

УДК 582.232(556.55)+628.1

“ЦВЕТЕНИЕ” ВОДЫ В ВОДОЕМАХ ЮГА РОССИИ И СБОИ В ВОДОСНАБЖЕНИИ (НА ПРИМЕРЕ г. ВОЛГОДОНСКА)

© 2010 г. Академик Г.Г. Матишов^{1,2}, Г.В. Ковалева¹

“Цветение” воды в результате массового размножения микроводорослей – типичное явление для Таганрогского залива, дельты Дона и Цимлянского водохранилища. Несмотря на естественность этого процесса при определенных гидрометеорологических условиях может произойти экстремальная вспышка численности водорослей, подобная той, которая наблюдалась в октябре 2009 г. в районе г. Волгодонска и привела к прекращению подачи воды жителям крупного города. Эту проблему нельзя решить надуманными предложениями, такими как вселение хлореллы или толстолобика. Необходим комплексный продуманный подход с участием ведущих ученых, специалистов в данной области, учитывающий мировой опыт борьбы с “цветением” воды в водохранилищах.

В ходе исследований специалистов Института аридных зон Южного научного центра РАН получены предварительные данные о причинах выхода из строя водозаборных сооружений г. Волгодонска, описаны их системные технические недочеты, наложившиеся на экстремальные природные явления, и предложены инженерно-технические решения указанной проблемы.

Ключевые слова: “цветение” воды, цианопрокариоты (синезеленые водоросли), водоочистные сооружения.

“Цветение” воды в результате массового размножения микроводорослей – типичное явление для равнинных водоемов юга России – Таганрогского залива, дельты Дона и Цимлянского водохранилища. Экстремальные вспышки численности водорослей снижают эстетическую привлекательность водоемов. Формирование “киселеобразной” массы микроводорослей создает серьезную угрозу бесперебойного водозабора для нужд Ростова, Таганрога, Ейска, Волгодонска и других городов.

Аномальный режим осенней погоды усиливает эффект максимальной концентрации микроводорослей в прибрежье. Ярким примером этого служит ситуация, сложившаяся у берегов Волгодонска.

Развитие термической и ветровой картины, предшествовавшей остановке насосов и прекращению водоснабжения, наглядно демонстрируют данные Цимлянской гидрометеорологической обсерватории (табл. 1). Авария совпала с затянувшейся до конца октября 2009 г. теплой погодой, когда среднемесячные показатели температуры превышали норму на 4,7 °С для воздуха и на 2,4 °С для воды. Следствие этого календарь вегетации цианопрокариот (синезеленых водорослей) был растянут до начала ноября. Кроме того, в течение суток наблю-

дали действие сильных ветров (15–17 м/с) северо-восточного и восточного направления (табл. 1), что привело к скоплению цианопрокариот у водозабора ПУ “Водоканал”.

Биомасса цианопрокариот во время летнего “цветения” воды в Цимлянском водохранилище составляет в среднем от 10 до 20 г/м³, а при нагонных явлениях достигает экстремальных значений 200–2000 г/м³ [1]. Обычно пик развития самого массового вида *Microcystis aeruginosa* приходится на август–сентябрь, но в 2009 г. благоприятные для его развития метеоусловия были до конца октября. В итоге в конце октября была отмечена аномальная для этого времени года биомасса фитопланктона (2,5 кг/м³). Цианопрокариоты по своим физиологическим свойствам концентрируются в слое воды не глубже 2–4 м, именно в этой зоне и располагаются водозаборники. В условиях длительного действия ветров северо-восточного и восточного направления (со скоростью 15–17 м/с) происходит нагон микроводорослей в прибрежную зону. Именно при таких аномальных скоплениях произошло засорение водозаборных сооружений и прекращение водоснабжения Волгодонска на целые сутки.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Для анализа гидробиологической ситуации, которая сложилась в период “цветения” воды в Цимлянском водохранилище, были использованы как

¹ Южный научный центр Российской академии наук, 344006, Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41; тел. (863) 266-64-26, 250-98-07, e-mail: matishov_ssc-ras@mmbi.krinc.ru, kovaleva@mmbi.krinc.ru.

² Мурманский морской биологический институт Кольского научного центра РАН, 183010, Мурманск, ул. Владимирская, 17.

Таблица 1. Условия ветровой активности по данным Цимлянкой гидрометеорологической обсерватории

Дата	Период наблюдений, ч: мин	Направление ветра, румб	Максимальная скорость ветра, м/с
25.10.2009	2:00–7:00	СЗ	10
	7:00–22:00	С, СВ	15
	22:00–24:00	СВ	17
26.10.2009	00:00–04:00	СВ, В	17
	04:00–10:00*	В	15
	10:00–24:00	ЮВ	15
27.10.2009	00:00–11:00	ЮВ	14
	11:00–19:00	ЮВ	15
	20:00–24:00	ЮВ	17
28.10.2009	00:00–09:00	В, ЮВ	17

* Время остановки подачи воды.

архивные данные, так и материалы комплексной экспедиции Института аридных зон ЮНЦ РАН. Отбор проб осуществляли на пяти станциях в районе трех водозаборов г. Волгодонска, в приплотинном участке Цимлянского водохранилища и ниже плотины водохранилища у недостроенного водозабора (рис. 1). На момент проведения работ действовали основной питьевой и технический водозаборы (ст. № 4 и № 3 соответственно), два водозабора не функционировали.

Гидрометеонаблюдения, гидрохимические и гидробиологические исследования проведены стандартными методами [2, 3]. Общее содержание органических веществ определяли по $S_{орг}$ с помощью автоматического анализатора N/C 3100 (фирма “Аналитик Йена”) по стандартной методике (каталитическое высокотемпературное окисление и контроль ИК-детектором). Анализ токсинов цианопрокариот проводили согласно методике [4].

В частности, концентрацию микроцистинов всех типов, включая микроцистин-LR, измеряли с помощью высокоэффективного жидкостного хроматографа (ВЭЖХ) с масс-спектрометрическим детектором, используя колонку C18 (150 × 2,1 мм) (рис. 2).

Сбор материала, обработку и анализ данных проводили сотрудники Южного научного центра РАН: д.б.н. М.И. Абраменко, д.б.н. В.В. Громов, к.б.н. В.В. Саяпин, к.б.н. И.В. Шохин, к.х.н. В.Г. Соьер, Д.В. Зимаков, к.б.н. О.В. Степаньян, А.В. Шишкина, И.В. Московкина.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Основные результаты гидрохимических и гидробиологических исследований показали обычную для осеннего сезона картину среды и биоты (табл. 2, 3).

Обнаружено высокое содержание органических веществ, в пять раз превышающее концентрацию в воде открытой части водохранилища. Исключением был только район недостроенного водозабора. Концентрация хлорофилла *a* изменялась от 0,6 до 1,37 мг/м³ (табл. 2). Низкие значения имела биомасса фитопланктона (табл. 3). Это свидетельствует о том, что “цветение” воды к началу ноября завершилось.

Масс-спектрометрический анализ цианопрокариот показал отсутствие токсинов (микроцистин LR и LA) в пробах (рис. 3). Это может быть связано как с окончанием вегетации и массовым отмиранием микроводорослей, так и с тем, что популяция массового вида *Microcystis aeruginosa* не была токсичной.

Таблица 2. Результаты гидролого-гидрохимических исследований

№ станции	Дата, время	$T_{\text{воды}}$, °C	pH	Прозрачность воды, м	PO_4 , мг/л	NO_2 , мг/л	NO_3 , мг/л	Фосфор общий растворенный, мг P/л	Фосфор взвешенный, мг P/л	$S_{\text{хлор}}$	Валовая РР, мг $S_{\text{орг}}$ /м ² /сут.	Чистая РР, мг $S_{\text{орг}}$ /м ² /сут.	D , мг $S_{\text{орг}}$ /м ² /сут.	Ch_a , мг/м ³	CAU , мг $S_{\text{орг}}$ /мг Ch_a^* , сут.	Общая взвесь, мг/л
1	12.11.09 12:45	6,1	8,3	1,8	0,098	0,014	0,278	0,117	0,02	1,19	4,34	-58,08	62,42	1,19	3,64	5,00
2	12.11.09 15:10	7,1	8,4	3,5	0,107	0,003	0,106	0,114	0,019	1,09	0,97	-91,17	92,14	1,09	0,88	2,40
3	13.11.09 12:10	7,2	8,4	1,2	0,091	0,010	0,167	0,114	0,023	1,37	-0,30	11,45	-11,75	1,37	-0,21	7,40
4	13.11.09 13:10	7,1	8,4	4,7	0,101	0,007	0,162	0,132	0,005	0,19	2,13	75,58	-73,46	0,19	10,91	2,07
5	13.11.09 14:05	6,4	8,4	1,7	0,093	0,011	0,280	0,119	0,001	0,60	-9,86	-11,73	1,87	0,60	-16,36	5,40



Рис. 1. Точки отбора гидробиологических и гидрохимических проб в приплотинном участке Цимлянского водохранилища (11–17 ноября 2009). 1 – поплавковая насосная станция; 2 – район четвертого (недостроенного водозабора); 3 – третий (технический) водозабор; 4 – оголовок трубы второго (основного) водозабора; 5 – первый водозабор

Водные и прибрежно-водные растения на период исследований завершили свою вегетацию. В береговой зоне отмечены валы выброшенных растений: урути *Myriophyllum spicatum*, рдеста *Potamogeton crispus*, роголистника *Ceratophyllum demersum*, валлиснерии *Vallisneria spiralis*, руппии *Ruppia spirales*.

Спектр водных беспозвоночных характеризовался обычным составом. Доминирующим видом зоопланктона был веслоногий рак эуритемора *Euretemora* sp. с максимальной биомассой 40,0 мг/м³. Биомасса зоопланктона изменялась от 24,1 до 112,6 мг/м³ (табл. 2), причем наиболь-

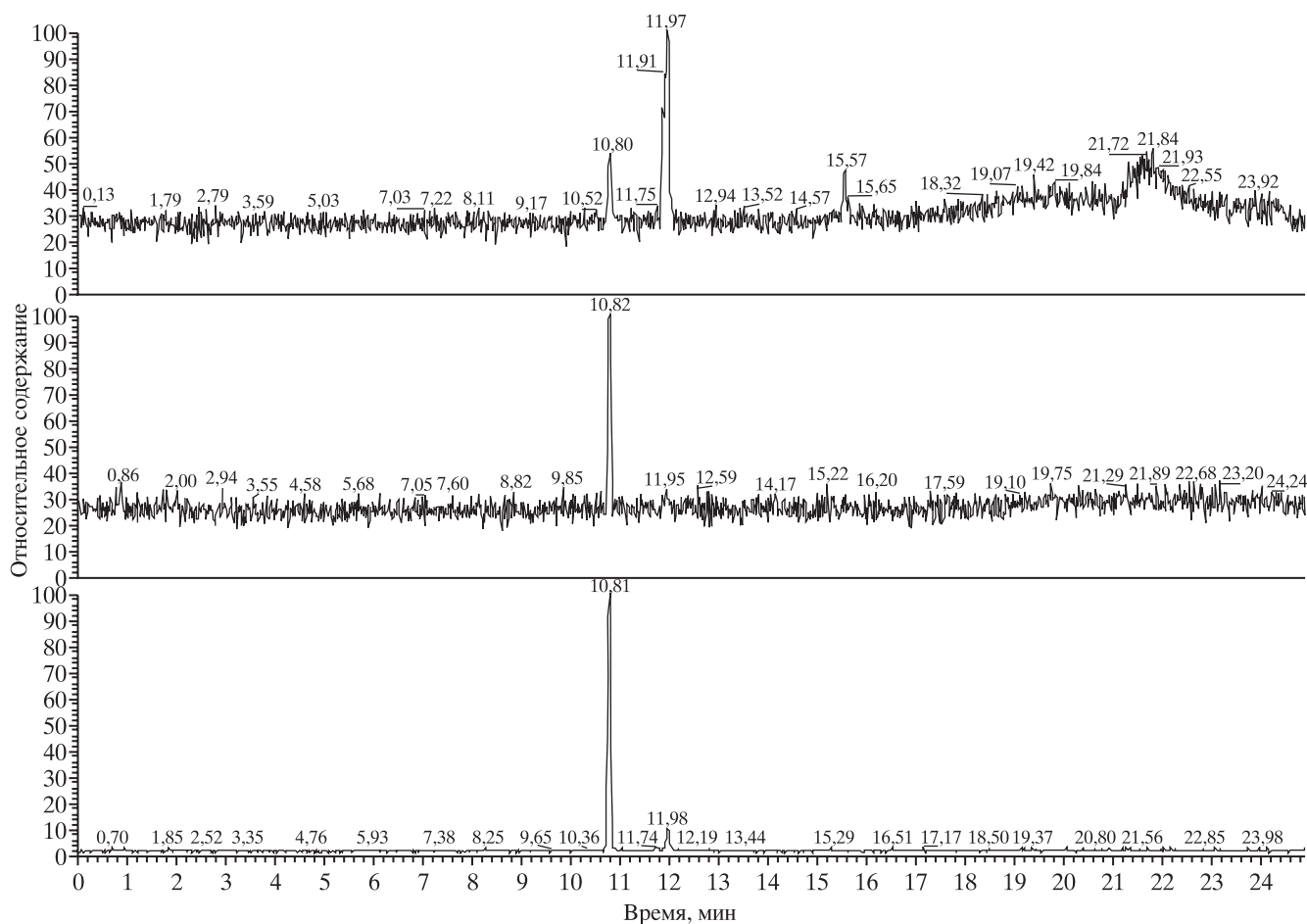


Рис. 2. Хроматограмма микроцистина LA

шее видовое разнообразие отмечено на удаленных от водозаборов акваториях. Преобладающим видом зообентоса в Цимлянском водохранилище является *Dreissena polymorpha*, образующая друзовые сообщества с высокой численностью и биомассой (от 29 до 35 кг/м²) (табл. 3). Друзовые сообщества содержали большое количество оксифильных видов (бокоплавы рр. *Dikerogammarus*, *Pontogammarus*, *Amatilina*, *Corophium*; брюхоногие моллюски рр. *Planorbis*, *Theodoxus*, *Viviparus*, *Lymnaea*). Отмечено большое видовое разнообразие беспозвоночных, что связано со значитель-

ным объемом кормовой базы и разнотипными субстратами.

ОБСУЖДЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Начиная со второй половины XX века проблеме “цветения” воды уделялось пристальное внимание. Основными возбудителями “цветения” воды в летне-осенний период являются несколько видов микроводорослей (табл. 4), из которых *Microcystis aeruginosa* наиболее часто продуцирует аномально высокую численность. Максимальная биомасса

Таблица 3. Результаты гидробиологических исследований

№ станции	Планктон, мг/м ³				Зообентос, 10 ² г/м ²
	Бактерии	Фитопланктон		Зоопланктон	
		прокариоты	эукариоты		
1	498,8	119,4	485,4	79,9	214,6
2	201,7	22,9	124,3	82,1	305,0
3	466,4	32,0	557,7	24,1	>0,1
4	393,4	152,9	239,9	112,6	87,6
5	294,1	65,5	409,0	71,5	353,5

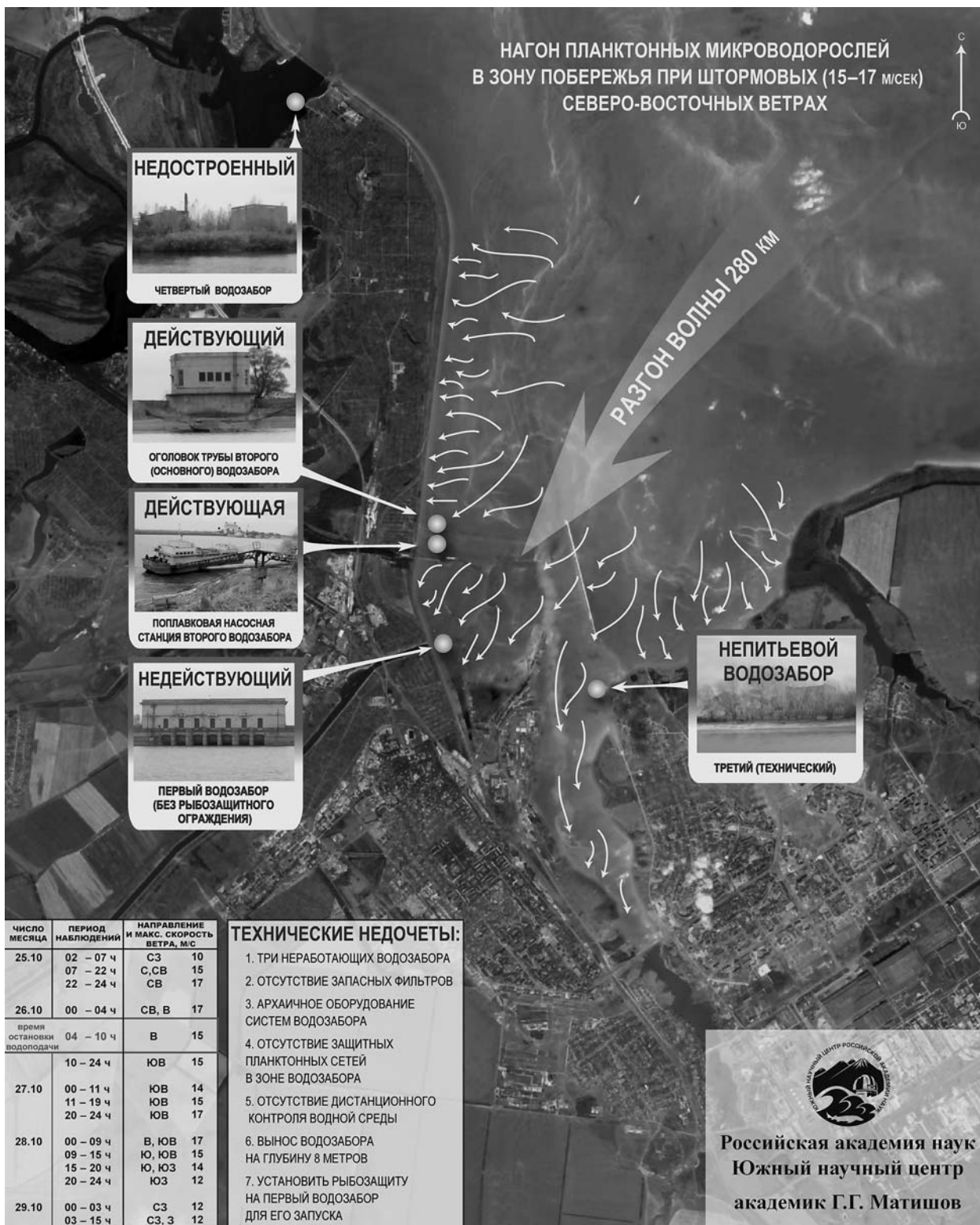


Рис. 3. Гидробиологическая обстановка в пик цветения микроводорослей на водозаборном (приплотинном) участке г. Волгодонска (25–26.10.2009)

цианопрокариот в пике развития может достигать колоссальных значений (табл. 5). Во время массового развития цианопрокариот в приповерхностном слое возникают характерные “пятна цветения”.

Их площадь может быть от одного до десятка гектар акватории. Всплывая к поверхности после отмирания, микроводоросли образуют сплошной покров, который нарушает атмосферную аэрацию воды.

Таблица 4. Цианопрокариоты, вызывающие “цветение” воды в Цимлянском водохранилище

Название вида	Частота встречаемости в период цветения	Сезон массового развития	Оптимальная температура воды, °С
<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kütz.) Kütz. emend. Elenk.	доминирующий	конец лета – осень	17–26
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> (L.) Ralfs	относительно малочисленный	лето	23–27
<i>Anabaena flos-aquae</i> (Lyngb.) Breb.	относительно малочисленный	весна	15–20

Таблица 5. Биомасса цианопрокариот в летне-осенний период (цит. по: [5, 1], собственные данные)

Год	Средний уровень биомассы, г/м ³	Биомасса в аномально урожайные годы, г/м ³	Биомасса водорослей в моменты осенних ветровых нагонов, кг/м ³
Средние значения	10–100	815–3736	2–10
2006	496,2	3736	–
2007	180,9	815	–
2008	24,8	87	–
2009	–	–	0,07–2,5

Таблица 6. Перечень вариантов борьбы с массовым развитием цианопрокариот в Цимлянском водохранилище

№	Метод борьбы	Основная идея, метод	Кем предложен метод
1	Внесение в водоем химических веществ (альгицинов)	Внесение в водоем альгицинов (калий-, олово-, медь-, цинк-, хлорсодержащих химических веществ), препятствующих развитию синезеленых водорослей	Зарубежный опыт
2	Запуск растительноядных рыб	Зарыбление растительноядными рыбами (белый толстолобик и др.)	ФГУ “Управление водными ресурсами Цимлянского водохранилища”
3	Заселение искусственно выращенных водорослей	Вселение штаммов зеленой водоросли – хлорелла <i>Chlorella vulgaris</i>	– Пензенское НИИ сельского хозяйства; – Волгоградское отделение ГосНИОРХ; – Донское бассейновое водное управление
4	Комбинация инженерно-технических решений	Система резервных водозаборов, сменных фильтров, защитных планктонных сетей, дистанционного контроля водной среды, вынос водозабора на глубину более 10 м, установка рыбозащиты на всех построенных водозаборах и их запуск	Южный научный центр РАН

Применительно к Цимлянскому водохранилищу было предложено несколько методов борьбы с ежегодным массовым развитием вредоносных микроводорослей (табл. 6).

Разработан ряд методов химического воздействия (альгицины) [6] на цианопрокариот (табл. 6),

однако все они имеют негативные последствия. Меняется локальное качество воды, поэтому требуется определить влияние химических веществ на организмы и их перенос по пищевым цепям экосистемы. Зачастую использование альгицинов приводит к гибели других растений и животных. Кроме

того, цианопрокариоты имеют высокую скорость адаптации к летальным дозам альгицинов.

Существуют предложения по зарыблению водоема белым и пёстрым толстолобиком. Растительноядные рыбы могут использовать в пищу цианопрокариот [7], но рыбы вряд ли справятся с их огромной биомассой. Во время цветения, а потом отмирания микроводорослей образуются продукты анаэробного распада, появляется сероводород и происходят заморы рыб. Жизнедеятельность промысловых рыб в такой обстановке маловероятна. Кроме того, садки с толстолобиком надо содержать на акватории водозаборов, а это повлечет дополнительное загрязнение воды органическими веществами.

Для решения проблемы «цветения» Цимлянского водохранилища Волгоградским отделением ГосНИОРХ предложен метод заселения в водоём культуры зеленой водоросли хлореллы *Chlorella vulgaris* BIN [8, 9]. Эксперименты по интродукции отработывались преимущественно в опытных бассейнах или небольших водохранилищах, поэтому трудно спрогнозировать эффект от интродукции хлореллы в водоем такого масштаба, как Цимлянское водохранилище (площадь 2702 км²). Пока нет расчетов себестоимости инкубаторов и затрат на культивирование хлореллы на всей площади этого водоема. Отсутствуют технологии масштабного «посева» хлореллы именно в пик «цветения» воды осенью (при сильных ветрах). При этом для закрепления положительного эффекта в Цимлянском водохранилище с глубинами 10–20 м подобные манипуляции нужно проводить неопределенное количество лет [5].

По нашему мнению, проблему «цветения» воды и перебоев с водоснабжением крупных городов нельзя решить такими методами, как вселение хлореллы или толстолобика. Специалисты Института аридных зон ЮНЦ РАН подошли к этой проблеме широко и комплексно. В результате были получены предварительные гидробиологические и инженерно-экологические соображения о причинах выхода из строя водозаборных сооружений г. Волгодонска.

Нами были тщательно проанализированы техническая документация городского водоснабжения, реальное состояние агрегатов и системы их эксплуатации. В итоге выявлен ряд технических недочетов в работе водоснабжения. Именно они в совокупности с экстремальным погодным режимом в осенний период (штормовой ветер северо-восточного направления, который усиливает эффект прибрежного цветения) представляют серьезную угрозу для бесперебойного водообеспечения (рис. 3).

Анализ инженерно-технического состояния выявил три неработающих водозабора, у двух других архаичное оборудование, причем для запуска первого (недействующего) водозабора необходимо установить рыбозащитное ограждение. Кроме того, два действующих водозабора расположены в непосредственной близости (рис. 3) друг к другу, хотя вероятно, что экстремальное увеличение численности микроводорослей в результате ветрового нагона наблюдалось локально. В таком случае наличие резервного источника водоснабжения, расположенного в отдалении от оголовка трубы основного водозабора, могло бы снизить негативный эффект. На водонасосных станциях Волгодонска, как правило, отсутствуют запасные фильтры. Безусловно, сменные фильтры необходимы, особенно осенью, когда в прибрежной зоне биомасса цианопрокариот может достигать 7–12 кг/м³.

Учитывая, что цианопрокариоты по своей физиологии (наличие газовых вакуолей) концентрируются в поверхностном слое воды, целесообразно вынести водозаборники дальше от берега и углубить их не менее чем на 8–10 м. В дополнение к этому можно огородить часть акватории, располагающейся в зоне водозабора, планктонными сетями с соответствующим диаметром ячеей (эффект «москитной сетки») (рис. 4). Такое приспособление может предотвратить распространение пятен скопления цианопрокариот, дрейфующих по акватории Цимлянского водохранилища при северо-восточных ветрах. По мере необходимости эти защитные планктонные сети можно извлекать из воды и промывать. Такая технология уже отработана применительно к аквакультуре.

Помимо этого на современном этапе развития научно-технического прогресса нельзя недооценивать возможности дистанционного контроля гидробиологической среды. Можно применить гидрозонды или буйковые станции, которые в оперативном режиме дают на пульт управления все необходимые показатели воды. В перспективе можно использовать спутниковую информацию, которая позволит своевременно оценить обстановку и принять меры по предотвращению чрезвычайных ситуаций. Самое важное – вовремя зарегистрировать в прибрежной зоне (приплотинный участок) такие непрогнозируемые природные явления, как нагоны штормовыми ветрами огромных скоплений микроводорослей.

Подводя итог, можно заключить, что сочетание архаичного оборудования и технических просчетов с неблагоприятной гидрометеорологической ситуацией (продолжительные восточные ветра, высокая

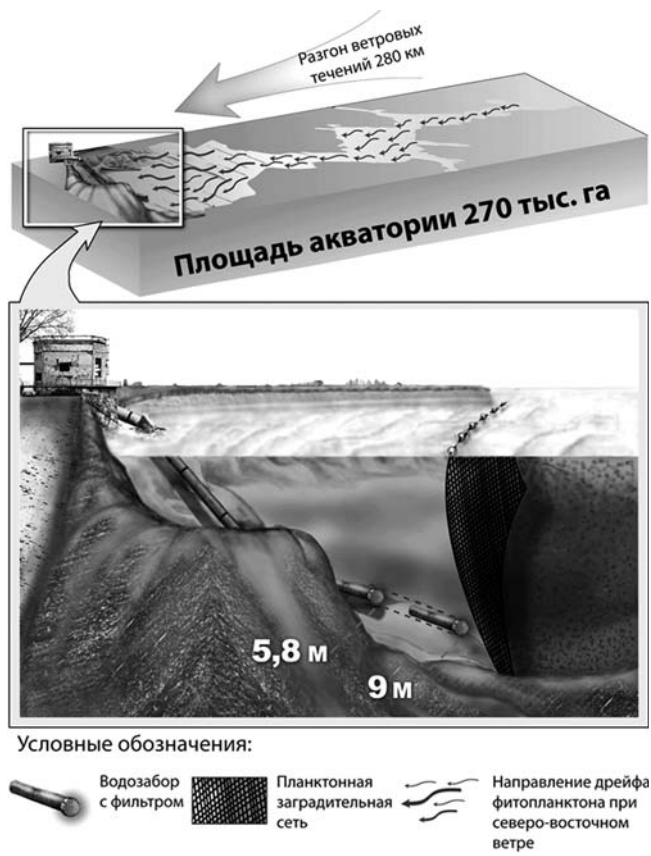


Рис. 4. Комплексная инженерно-техническая схема для предотвращения выхода из строя водозаборных сооружений в периоды «цветения» воды

температура воды и, как следствие, аномальные концентрации микроводорослей) могут представлять серьезную угрозу для бесперебойного водоснабжения городов юга России. Опираясь на существующий опыт и наработки специалистов Института аридных зон ЮНЦ РАН, можно предложить принципиально новый подход к организации питьевого водоснабжения и минимизации экстренных ситуаций. Только комбинация технических средств, предполагающая установку систем резервных водозаборов, наличие на них сменных фильтров при условии их более частого промывания, сооружение дополнительных заградительных планктонных сетей, вынос водозабора на глубину 8–10 м, рыбозащиту на всех водозаборах и регулярный дистанционный контроль водной среды, позволит избежать негативных последствий в будущем. Самый оптимальный вариант – запустить недостроенный четвертый водозаборник (рис. 3). Закачка воды ниже плотины обеспечит бесперебойную работу во все сезоны.

Таким образом, гидробиологическая проблема «цветения» воды в условиях аридного климата

и проявлений антропогенной эвтрофикации требует регулярного проведения экосистемного мониторинга. Дальнейший анализ всей информации позволит объективно оценить обстоятельства аномальной вспышки численности цианобактериот и причины прекращения подачи воды жителям крупного города. Южный научный центр РАН планирует в дальнейшем, при выделении соответствующего финансирования, подготовить инженерно-гидробиологические рекомендации и методические указания в целях обеспечения бесперебойной работы Волгодонского водозабора из бассейна Цимлянского водохранилища.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калинина С.Г., Голоколелова Т.Б. Экологические аспекты «цветения» воды в Цимлянском водохранилище // Современные проблемы альгологии: Мат-лы междунар. науч. конф. и VII Школы по мор. биол. (9–13 июня 2008 г., Ростов-на-Дону). Ростов н/Д: Изд-во ЮНЦ РАН, 2008. С. 164–166.
2. Справочник гидрохимика: рыбное хозяйство / Под ред. В.В. Сапожникова. М.: Агрпромиздат, 1991. 224 с.
3. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений / Под ред. В.А. Абакумова. Л.: Гидрометеоиздат, 1983. 240 с.
4. Lawton L.A., Edwards Ch., Codd G.A. Extraction and high-performance liquid chromatographic method for the determination of microcystins in raw and treated waters // *Analyst*. 1994. Vol. 119. P. 1525–1530.
5. Дolidзе Ю.Б., Яковлев С.В., Ходяков Е.А., Калинина С.Г., Кравцова Г.В. Основные результаты альголизации Цимлянского водохранилища на современном этапе // Современные проблемы альгологии: Мат-лы междунар. науч. конф. и VII Школы по мор. биол. (9–13 июня 2008 г., г. Ростов-на-Дону). Ростов н/Д: Изд-во ЮНЦ РАН, 2008. С. 129–132.
6. Колмаков В.И. Токсичное «цветение» воды континентальных водоемов: глобальная опасность и методы ликвидации // URL: <http://www.biokomfort.com/?action=%D2%EЕ%EA%F1%E8%F7%ED%EE%E5%20%F6% E2%E5%F2%E5%ED%E8%E5%20%E2%EЕ%EA4%FB> (дата обращения: 10.12.2009).
7. Яковлев С.В. Роль популяции белого толстолобика в формировании промыслового ихтиокомплекса Цимлянского водохранилища // Экологические проблемы загрязнения водоёмов Волжского бассейна, современные методы и пути их решения: Мат-лы Всерос. науч.-практ. конф. Волгоград, 2004. С. 147–150.
8. Богданов Н.И. Штамм микроводоросли *Chlorella vulgaris* VIN для получения биомассы и очистки сточных вод: пат. Рос. Федерации № 2192459. Бюл. № 31. 2002.
9. Богданов Н.И. Биологические основы предотвращения «цветения» Пензенского водохранилища синезелеными водорослями. Пенза: РИО ПГСХА, 2007. 75 с.

ALGAL BLOOM IN RESERVOIRS OF THE SOUTH OF RUSSIA AND WATER SUPPLY MALFUNCTIONS (BY THE EXAMPLE OF THE CITY OF VOLGODONSK)

Academician RAS G.G. Matishov, G.V. Kovaleva

Algal bloom, as a result of mass micro-algae reproduction, is a typical phenomenon in the Taganrog Bay, Don Delta, and Tsimlyanskiy water-storage reservoir. Though the process is natural, a rapid increase of algae abundance may take place under certain meteorological conditions. Such a situation was observed in October 2009 near the town of Volgodonsk and resulted in large concentrations of algae in the water intake facilities, when the dwellers of a big town were not supplied with water. The problem cannot be settled by the forced proposals and untested methods (such as the introduction of chlorella or silver carp). An integrated considered approach and research, involving the leading scientists and experts in the field and taking into account the best world practices of algal bloom combating in the water storage reservoirs, are required.

Based on the work carried out by the specialists of the Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, preliminary data on the causes of failure of water intake facilities of the town of Volgodonsk have been obtained. The system technical shortcomings, imposed upon extreme natural phenomena, have been identified and described. The authors also propose new engineering-technical ways to solve the indicated problem.

Key words: algal bloom, Cyanoprocariota (blue-green algae), water purification.