1,5–6,5 ‰ [Студеникина и др., 1999]. К аналогичным условиям среды тяготеет и *Planktothrix agardhii* (Gom.) Anagn. et Kom. При солености 2–9 ‰ интенсивно развивается *Microcystis pulverea*, а *M. aeruginosa* выдерживает тот же солевой диапазон, но его максимальная биомасса ограничена изогалинами 3–7 ‰ [Студеникина и др., 1999].

В августе 2006 г. на акватории Таганрогского залива проводилось изучение распределения нескольких видов потенциально токсичных прокариот (*Aphanizomenon flos-aquae*, *Microcystis aeruginosa*, *Anabaena flos-aquae*, *Microcystis pulverea*) [Ковалёва, 2008].

Как показали исследования [Ковалёва, 2008], пики численности и биомассы цианопрокариот зачастую не совпадают (рис. 2), поскольку даже при небольшой численности крупные размеры нитей (которые достигают сотен микрон) или колоний могут давать значительную биомассу. В связи с этим при обсуждении проблемы «цветения» воды необходимо обращать внимание именно на высокие значения биомассы, а не численности клеток.

В ходе исследования получены интересные результаты пространственного распределения этих видов в акватории Таганрогского залива (рис. 2). Общий ареал развития этих видов в целом совпадал, но максимальные значения биомассы они формировали в разных районах залива. Так, максимальная биомасса *Anabaena flos-aquae* отмечена в кутовой части залива (восточная, самая опресненная) (рис. 2а), а наибольшая биомасса *Microcystis pulverea*, зарегистрирована на севере центральной части залива (рис. 2б), *Microcystis aeruginosa* – в центральной части (рис. 2в), биомасса *Aphanizomenon flos-aquae* увеличивалась по направлению от западной к восточной части залива (рис. 2а).

Такое пространственное распределение видов связано в первую очередь с гидрохимическими параметрами среды (соленость), но поскольку экологический диапазон солености у исследованных видов сходен, вероятно, что антагонистические отношения между этими видами могут регулироваться с помощью выделяемых ими токсинов.

Как показало сравнение результатов исследования фитопланктона открытой части и прибрежных участков Таганрогского залива, при общем сходстве видового состава цианопрокариот их биомасса и численность в мелководной части на порядки превышает таковые в открытой акватории залива. Это связано в первую очередь с тем, что многие цианопрокариоты имеют газовые вакуоли, позволяющие микроводорослям находиться на поверхности воды. Благодаря этой особенности в период сгонно-нагонных явлений можно наблюдать огром-

ные скопления цианопрокариот в прибрежной зоне. В местах таких скоплений происходит суммирование эффекта гипоксии (в результате «цветения») и негативного воздействия фитотоксинов [Вершинин, Орлова, 2008].

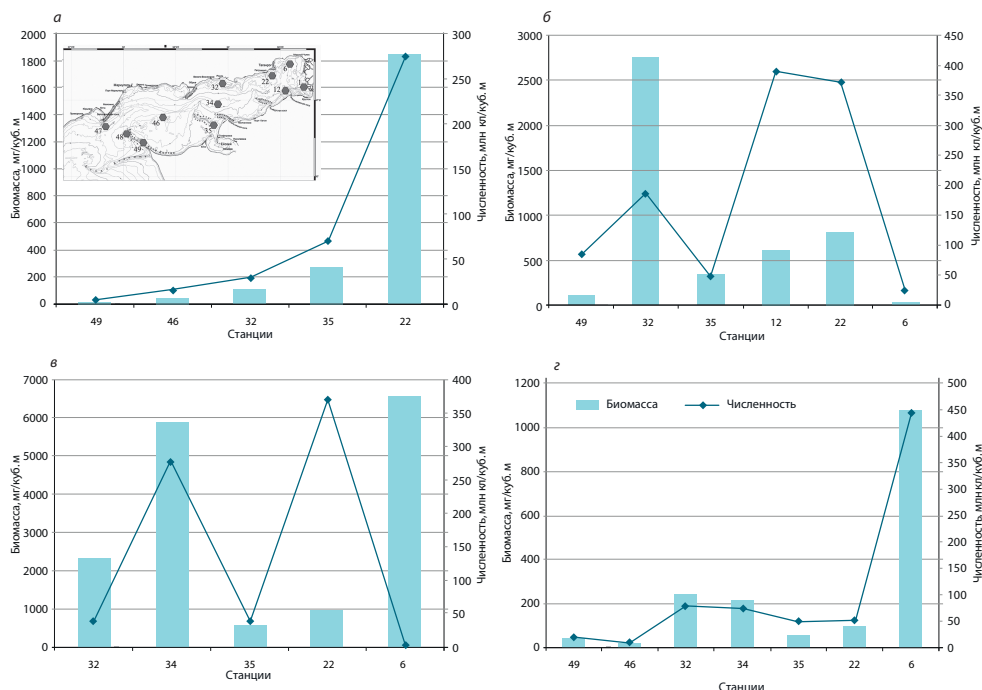


Рис. 2. Численность и биомасса *Aphanizomenon flos-aquae* (а), *Microcystis pulvereа* (б), *Microcystis aeruginosa* (в), *Anabaena flos-aquae* (г) в Таганрогском заливе. На врезке показана схема расположения станций [Ковалёва, 2008]

Учитывая, что границей распространения цианопрокариот является изогалина 10,5 ‰, вся акватория Таганрогского залива может быть потенциально опасной с точки зрения возможности возникновения «цветения» воды, спровоцированного массовым развитием токсичных видов цианопрокариот.

К сожалению, при решении проблемы «цветения» воды, действия местной власти обычно направлены на обсуждение методов «кардинальной борьбы» с самим этим явлением, а не на выяснение причин его возникновения и предотвращение негативных последствий. Несмотря на то что мировой опыт показал отсутствие положительного результата от различных мер «борьбы» [Матишов, Ковалёва, 2010], до сих пор в научной и популярной литературе встречаются предложения по искусственному зарыблению водоемов растительноядными рыбами (например толстолобиком), которые якобы должны «выедать» нежелательные для людей виды водорослей. Хотя данных о том, что эти рыбы будут питаться исключительно цианопрокариотами (пищевая цен-

ность которых невелика, а, учитывая их потенциальную токсичность, может быть и опасна), игнорируя прочие источники питания, – нет. Как нет и уверенности, что эту рыбу не выловят раньше, чем она успеет что-то «выесть».

Еще более сомнительным представляется метод заселения в водоемы других видов «полезных» микроводорослей (так называемый метод «альголизации»), основанный на внесении в водоемы больших объемов культуры зеленой водоросли *Chlorella*), которые якобы будут конкурировать за питание и таким образом вытеснять цианопрокариот. Но и здесь нет серьезно обоснованных научных данных, что в масштабах крупного природного водоема всё пойдет так же, как в лаборатории. Более того, есть опасность, что последствия таких экспериментов могут быть непредсказуемыми и еще больше усугубят ситуацию. Благодаря физиологическим особенностям цианопрокариот (наличию газовых вакуолей, способности выдерживать высокий уровень инсоляции и пр.) они обитают в поверхностном слое воды, быстро размножаются, затеняют и таким образом угнетают вегетацию других групп планктонных водорослей. Учитывая эти особенности цианопрокариот метод «альголизации» тоже представляется сомнительным. Помимо этого, цианопрокариоты способны выделять токсины и, как показали наши исследования пространственного распределения нескольких видов цианопрокариот в Таганрогском заливе, они успешно конкурируют даже между собой. Логично предположить, что выделение токсинов у этих водорослей возникло в процессе эволюции именно для того, чтобы получить преимущество в конкурентной борьбе с другими видами фитопланктона.

6.1.2. «Цветение» воды в Таганрогском заливе, спровоцированное аллохтонными видами (вселенцами)

Проникновение в Азовское море поли- и мезогалобных планктонных водорослей чаще всего связано с адвекциями черноморских вод и их рассматривают как аллохтонный компонент фитопланктонного сообщества, хотя некоторые эвригалинные виды становятся долговременным компонентом альгоценоза (как минимум, 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 частях Таганрогского залива.

Так в ходе экспедиции НИС «Денеб» (29 мая – 4 июня 2018 г.) были получены данные о развитии в акватории Таганрогского залива поли- и мезогалобных видов динофитовых водорослей (*Scrippsiella trochoideum* (Stein) Balech и *Dinophysis acuminata* Clap. et Lachm), а также массовое развитие золотистой водоросли *Ebria tripartita* (Schum.) Lemm [Ковалёва, Григоренко, 2018].

После периода нормализации, на протяжении последних 10 лет вновь отмечается повышение солености в Азовском море и Таганрогском заливе, связанное с маловодностью и снижением пресноводного стока из реки Дон [Бердников и др., 2019]. Трансформация гидролого-гидрохимических параметров существенно влияет на состав фитопланктонного сообщества, которое быстро реагирует на изменение окружающей среды. Для распределения солености на поверхности в период экспедиции (29 мая – 4 июня 2018 г.), представленного на рисунке 3, характерно наличие более интенсивного, по сравнению с предыдущими годами, фронтогенеза в Таганрогском заливе. Первый фронт имеет протяженность около 30 км и начинается от траверса г. Таганрога. На этом участке акватории залива соленость возрастала с 1 до 6 PSU. Второй фронт, расположенный на слиянии Таганрогского залива и собственно Азовского моря, был более резким: на протяжении 5–7 км соленость возрастала с 9 до 14 PSU. Водная масса собственно моря заполнена водами с величинами солености, превышающими 14 PSU, кроме юго-западной части, Темрюкского залива и траверса Приморско-Ахтарска [Бердников и др., 2019].

Фитопланктон Таганрогского залива в период проведения экспедиции был представлен 55 таксонами (рангом ниже рода). Показатели численности и биомассы фитопланктона были традиционно высокими для летнего сезона. Биомасса составляла в среднем $8,6 \text{ г/м}^3$, а численность $25,6 \text{ млн кл/м}^3$.

Обычно в летний период в Таганрогском заливе доминируют (по численности и биомассе) три отдела: зеленые (Chlorophyta), цианопрокариоты (Cyanoprocariota) и диатомовые (Bacillariophyta) водоросли. Численное преимущество того или иного отдела может меняться в разных районах залива (восточный, центральный, западный), но общая тенденция сохраняется – цианопрокариоты и зеленые водоросли преобладают в восточной части залива, а диатомовые – в центральной и западной. По результатам исследования фитопланктона в Таганрогском заливе в мае – июне 2018 г. такая закономерность не прослеживалась. 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. Причем численность *Ebria tripartita* была наиболее высокой в опресненной восточной части залива и уменьшалась по направлению к западному району (табл. 1).

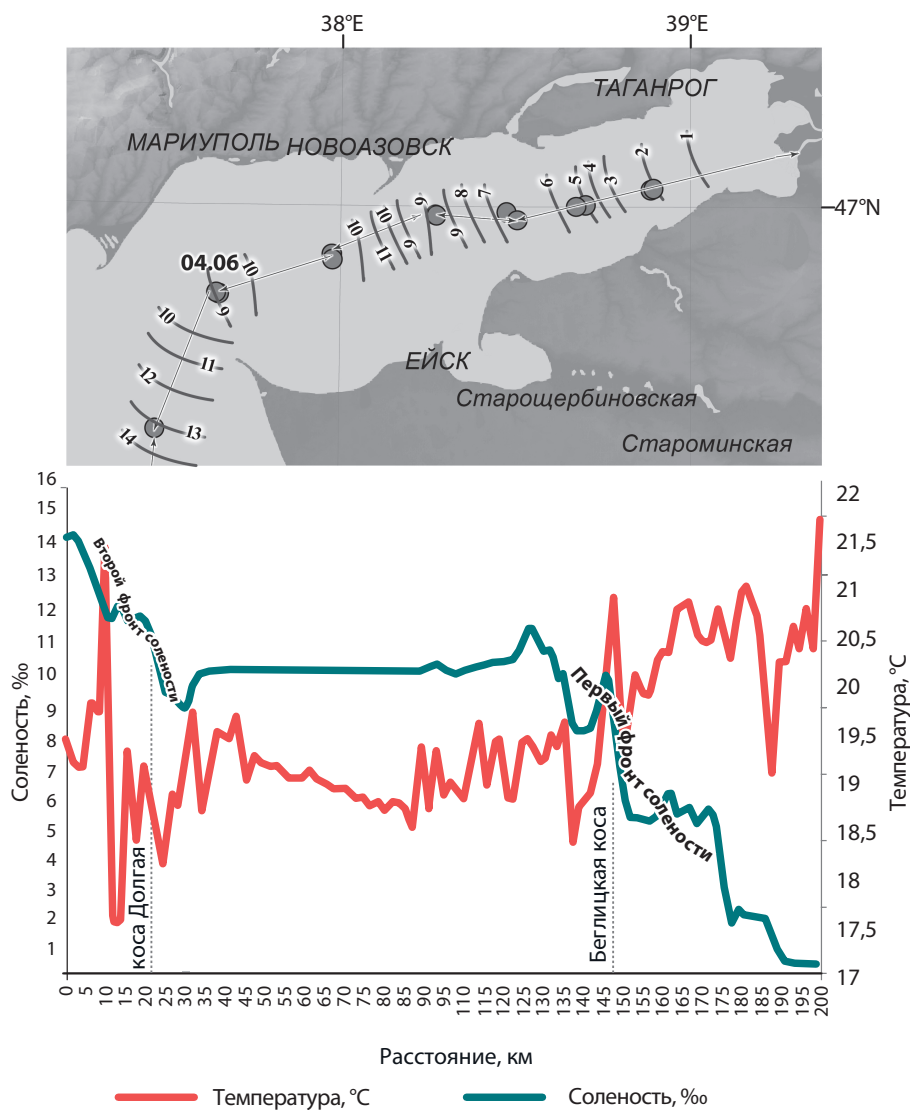


Рис. 3. Распределение солености поверхности Азовского моря во время экспедиции НИС «Денеб» 29 мая – 4 июня 2018 г. [Бердников и др., 2019]

Таблица 1. Количественные показатели развития *Ebria tripartita* (Schum.) Lemm. 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 (рис. 4) – считается морским, эвригалинным и эвритермным, гетеротрофным видом, широко распространенным в морях и водах Атлантического и Тихого океанов. Известен в Балтийском, Каспийском, Азовском, Черном, Средиземном и Адриатическом морях.

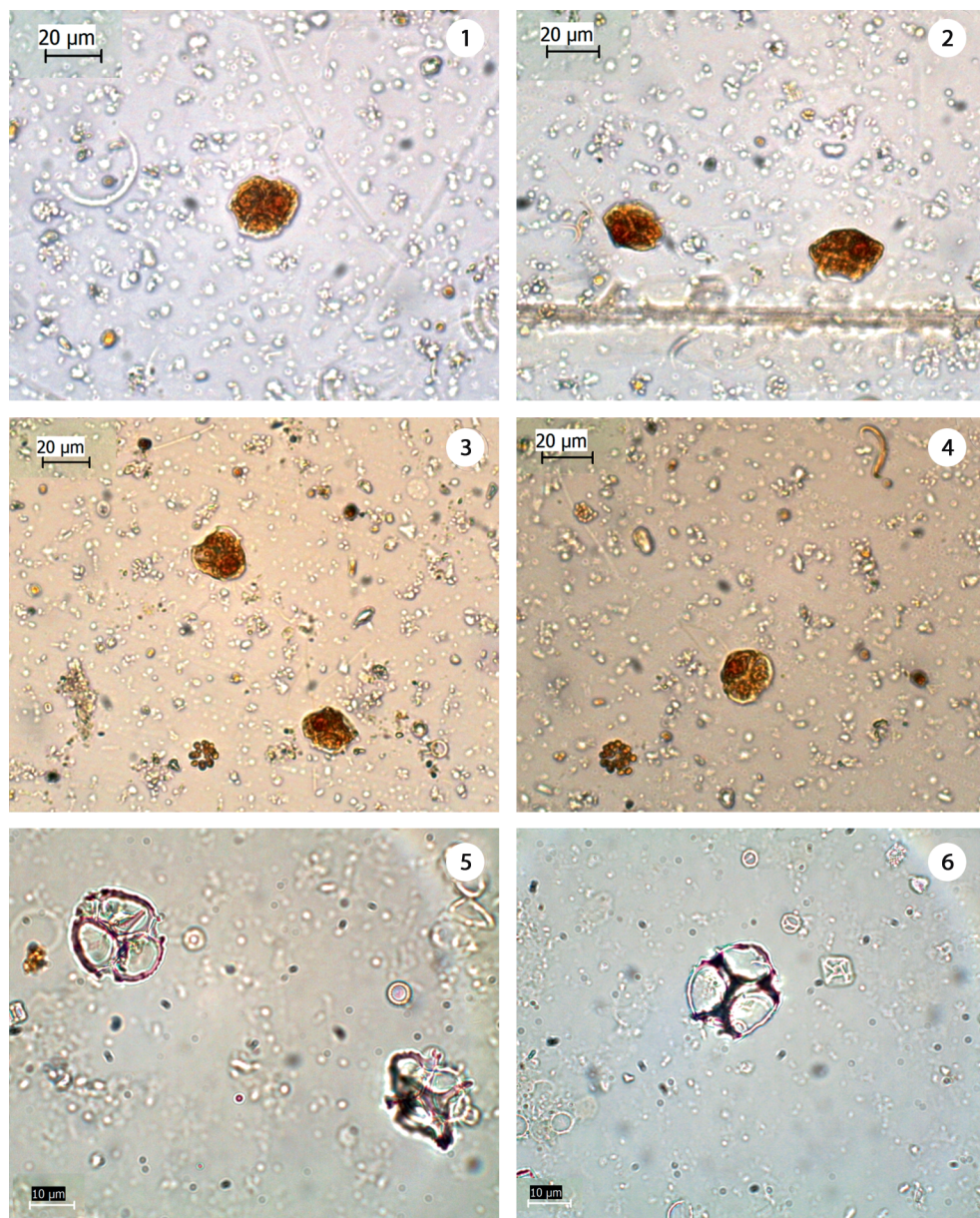


Рис. 4. *Ebria tripartita* (1–4 – в водной среде, камера Ножотта;
5–6 – в постоянном препарате, смола Naphrax)

Есть сведения [Ковалёва, Григоренко, 2018], что этот вид выдерживает соленость 3–22 ‰, а, по другим данным, в Каспийском море вид обитает при солености 10–12 ‰. *Ebria tripartita* способна как к фотосинтезу, так и гетеротрофному типу питания. Вид потенциально токсичный, способный провоцировать «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 Naphrax), изготовленных для идентификации диатомовых водорослей (рис. 4).

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 (Чёрного?) моря, так и с балластными водами судов. Как показывают данные о распределении солености, экологические условия в Таганрогском заливе на момент проведения экспедиции способствовали массовому развитию этого вида. Если тенденция к проникновению соленых вод в восточную часть залива сохранится, то 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 цианопрокариот, типичным для этого района, добавятся еще «красные приливы». Для предупреждения опасных последствий инвазий чужеродных видов необходимо тщательно отслеживать трансформацию гидролого-гидрохимических и гидробиологических показателей в ходе мониторинговых исследований Таганрогского залива.

6.1.3. «Цветение» льда в Таганрогском заливе

Традиционно под «цветением» подразумевают окрашивание воды в тот или иной цвет, но довольно часто в зимний период массовое развитие микроводорослей приводит к окрашиванию льда, что тоже называют «цветением». Сразу следует подчеркнуть, что использование термина «криофлора» для описания сообщества микроводорослей, развивающихся на льду в Азовском море, нам представляется некорректным, поскольку он подразумевает специфический состав холодолюбивых видов микроводорослей, приуроченных к ледовым субстратам. На наш взгляд, для альгоценоза, периодически развивающегося на льду Азовского моря, предпочтительнее использовать термин «временное ледовое сообщество микроводорослей».

Традиционное представление о подледном периоде в сукцессионном цикле фитопланктонного сообщества Азовского моря предполагало его крайне низкую биомассу и продукцию, что не согласуется с имеющимися у нас данными. Несмотря на изученность Азовского моря в гидробиологическом аспекте, сведения о сезонном развитии микроводорослей на его акватории охватывают

преимущественно период открытой воды. Данные о вегетации микроводорослей в зимний период разрозненны и немногочисленны [Ковалёва и др., 2014].

Долгое время считалось [Студеникина и др., 1999], что в зимний период подо льдом фитопланктон в Азовском море практически не развивается. Позднее, в результате ледокольных рейсов были получены новые данные о численности и биомассе фитопланктона, развивавшегося подо льдом [Ковалёва, 2008; Матишов и др., 2007; 2012], которые противоречат мнению о низкой биомассе и бедном качественном составе фитопланктона в период «биологической зимы». Так, в условиях суровой зимы 2006 г. биомасса фитопланктона подо льдом изменялась от 0,013 до 1,06 г/м³ в Таганрогском заливе и от 0,62 до 1,47 г/м³ в открытой части Азовского моря, а максимальная – достигала 1,4 г/м³ в заливе и 2,42 г/м³ в море [Ковалёва, 2008]. Исследования распределения хлорофилла *a* по данным дистанционного зондирования и подспутниковых наблюдений подтвердили высокую численность микроводорослей в Азовском море в зимний период [Сапрыгин, 2011]. Это может быть обусловлено тем, что в условиях частых оттепелей на льду формируется тонкий снежный покров и свет попадает в водную толщу в количестве, достаточном для активации фотосинтетических процессов у планктонных микроводорослей. Наряду с высокой скоростью регенерации биогенных элементов и отсутствием ветро-волнового перемешивания, это создает благоприятные условия для вегетации водорослей.

Проводя мониторинговые исследования 29–31 января 2013 г. на трех станциях, расположенных в кутовой части Таганрогского залива (с. Займо-Обрыв, ст. 1), на косе Павло-Очаковская (ст. 2) и в дельте р. Дон (Свиное гирло, ст. 3) (рис. 5) было отмечено «цветение» льда [Ковалёва и др., 2014].

При отборе проб льда мотобуром и ручной пилой вырезался образец размером ~ 50 × 50 см, из которого на воздухе тотально (без разделения на горизонты) отбирались гидробиологические и гидрохимические пробы. Количественные пробы фитопланктона отбирали из поверхностного слоя воды во флаконы объемом 0,7 л. Образцы льда (качественные пробы) растапливали при комнатной температуре [Ковалёва и др., 2014].

Анализ структуры фитопланктонного сообщества подледной пелагиали показал существенные отличия в количественных и качественных показателях развития микроводорослей (табл. 2). Различия заметны не только в значениях численности и биомассы фитопланктона, но и на уровне доминирующих таксонов.

На станции 2 в планктоне доминировали динофитовые водоросли: *Glenodinium* sp., *Katodinium rotundatum* (Lochm.) Loeblich. Помимо них, в пробах отмечены *Plagioselmis punctata* Butch., (Cryptophyta), *Coscinodiscus jonesianus* (Grev.) Ostf., *Nitzschia reversa* W. Smith, *Nitzschia holsatica* Hust., *Surirella ovalis* Breb. (Bacillariophyta), *Scenedesmus quadricauda* (Turpin) Bréb., *Pediastrum duplex* Meyen (Chlorophyta) и др.

В фитопланктоне на станции 1 доминировал *Stephanodiscus hantzschii* Grun. Этот вид составлял 91,5 % от общей численности и 68,72 % от общей

биомассы фитопланктона в пробе. Помимо него, в пробах отмечено незначительное количество *Planktolynghya limnetica* (Lemm.) Kom.-Legner. et Croub. (Cyanophyta), *Gymnodinium agilifome* Schill. и *Glenodinium* sp.

Во время отбора планктонных проб в районе Займо-Обрыва было отмечено явление «цветения» микроводорослей на поверхности льда в результате массового развития на нем диатомовой водоросли *Stephanodiscus hantzschii* (рис. 6). Развитие водоросли было отмечено в натёках льда, образовавшихся при выдавливании воды на поверхность ледовых полей при нагонных явлениях (рис. 5).

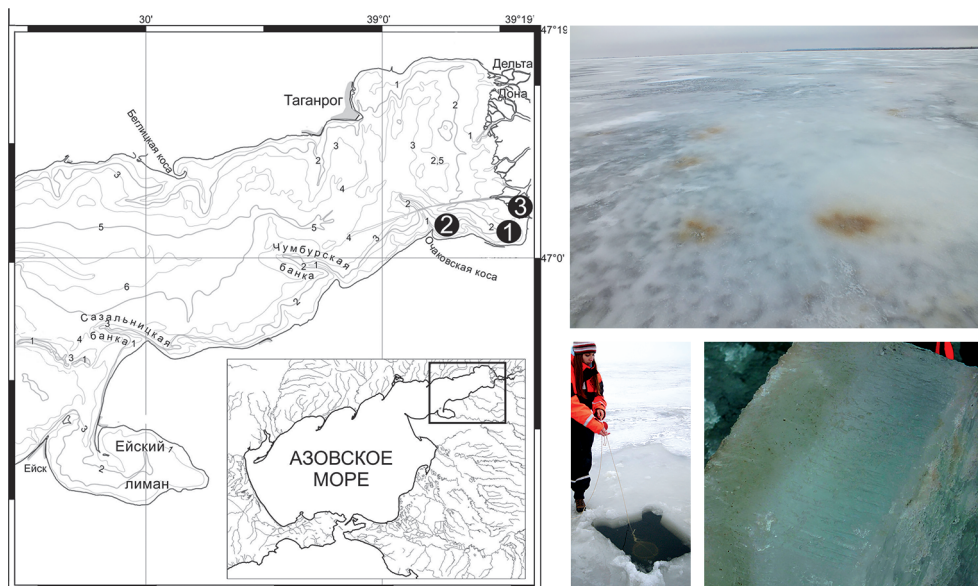


Рис. 5. Места отбора проб 29–31 января 2013 г. «Цветение» льда и отбор проб в районе с. Займо-Обрыв

Примечание. На схеме: 1 – с. Займо-Обрыв; 2 – Павло-Очаковская коса; 3 – дельта р. Дон, Свиное гирло.

Таблица 2. Качественные и количественные характеристики развития фитопланктона [Ковалёва и др., 2014]

Качественные и количественные характеристики	Ст. 1	Ст. 2	Ст. 3
Доминирующая (по численности) группа фитопланктона	Диатомовые водоросли (<i>Stephanodiscus hantzschii</i>)	Динофитовые водоросли	Диатомовые / золотистые водоросли
Численность (млн кл/л)	25,9	0,77	0,02
Биомасса (мг/л)	10,2	8,0	0,05
Концентрация хлорофилла <i>a</i> (мкг/л)	109,0	11,9	0,9

Ранее отмечалось, что клетки *Stephanodiscus hantzschii* «приносятся в Таганрогский залив с речными водами и вскоре отмирают» [Прошкина-Лавренко, 1963]. В пробах, отобранных на станции 1 (рис. 5) была отмечена массовая вегетация данного вида как на льду, так и в водной толще. В литературе неоднократно упоминалось о вспышках численности *Stephanodiscus hantzschii*, но все описанные случаи [Ковалёва и др., 2014] происходили в весенне-летний период. В Таганрогском заливе этот вид также отмечен только в планктоне и преимущественно в летне-осенний период [Студеникина и др., 1999].

Было отмечено, что клетки *Stephanodiscus hantzschii*, вызвавшие явление «цветения» льда, имеют заметные морфологические отличия. *Stephanodiscus hantzschii* – планктонный вид, и обычно отмечают [Прошкина-Лавренко, 1963] одиночные клетки, не имеющие соединительных тяжей. Популяция, развивавшаяся на льду в районе с. Займо-Обрыв, напротив, имела признаки, характерные для колониальных форм диатомовых. На фотографиях, полученных с использованием сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) (рис. 6), хорошо заметны окремненные тяжи, соединяющие клетки в колонию, которые сохранились после обработки проб.

Вероятно, в связи с тем что лед в Азовском море существует непродолжительное время, а в иные годы он не образуется совсем, в составе альгофлоры Азовского моря нет облигатных криофилов. Чаще всего на поверхности льда отмечали поселение водорослей, обитающих одновременно как в планктоне, так и в перифитоне и бентосе [Ковалёва и др., 2014]. Эти виды не являются облигатными криофильными, но могут использовать лед в качестве твердого субстрата. Отмеченное «цветение» льда в результате массового развития планктонного вида *Stephanodiscus hantzschii* Grunow подтверждает этот факт. В процессе адаптации к условиям обитания на льду у планктонных видов могут формироваться специфические морфологические признаки строения клеток, позволяющие им использовать лед в качестве субстрата. В нашем материале это были длинные щетинки, соединяющие отдельные клетки *S. hantzschii* в колонию.

Как показало данное исследование, несмотря на то что в альгофлоре Азовского моря нет облигатных криофилов, их место в ледовом субстрате могут занимать такие планктонные виды как *Stephanodiscus hantzschii*, которые адаптировались к условиям обитания на льду. Эти виды формируют специальные клеточные структуры, позволяющие им образовывать колонии.

Таким образом, даже кратковременный существующий лед может служить субстратом для массового развития некоторых видов микроводорослей. Отмеченные нами высокие значения численности и биомассы микроводорослей в подледном планктоне указывают на то, что даже при наличии сплошного ледового покрова в зимний период в Таганрогском заливе планктонное сообщество активно функционирует.

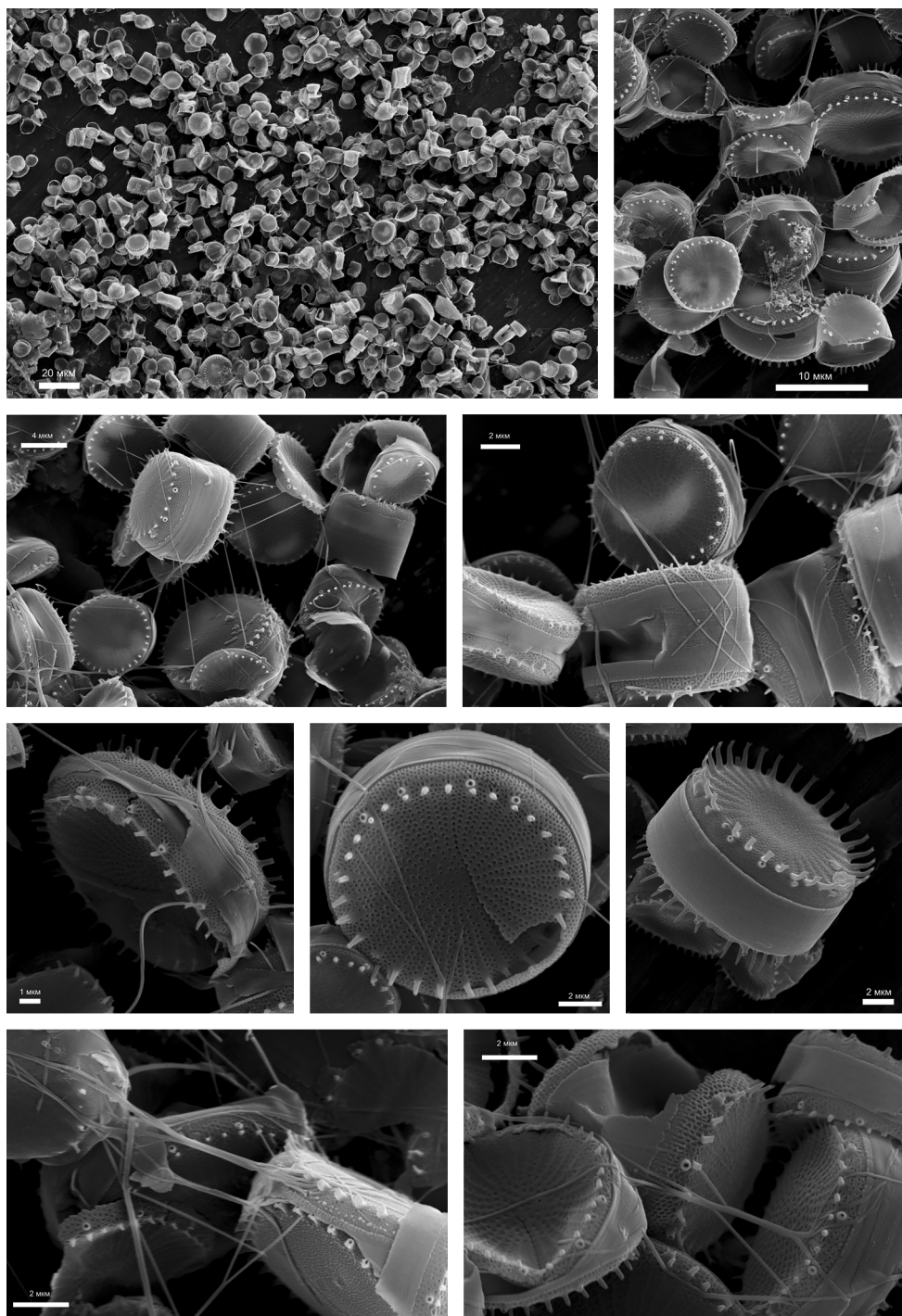


Рис. 6. Колонии *Stephanodiscus hantzschii* Grun., развивавшегося на поверхности льда в районе с. Займо-Обрыв (СЭМ)

6.1.4. «Цветение» воды в лиманах восточного побережья Азовского моря, спровоцированное аллохтонными видами (вселенцами)

Восточный берег Азовского моря представляет собой низменную дельту реки Кубань с многочисленными лиманами, протоками, обширными плавнями. Лиманы восточного побережья Азовского моря имеют своеобразный гидролого-гидрохимический режим, который определяется поступлением и стоком речных вод, подземных вод, проникновением морских вод и пр. Одним из лиманов, имеющих практически постоянную связь с Азовским морем, является Бейсугский лиман. Он занимает площадь около 240 км², являясь самым крупным лиманом Восточного Приазовья. Максимальная глубина лимана составляет 3 м. Он имеет постоянную связь с морем через Ясенский пролив (промыв в косе Ясенская), глубина которого достигает 18 м. Кроме того, в Бейсугский лиман впадает р. Бейсуг. Соленость воды в лимане меняется в диапазоне от 2 до 5 ‰, но вероятно, с затоком вод из Азовского моря может существенно повышаться до средних показателей азовской солёности (9–10 ‰), а в период весеннего паводка и притока пресных вод из р. Бейсуг может сильно понижаться.

До недавнего времени в многочисленных лиманах на восточном побережье Азовского моря были обнаружены 6 таксонов рода *Chaetoceros*: *C. muelleri* Lemm., *C. simplex* Ostf., *C. paulsenii* Ostf., *C. subtilis* f. *knipowitschii* (A. Henckel) Pr.-Lavr., *C. subtilis* var. *abnormis* Pr.-Lavr., *C. lorenzianus* Grun. [Прошкина-Лавренко, 1963].

При исследовании фитопланктона Бейсугского лимана в октябре 2001 г. отмечено интенсивное развитие микроводорослей из видов *Chaetoceros*: *C. throndsenii* (Marino, Montresor et Zingone) Marino, Montresor et Zingone, *C. similis* Cl., *C. tenuissimus* Meunier, *C. seiracanthus* Gran, *C. wighamii* Bright., *C. minimus* (Lev.) Marino et al. [Ковалёва, Гринченко, 2002]. Вегетация этих видов проходила при температуре воды 14–15 °С и солёности 4,5 ‰. Большинство указанных видов *Chaetoceros* в лимане встречены единично или редко. И только численность *C. throndsenii* достигала 10 млн кл/л [Ковалёва, Гринченко, 2002].

При последующем детальном изучении проб (методом сканирующей электронной микроскопии) была описана морфология створок *Chaetoceros throndsenii* (рис. 7), в массе развивавшегося в Бейсугском лимане, а также описана новая форма *Chaetoceros tenuissimus* f. *beisugensis* Kovaleva et Gogorev [Ковалёва, Гогорев, 2010].

Chaetoceros throndsenii – бореально-тропический солоноватоводно-морской вид, который ранее был обнаружен в Норвежском, Балтийском, Чёрном, Адриатическом и Средиземном морях, в Мексиканском заливе, в проливах Скагеррак и Каттегат. Происхождение популяции *C. throndsenii*, массово развивавшегося в Бейсугском лимане, остается под вопросом, но можно предположить, что вид мог проникнуть в лиман из Азовского моря (через промыв в косе Ясенская), а туда попасть в результате адвекции черноморских вод. Не исключен также и перенос с балластными водами судов, следовавшими из Чёрного, Средиземного или Балтийского морей.

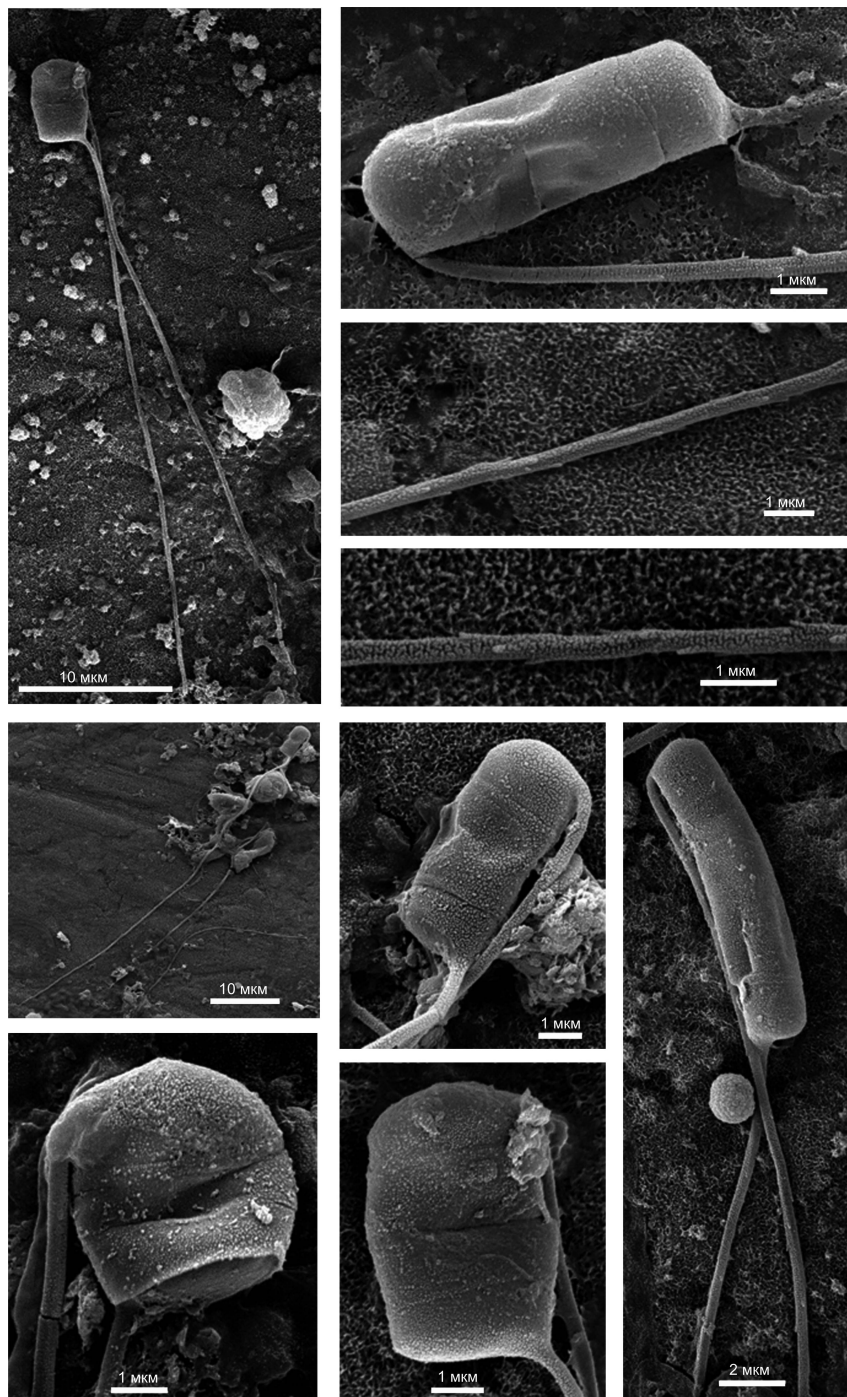


Рис. 7. *Chaetoceros thronsenii* (Marino, Montresor et Zingone) Marino, Montresor et Zingone из Бейсугского лимана (СЭМ) [Ковалёва, Гогорев, 2010]

Случаи развития представителей рода *Chaetoceros* в лиманах Азовского моря отмечала еще А.И. Прошкина-Лавренко [1963], но до сих пор нет сведений, позволивших бы однозначно ответить на вопрос о причинах массовой вегетации морских и солоноватоводных видов рода *Chaetoceros* в опресненных лиманах. Вероятно, попадая из олиготрофных морских водоемов в богатые биогенными веществами воды лимана, морские виды, имеющие широкий диапазон галобности, могут давать вспышку численности.

6.1.5. Влияние аллохтонных видов (вселенцев) на видовое разнообразие микроводорослей Азовского моря

Вопросы, связанные с вселением аллохтонных (чужеродных) организмов в Азовское море активно обсуждаются в последнее десятилетие. Исследованы результаты случайного вселения гребневиков, различных видов моллюсков и крабов, полихет. 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.

Сложности анализа процессов вселения новых видов микроводорослей обуславливаются 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. Кроме указанных выше обстоятельств, 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» того или иного вида микроводорослей.

Из литературы известны несколько классических примеров инвазий микроводорослей, из которых наиболее ярким является «вселение» в Каспийское море (а ранее и в Азовское море) диатомовой водоросли *Pseudosolenia calcar-avis* (M. Schultze) B.G. Sundström (= *Rhizosolenia calcar-avis*). Опираясь на палеоботанические данные (диатомовый анализ), А.И. Прошкина-Лавренко [1963] указывала на то, что это «вселение» *Pseudosolenia calcar-avis* (в 1930-х гг.) является интереснейшим примером «вторичного заселения» видов (не только в Азовское, но и в Каспийское и Аральское моря). Первичное существование этого вида в Каспии, по палеоботаническим данным, относится к неогену, а в Чёрном море ископаемые находки *Pseudosolenia calcar-avis* известны из сарматских отложений [Прошкина-Лавренко, 1963]. Помимо этого, к «вторичному вселению» А.И. Прошкина-Лавренко относит появление во флоре фитопланктона Азовского моря таких морских диатомовых водорослей, как *Chaetoceros affinis* Laud., *C. curvisetus* Cl., *Triceratium antediluvianum* (Ehr.) Grun.

Азовское море связано с Чёрным и Каспийским морями общностью происхождения и геологической историей. Естественно, что процесс миграции видов микроводорослей, происходивший в отдаленные геологические эпохи, актуален до сих пор. Вероятно, данный пример нельзя рассматривать ни как «вселение», ни как инвазию, поскольку под биологическими инвазиями подразумевают проникновение организмов в экосистемы, расположенные за пределами их первоначального ареала [Дгебуадзе, 2000].

Примером проникновения в Азовское море «средиземноморских вселенцев» (взято в кавычки, поскольку указанные ниже виды обычны в восточной части Тихого океана, в Японском море и т.д.) считают эпизодические находки таких видов, как *Bacteriastrum hyalinum* Laud. и *B. delikatum* Shad. (Bacillariophyta) в 1980-х гг. [Студеникина и др., 1999]. Вторичное упоминание о «вселении» *Bacteriastrum hyalinum* относится к 1997–1998 гг. [Макаревич и др., 2000]. Отсутствие упоминаний о находках этого вида в фитопланктоне Азовского моря в промежутке с 1980-х гг. по 1998 г. (возможно, из-за его малочисленности) не дает оснований предполагать, что это «вселение». Геологическая история *Bacteriastrum hyalinum* и *B. delikatum* неясна, поскольку из-за хрупкости панциря они не сохранились в ископаемом состоянии.

Инвазией из Каспийского моря, вероятно, следует считать мезогалобную диатомовую водоросль *Chaetoceros minutissimus* Makar. et Pr.-Lavr. Отсутствие данных о находках этого вида в других водоемах позволяет только предполагать историю происхождения азовской популяции этого организма. В апреле 1995 г. этот вид достигал массового развития в восточной части Таганрогского залива (на рейде порта Таганрог), что позволило сделать предположение о том, что этот вид занесен с балластными водами судов, приходящих из Каспия [Ковалёва, 1996]. Дальнейшие единичные находки этого вида в восточном и южном районах Азовского моря можно трактовать двояко: или этот вид успешно акклиматизировался, или он является реликтом Понто-Каспийского бассейна, а ранее не был обнаружен в Азовском море из-за редкой встречаемости и малых размеров.

Проследить «вселение» новых видов фитопланктона в Азовское море является сложной задачей 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 тот факт, что флора фитопланктона Азовского моря является смешанной, указывали многие авторы [Прошкина-Лавренко, 1963; Студеникина и др., 1999]. 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 (иначе называемых – аллохтонным компонентом) в южном районе моря, находящемся под непосредственным влиянием водообмена с Чёрным морем. В этот список чаще всего попадают полигалобные динофлагел-

ляты из родов *Prorocentrum*, *Ceratium*, *Dinophysis*, *Alexandrium*, *Gymnodinium*, а также диатомовые водоросли из родов *Rhizosolenia*, *Pseudo-nitzschia*.

В последнее время на акватории Азовского моря нами было неоднократно отмечено присутствие поли- и мезогалобных золотистых (*Ochromonas oblonga* N. Carter, *Apedinella spinifera* (Throndsen) Throndsen), 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. Возникает вопрос: как рассматривать присутствие в солоноватоводном Азовском море полигалобных видов микроводорослей – как постоянный и естественный компонент или всё же как инвазию?

В Азовском море развитие динофлагеллят в течение зимнего периода лимитировано соленостью и низкими температурами, поэтому ежегодно отмечаемое развитие динофитовых водорослей происходит преимущественно в осолоненной части моря и в летний период. Проникновение в Азовское море большинства динофлагеллят связано с адвекциями черноморских вод, и их рассматривают как аллохтонный компонент фитопланктонного сообщества, хотя некоторые эвригалинные динофлагелляты становятся долговременным компонентом альгоценоза (в течение одного биологического сезона) и достигают заметного количественного развития.

Ярким примером этого являются динофитовые водоросли из рода *Alexandrium* (*A. tamarense* (Lebour) Balech, *A. ostenfeldii* (Pauls.) Balech et Tangen), вегетация которых неоднократно регистрировалось на акватории Азовского моря в летние месяцы. Эти потенциально токсичные виды, развиваясь в массе, вызывают «цветение» воды. Для этих видов характерна способность после интенсивного развития формировать покоящиеся споры, оседающие на дно и вновь прорастающие при наступлении благоприятных условий среды. Проанализировав случаи «цветения» этих видов в Азовском море, закончившиеся формированием спор (возле Ясенской косы летом 1998 г.; в районе косы Бирючий остров в июле 1999 г.; южнее Должанской косы летом 2000 г. биомасса клеток и покоящихся спор *Alexandrium tamarense* достигала 20,3 г/м³), нами был отмечен тот факт, что повторного «цветения» этих видов в местах оседания спор не наблюдалось. Вероятно, что покоящиеся споры не выживают зимой, и повторное развитие этих видов в Азовском море инициируется ежегодными инвазиями из Чёрного моря.

Поскольку развитие большинства динофлагеллят в Азовском море происходит в теплый период года, то в другие сезоны их место в сукцессионном процессе занимают «мелкие жгутиковые» водоросли – условно выделяемая группа нанопланктонных водорослей (от 2 до 15–20 мкм) из разных отделов (Chrysophyta, Haptophyta, Chlorophyta, Prasinophyta, Euglenophyta, а также некоторые беспанцирные динофитовые водоросли).

Кроме того, неблагоприятными для вегетации динофитовых водорослей являются опресненные зоны, и в этих районах мелкие жгутиковые также занимают место в третьей фазе сукцессии. Так, в августе 2000 г. нами было отмечено, что именно мелкие жгутиковые характерны для третьей стадии сукцессии в зонах смешения вод и влияния пресноводного стока: в кутовой части Таганрогского залива, в Должанском проливе (горло Таганрогского залива), на востоке моря (район влияния стока из р. Протока, Ахтарского и Бейсугского лиманов).

Таким образом, ежегодные случаи проникновения динофлагеллят и диатомей из Чёрного моря, которые несмотря на чужеродное происхождение пластично встраиваются в летне-осенний комплекс фитопланктона, а с наступлением зимнего периода бесследно исчезают из фитопланктонного комплекса Азовского моря, следует описывать термином «биологические инвазии» [Дгебуадзе, 2000].

Чёрное море не единственный поставщик инвазионных видов. Было бы неправильно обойти вопрос инвазий пресноводных видов, связанных со стоком из рек Дон, Кубань, Протока и лиманов кубанского побережья. Следует отметить, что инвазии пресноводных видов проходят не так «агрессивно» и сильнее всего проявляются непосредственно в опресненных зонах (наиболее существенно в Таганрогском заливе и слабее в районах впадения рек Кубани и Протоки).

Таким образом, флора фитопланктона Азовского моря является смешанной вследствие того, что испытывает влияние биологических инвазий видов морского и пресноводного происхождения. Роль этих видов в экосистеме планктонного сообщества Азовского моря чрезвычайно велика, поскольку они осуществляют заметный вклад в биомассу и видовое разнообразие.

Аспектом данной проблемы является изучение последствий биологических инвазий токсичных планктонных микроводорослей (*Alexandrium tamarense*, *A. ostenfeldii*, *Dinophysis acuminata* Clap. et Lachm., *Pseudo-nitzschia pungens* (Grun.) Hasle, *Heterosigma akashiwo* и др.). Токсичные динофлагелляты и диатомеи из Чёрного моря, попав в благоприятные по условиям питания воды Азовского моря, развиваются в массе и вызывают «цветение» воды (в случае развития динофлагеллят – провоцируют появление «красных приливов»).

К сожалению, мониторинга и фиксации случаев «красных приливов» в бассейне Азовского моря практически не ведется. Регистрация фактов массового развития потенциально токсичных видов диатомовых и динофитовых водорослей происходит случайно, только если это явление попадает в поле зрения гидробиологов. Обычно гидробиологов ставят в известность только о случаях массового «замора» рыбы на большой территории. Кроме того, специалисты-гидробиологи есть только в крупных городах, поэтому даже если экспедиция будет организована в районы «цветения», то ученые успеют зафиксировать лишь финальную стадию «цветения». Чаще всего местные жители уже привыкли к локальным случаям «заморов» рыбы и не считают это явление чем-то уникальным и достойным оповещения местных властей и тем более ученых.

Так, отдыхая в августе 2016 г. в районе Керченского пролива (п. Ильич, Темрюкский район, Краснодарский край) автор стала свидетелем небольшого по площади «красного прилива». Утром 3 августа 2016 г. в выбросах на пляже п. Ильич было многодохлой рыбы (преимущественно бычков), а в прибрежной зоне были заметны пятна воды красновато-бурого цвета (рис. 8). В это время на пляже было много отдыхающих, включая детей. Владельцы прилегающих к пляжу гостиниц оперативно убралидохлую рыбу, а на попытки предупредить отдыхающих о том, что не стоит купаться в воде красно-бурого цвета, попросили не поднимать панику. По словам местных жителей, это «обычное явление» и не стоит придавать ему значение.



Рис. 8. «Цветение» воды и замор рыбы в пос. Ильич (3 августа 2016 г.)

Позднее, изучив в лаборатории пробу воды, отобранную в пятне «цветения», мы выяснили, что наиболее вероятной причиной «красного прилива» было массовое развитие в планктоне потенциально токсичной диатомовой водоросли из рода *Pseudo-nitzschia*, численность которой достигала 700 млн кл/м³. Выявить наличие токсинов не представлялось возможным, поскольку для транспортировки пробы пришлось зафиксировать формалином.

Виды рода *Pseudo-nitzschia* считают потенциально токсичными, поскольку они могут продуцировать токсин – домоевую кислоту и ее производные (ASP-токсин, Amnesic Shellfish Poisoning), способные вызывать отравления (вплоть до леталь-

ного исхода) у людей, морских млекопитающих, морских птиц и рыб [Орлова, Стоник, 2001; Вершинин, Орлова, 2008; Getchis, Shumway, 2017]. Симптомы отравления домоевой кислотой: головокружение, рвота, диарея, расстройство сознания, потеря краткосрочной памяти, нестабильное кровяное давление, кома, а в острых случаях – летальный исход [Вершинин, Орлова, 2008]. К сожалению, из-за низкой информированности населения и медицинских работников, даже при наличии признаков отравления домоевой кислотой, вряд ли их сопоставят с «цветением» токсичных микроводорослей. Вероятнее всего, большинство указанных симптомов свяжут с пищевым отравлением. Конечно, не все случаи «цветения» микроводорослей, даже потенциально токсичных видов, приводят к образованию токсинов, и тем не менее это явление заслуживает более пристального внимания.

Заключение. По нашему мнению, единственно надежным методом снижения интенсивности и продолжительности «цветения» воды может стать контроль за качеством очищения и объемом сточных вод, поступающих в водоемы, а также рациональное земледелие, соблюдение правил севооборота и распашки земель, применение орошения, оптимальное регулирование объемов речного стока и пр. Если снизить поступление в природные водоемы лишних биогенных веществ, являющихся стимулом для массовой вспышки численности водорослей, и нормализовать объемы речного стока, то масштаб «цветений» воды будет уменьшаться естественным образом.

Очень важно наладить более строгий контроль за соблюдением регламентов по сбросу балластных вод судов, что снизит вероятность проникновения потенциально токсичных видов-вселенцев.

Действенным методом предотвращения негативных последствий для объектов марикультуры и рыболовства, а следовательно и для здоровья населения прибрежных регионов, могут стать системы мониторинга и своевременного оповещения об опасном природном явлении. Во многих зарубежных странах такие системы мониторинга успешно применяются [Getchis, Shumway, 2017] и позволяют властям оперативно реагировать в случае «цветения» воды и принимать необходимые меры по временному прекращению вылова рыбы и морепродуктов, предотвращению поступления продуктов рыболовства и аквакультуры в продажу, введению ограничений на рекреационную деятельность в опасных районах.

Несомненно, требуется и более тщательная эпидемиологическая оценка случаев отравлений фитотоксинами и хотя бы минимальная осведомленность здравоохранительных органов о синдромах отравления различными токсинами микроводорослей и методах их лечения.

Необходимо проводить просветительские мероприятия (научно-популярные лекции, раздача буклетов, распространение социальной рекламы и пр.), информирующие о том, что микроводоросли являются начальным звеном пищевой цепи в водоемах и все организмы, питающиеся ими (моллюски, крабы, креветки и рыбы), могут аккумулировать фитотоксины до концентраций, летальных для

человека. Первоочередные задачи по предотвращению негативного воздействия «цветения» воды на здоровье людей – информирование населения о возможной опасности этого явления, а также оповещение местной власти о любых случаях «заморов» рыбы и появлении неестественного цвета воды.

Автор выражает благодарность Р.Г. Михалюку за неоценимую помощь в поиске и переводе зарубежных публикаций, посвященных проблеме «цветения» воды и распространения токсичных видов микроводорослей.

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)».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Алескерова А.А., Кубряков А.А., Станичный С.В., Лишаев П.Н., Мизюк А.И. Цветение цианобактерий в Азовском море по данным сенсоров спутников серии Landsat // Исследование Земли из космоса. 2018. № 6. С. 52–64.

Бердников С.В., Клещенков А.В., Григоренко К.С., Олейников Е.П., Московец А.Ю., Дашкевич Л.В., Кулыгин В.В., Сорокина В.В., Соьер В.Г. Результаты морских научных исследований Южного научного центра Российской академии наук (ЮНЦ РАН) в Азовском море в 2003–2018 гг. // Водные биоресурсы и среда обитания. Ч. 1: Гидрология и гидрохимия. 2019. Т. 2. № 3. С. 7–19.

Вершинин А.О., Орлова Т.Ю. Токсичные и вредные водоросли в прибрежных водах России // Океанология. 2008. Т. 48. № 4. С. 568–582.

Гогорев Р.М., Ковалёва Г.В. Одноклеточные виды *Chaetoceros* (Bacillariophyta) Бейсугского лимана (Азовское море) // Ботанический журнал. 2010. Т. 95. № 7. С. 970–977.

Дгебуадзе Ю.Ю. Экология инвазий и популяционных контактов животных: общие подходы // Виды-вселенцы в европейских морях России. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2000. С. 35–50.

Деркачев С. «Ростовводоканал» собрался решить проблему с дурным запахом воды из кранов раз и навсегда // Donnews.ru. 29.05.2018. URL: http://www.donnews.ru/Rostovvodokanal-sobral-sya-reshit-problemu-s-durnym-zapahom-vody-iz-kranov-raz-i-navsegda_34297 (дата обращения: 07.08.2019).

Ковалёва Г.В. Фитопланктон Азовского моря и прилегающих водоемов // Азовское море в конце XX – начале XXI вв.: геоморфология, осадконакопление, пелагические сообщества. Т. X. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2008. С. 134–223.

Ковалёва Г.В. *Chaetoceros minutissimus* Makar. et Pr.-Lavr. – новый для Азовского моря вид, доминирующий в весеннем планктоне // Тез. докл. конф. «Эколого-физиологические исследования водорослей и их значение для оценки состояния природных вод» (г. Борок, 3–5 дек. 1996 г.). Ярославль, 1996. С. 45–46.

Ковалёва Г.В. Виды-вселенцы в фитопланктоне Азово-Черноморского бассейна: проблемы изучения // Сб. статей Межд. научн. конф. «Окружающая среда и человек» памяти чл.-корр. РАН Д.Г. Матишова (г. Ростов-на-Дону, 5–8 сент. 2016 г.) / [гл. ред. акад. Г.Г. Матишов]. Ростов н/Д.: Изд-во ЮНЦ РАН, 2016. С. 183–190.

Ковалёва Г.В. Влияние биологических инвазий на таксономическое разнообразие микроводорослей Азовского моря // Основные проблемы рыбного хозяйства и охраны рыбохозяйственных водоемов Азово-Черноморского бассейна: сб. науч. трудов АЗНИИРХ (2000–2001 гг.). М., 2002. С. 158–164.

Ковалёва Г.В., Григоренко К.С. Влияние биологических инвазий на фитопланктон Таганрогского залива (в условиях повышения солёности) // Экология. Экономика. Информатика. Сер.: Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем. 2018. Вып. 3. С. 188–194. Doi: 10.23885/2500-395x-2018-1-3-188-195.

Ковалёва Г.В., Гринченко М.А. *Chaetoceros thronsdensei* (Marino, Montresor et Zingone) Marino, Montresor et Zingone – новый вид в планктоне Азовского моря и Бейсугского лимана // Тез. докл. VIII школы диатомологов России и стран СНГ «Морфология, экология и биогеография диатомовых водорослей». Борок, 2002. С. 5–6.

Ковалёва Г.В., Поважный В.В., Золотарева А.Е., Макаревич П.Р., Матишов Г.Г. Ледовое сообщество микроводорослей в Таганрогском заливе Азовского моря // Океанология. 2014. Т. 54. № 5. С. 659–664.

Коновалова Г.В. Морфология трех видов *Alexandrium* (Dinophyta) из прибрежных вод восточной Камчатки // Ботанический журнал. 1989. Т. 74. № 10. С. 1401–1409.

Коновалова Г.В. «Красные приливы» в дальневосточных морях России и прилегающих акваториях Тихого океана (обзор) // Альгология. 1992. Т. 2. № 4. С. 87–93.

Макаревич П.Р., Любин П.А., Ларионов В.В. Основные тенденции изменчивости структуры фитопланктонных и бентосных сообществ Азовского моря // Экология. 2000. № 6. С. 444–448.

Матишов Г.Г., Фуштей Т.В. К проблеме вредоносных «цветений воды» в Азовском море // Электронный журнал «Исследовано в России». 2003. С. 213–225.

Матишов Г.Г., Ковалёва Г.В. «Цветение» воды в водоемах юга России и сбои в водоснабжении (на примере г. Волгодонска) // Вестник Южного научного центра. Т. 6. № 1. 2010. С. 71–79.

Матишов Г.Г., Ковалёва Г.В., Ясакова О.Н. Аномальное осолонение в Таганрогском эстуарии и дельте Дона // Наука Юга России (Вестник Южного научного центра). 2016. Т. 12. № 1. С. 43–50.

Матишов Г.Г., Степаньян О.В., Поважный В.В., Ковалёва Г.В., Кренёва К.В. Функционирование экосистемы Азовского моря в зимний период // Доклады Академии наук. 2007. Т. 413. № 1. С. 112–115.

Матишов Г.Г., Степаньян О.В., Ковалёва Г.В., Поважный В.В., Кренёва К.В. Особенности структуры пелагического сообщества Азовского моря в условиях аномально холодной зимы 2005–2006 гг. // Вестник Южного научного центра. 2012. № 4. С. 66–75.

Орлова Т.Ю., Стоник И.В. Виды рода *Pseudo-nitzschia* (Bacillariophyta), найденные в дальневосточных морях России // Ботанический журнал. 2001. Т. 86. № 4. С. 47–52.

Ростовский водоканал внедрит технологию углевания воды до 2020 года // Ростовводоканал, 29.11.2018. URL: <https://vodokanalrnd.ru/press-tsentr/news/rostovskiy-vodokanal-vnedrit-tekhnologiyu-uglevaniya-vody-do-2020-goda/> (дата обращения: 07.08.2019).

Прошкина-Лавренко А.И. Диатомовые водоросли планктона Азовского моря. М.; Л.: АН СССР, 1963. 190 с.

Сапрыгин В.В. Изучение распределения хлорофилла *a* в Азовском море по данным дистанционного зондирования Земли из космоса и результатам судовых измерений: автореф. дис. ... канд. географ. наук: 25.00.28. Ростов н/Д., 2011. 24 с.

Селина М.С. Распределение потенциально токсичных динофитовых водорослей рода *Dinophysis* в заливе Восток Японского моря // Биология моря. 1993. № 5–6. С. 23–29.

Студеникина Е.И., Алдакимова А.Я., Губина Г.С. Фитопланктон Азовского моря в условиях антропогенных воздействий. Ростов н/Д.: Эверест, 1999. 175 с.

Getchis, T.L., Shumway, S.E. 2017. Harmful Algae: An Executive Summary (preprint). Connecticut Sea Grant College Program. CTSG-17–08. 16 p.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Ковалёва Галина Витальевна – к.б.н., ЮНЦ РАН; kovaleva_galina@mail.ru