

**СОВРЕМЕННОЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ОЗЕРА
БОЛЬШОЕ ВАСИЛЬЕВСКОЕ**

© 2014 М.Ю. Горбунов, М.В. Уманская, Е.С. Краснова

Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти

Поступила 25.02.2014

Представлен анализ изменений химического состава и трофического состояния оз. Б. Васильевское по сравнению с уровнем 1991/92 гг. Химический состав воды озера изменился за прошедшие 20 лет с кальций-гидрокарбонатного на натрий-гидрокарбонатный, общая минерализация воды возросла в 1,4 раза. Трофический статус озера Б. Васильевское в 2013 г. по всем трем основным показателям является гипертрофным. Сравнение характера изменений, произошедших в оз. Б. Васильевское, с изменениями в двух других Васильевских озерах не дает оснований говорить о каком-либо положительном эффекте интродукции хлореллы ("альголизации"). Водоем нуждается в проведении серьезных реабилитационных мероприятий.

Ключевые слова: трофический статус, антропогенное эвтрофирование, городские озера.

Антропогенное загрязнение и эвтрофикация городских водоемов является повсеместной проблемой как в крупных, так и в малых городах. Причиной ухудшающегося состояния озер и прудов являются как промышленные источники, так и бытовые стоки с жилых территорий и рекреационное воздействие. Каскад Васильевских озер на северо-восточной границе г. Тольятти является достаточно типичным примером антропогенного эвтрофирования городских и пригородных озер.

Васильевские озера возникли в их теперешнем виде относительно недавно, в 1950-1960-е годы. На их экологическое состояние с самого начала влияли крупные поселения – село Васильевка и дачные массивы непосредственно по берегам, технологические водоемы, а также очистные сооружения ВАЗ и ТоАЗ и автодороги. Село Васильевка и дачные массивы – источники загрязнения биогенными элементами (азотом и фосфором); технологические озера (оз. Отстойник и сейчас практически исчезнувшее оз. Шламонакопительное), а также автодороги (из-за зимней обработки противогололедными смесями) солевого загрязнения (хлориды и сульфаты щелочных металлов). Очистные сооружения ВАЗа и ТоАЗа у северного берега оз. Б. Васильевское являются источниками комплексного загрязнения.

Озеро Б. Васильевское – самое крупное по площади в системе. Его площадь – около 75 га, однако максимальная глубина, в южной части, не

превышает 3,5 м, а средняя составляет всего около 1 м.

Исследования сотрудников ИЭВБ РАН, проведенные в конце 1980-х – начале 1990-х гг., позволили оценить трофическое состояние большинства озер как высокoevтрофное [3]. Кроме того, в 1999-2005 гг. на части озер проводились однолетние исследования с целью составления их экологических паспортов. Однако озеро Б. Васильевское не было охвачено паспортизацией, поэтому более "свежие" объективные данные о его состоянии после 1992 г. отсутствуют.

В мае 2013 г. НПО "Альгобиотехнология" (Воронеж) начало работы по интродукции в озеро Б. Васильевское штамма микроводоросли *Chlorella vulgaris* IPPAS C-111. По утверждению авторов метода [1, 2], интродукция хлореллы является эффективным методом предотвращения цветения синезеленых водорослей и улучшения качества воды в целом.

С июня по октябрь 2013 г. мы провели мониторинг состояния озера Б. Васильевское. Наряду с ним, параллельно были исследованы два других озера – Восьмерка и "Прудовиков" (Скрытое). Как мы предполагали, сравнение изменений состояния этих трех озер за прошедшее с 1992 г. время могло позволить хотя бы отчасти компенсировать отсутствие исходных данных о состоянии экосистемы оз. Б. Васильевское, и оценить влияние (если оно есть) интродукции в него хлореллы. В качестве отправной точки были использованы материалы статьи (Номоконова и др., 2001) о состоянии каскада Васильевских озер в 1991-1992 гг.

Горбунов Михаил Юрьевич, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, tuugor@pochta.ru; Уманская Марина Викторовна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, mvu@fromgu.com; Краснова Екатерина Сергеевна, младший научный сотрудник, krasnova-eck@mail.ru



Рис. 1. Схема Васильевских озер. Цветом показаны некоторые основные источники антропогенного загрязнения; не показаны дачные массивы и автодороги (обводная между оз. Б. Васильевское и Прудовиков; выезд на трассу М5 южнее оз. Пляжное и автодорога на ТоАЗ).

Объективным показателем интенсивности "цветения" воды является т.н. трофический статус водоемов. Его принято оценивать по нескольким показателям, таким, как прозрачность воды, концентрация общего фосфора и общего азота, кон-

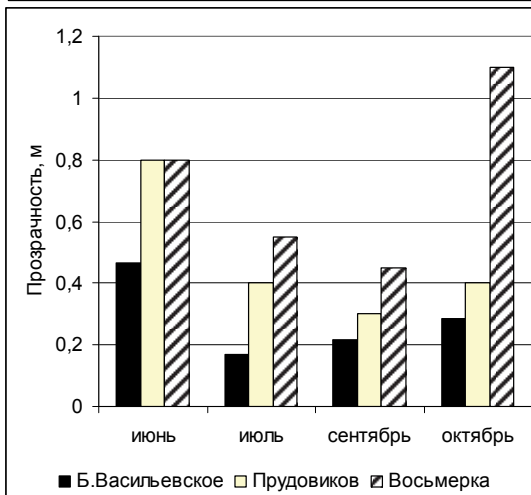
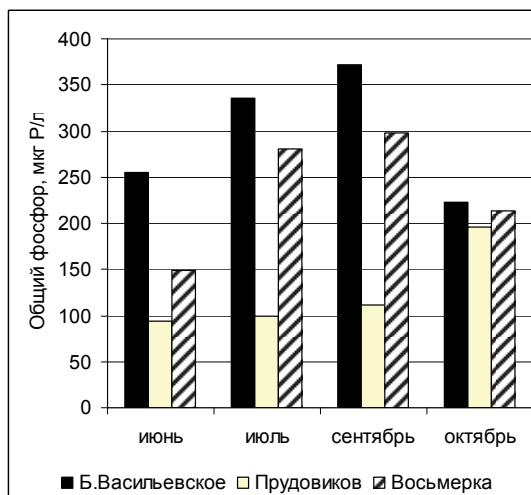
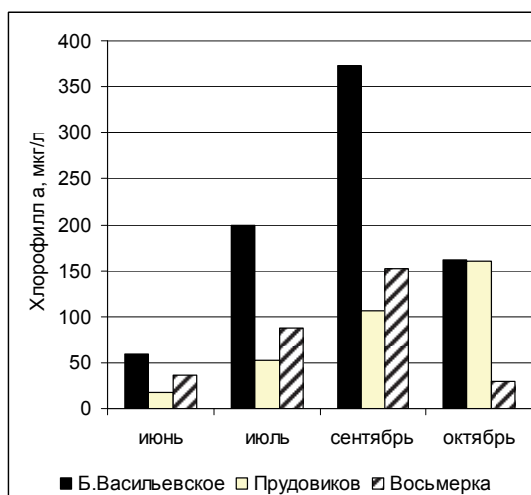


Рис. 2. Сезонная динамика содержания хлорофилла "а", общего фосфора и прозрачности воды в некоторых озерах Васильевского каскада в летне-осенний период 2013 г.

центрация хлорофилла и биомасса фитопланктона, а также по разнообразным биотическим индексам. Чаще других в мировой гидробиологической практике используется индекс трофического состояния Карлсона [4, 5], который рассчиты-

ется на основе прозрачности воды по диску Секки, концентрации хлорофилла "а" и общего фосфора. Чем выше концентрации и чем ниже прозрачность, тем выше трофический уровень, сильнее цветение и хуже экологическое состояние озера. В зависимости от величины индекса Карл-

сона (*TSI*), как индивидуального, рассчитанного по концентрации хлорофилла (*TSIc*), общего фосфора (*TSIp*) и прозрачности (*TSIt*), так и среднего (*TSIcp*), определяют трофический уровень водоема (табл. 1).

Таблица 1. Трофический статус озер по индексу Карлсона

TSI	Хлорофилл <i>a</i> (мкг/л)	Прозрачность, (м)	Общий фосфор, (мкг P/л)	Трофический статус
<30	<0.95	>8	<6	Олиготрофный
30-40	0.95-2.6	8-4	6-12	Олиготрофный , с аноксическим гипоплимнионом
40-50	2.6-7.3	4-2	12-24	Мезотрофный
50-60	7.3-20	2-1	24-48	Эвтрофный
60-70	20-56	0.5-1	48-96	Эвтрофный , с доминированием цианобактерий
70-80	56-155	0.25-0.5	96-192	Гипертрофный
>80	>155	<0.25	192-384	Гипертрофный , с постоянным доминированием цианобактерий

В 1991-92 г. по среднегодовой концентрации хлорофилла «а» озера Восьмерка, М. Рыбоводное и Б. Васильевское, по величинам TSI были гипертрофными, и только Пляжное и Трешка – умеренно эвтрофными, причем оз. Б. Васильевское уже в то время было наиболее эвтрофированным среди всех Васильевских озер (табл. 2).

Сезонные изменения в содержании хлорофилла «а», концентрации общего фосфора и прозрачности воды в трех исследованных озерах в 2013 г. показаны на рис. 2. В течение всего периода наблюдений в оз. Б. Васильевское наблюдались наибольшие концентрации хлорофилла «а» и общего фосфора, и наименьшая прозрачность. Тро-

фический статус озера Б. Васильевское в 2013 г. по всем трем основным показателям является гипертрофным (табл. 2). С 1991 года средняя концентрация хлорофилла увеличилась почти втрое, с 86 до 199 мкг/л. Уменьшилась прозрачность воды – в среднем с 65 до 28 см, а в период наибольшего "цветения" она снижалась до 10 см и менее. В двух других озерах трофический статус тоже увеличился по сравнению с 1991 г, и перешел границу эвтрофных и гипертрофных условий, однако концентрация хлорофилла, а значит, и степень "цветения" воды в них увеличилась в намного меньшей степени, чем в оз. Б. Васильевское (табл. 2).

Таблица 2. Изменение трофического статуса озер с 1991 по 2013 г.

Год	Озеро	Хл "а"	Робщ	Прозр. м	TSIc	TSIp	TSIt	TSIcp
1991	Б. Васильевское	85,9	600	0,65	74,3	96,4	66,2	79,0
	Прудовиков	44,9	105	1,2	67,9	71,3	57,4	65,5
	Восьмерка	62,3	161	1,2	71,1	77,5	57,4	68,6
2013	Б. Васильевское	198,6	295,9	0,3	80,6	85,9	79,3	81,9
	Прудовиков	83,9	125,4	0,5	71,1	73,2	71,8	72,0
	Восьмерка	76,4	235,1	0,7	71,0	82,4	65,5	73,0
<i>Разность 2013-1991</i>								
	Б. Васильевское	112,7	-304,1	-0,4	6,3	-10,5	13,1	3,0
	Прудовиков	39,0	20,4	-0,7	3,2	1,9	14,4	6,5
	Восьмерка	14,1	74,1	-0,5	-0,1	5,0	8,1	4,3

Примечание. Данные за 1991 г. - на основе материалов, представленных в статье Номоконова, Выхристюк, Тарасова, 2001; за 2013 г. приведены средние значения показателей с июня по октябрь.

Обращает на себя внимание, что содержание общего фосфора в оз. Б. Васильевское значительно снизилось по сравнению с 1991-1992 гг., в основном за счет снижения содержания минерального фосфора с 212 мкг/л в июле 1991 г [3] до 64 в июле и 48 мкг/л в среднем за год – в 2013 г. Это снижение, вероятно, обусловлено низкой растворимостью фосфатов в сильнощелочной среде,

которая в настоящее время характерна для озера (см. ниже)

Косвенную информацию о таксономическом составе водорослей могут дать данные о содержании вспомогательных пигментов, хлорофиллов "b" и "c" (рис. 3). Содержание хлорофилла "c" в оз. Б. Васильевское в июне и октябре 2013 г. не превышало 10%, а в остальные месяцы составляло около 2%, что указывает на небольшой

вклад диатомовых и других хромофитовых водорослей в общую биомассу фитопланктона. Содержание вспомогательного пигмента зеленых водорослей, хлорофилла "b", не превышало 10%, кроме июля, когда оно достигло 27%. Среднее содержание хлорофилла "b" в растущих клетках зеленых водорослей находится в пределах 30-35% содержания хлорофилла "a", поэтому такая величина указывает на очень высокий вклад зеленых водорослей, 77-90%, в общее содержание хлорофилла "a". Однако прямое микроскопирование проб не подтверждает такой вывод; во всяком случае, преобладающей по биомассе таксономической группой в фитопланктоне озера в июле 2013 г., как и в другие месяцы, оставались цианобактерии. Поскольку известно, что увеличение относительного содержания хлорофилла "b" в клетках зеленых водорослей происходит в результате азотного и фосфорного голодания [6, 7], вероятно, высокое содержание хлорофилла "b" связано в данном случае с неоптимальными условиями для зеленых водорослей, сложившимися в этот период.

В химическом составе воды озер также произошли существенные изменения. Во всех озерах существенно возросла общая минерализация воды. При этом, если в 1991 г. в них преобладали воды кальций-гидрокарбонатного класса, то в 2013 г. в озерах Б. Васильевское и Прудовиков состав воды соответствовал содовому (натрий-гидрокарбонатному) классу, а в оз. Восьмерка – натрий-сульфатному (табл. 3), причем кальций остался вторым по доле (25%) катионом только в оз. Восьмерка, а в двух остальных озерах – уступает по концентрации магнию. Изменения величины и типа минерализации, видимо, связаны с влиянием техногенных водоемов: "Шлаконакопительного" и "Отстойника", а также, возможно, с влиянием использования соли на автодорогах в зимний период. В оз. Б. Васильевское на химический состав воды оказывают также аварийные

сбросы из очистных сооружений. Так, в июне 2013 г. минерализация воды на центральной и южной станциях озера составляла 291 и 296 мг/л, а на северной станции, ближайшей к очистным сооружениям – 723 мг/л, при значительно большем содержании хлоридов и щелочных металлов. Уже в июле эти различия нивелировались.

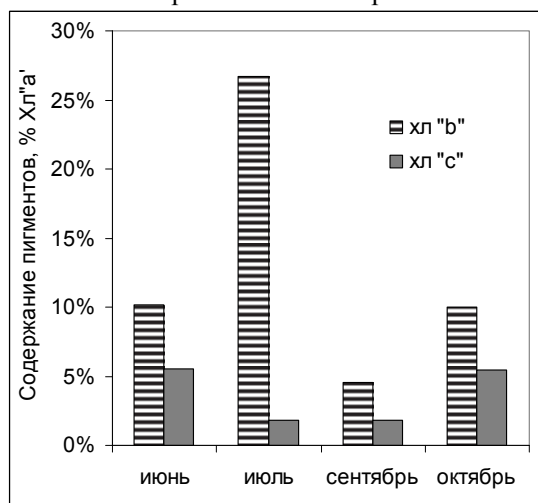


Рис. 3. Относительное содержание вспомогательных хлорофиллов "b" и "c" в фитопланктоне оз. Б. Васильевское в 2013 г.

В 2013 г. вода в озере не соответствовала санитарным и экологическим нормам по целому ряду гидрохимических показателей. рН воды с июня по октябрь составляет 9,1-10,7; в нескольких пробах была отмечена даже свободная гидроксильная щелочность. Концентрация свободного аммиака, токсичного для большинства гидробионтов, в нескольких пробах достигала 1 мг/л или 25 ПДК, а в среднем составила 0,6 мг/л т.е. 15 ПДК. Из трех исследованных озер экологическое состояние оз. Б. Васильевское было наиболее тяжелым.

Таблица 3. Особенности химического состава воды в озерах в 2013 г.

Озеро	рН	Минерализация			% CO ₃ ²⁻ в общем C _{неорг}	Свободный NH ₃ , мг/л
		мг/л	% от 1991 г.	Тип		
Б. Васильевское	9,6	301	144%	Na-HCO ₃		
Прудовиков	8,7	382	157%	Na-HCO ₃	28,6%	0,30
Восьмерка	8,7	643	207%	Na-SO ₄	27,6%	0,24

Таким образом, за прошедшие 20 с лишним лет состояние всех трех исследованных водоемов ухудшилось. При этом трофическое состояние оз. Б. Васильевское остается наихудшим из исследованных, и, вероятно, из всех Васильевских озер. Следовательно, нет никаких оснований утверждать, что альголизация оз. Б. Васильевское на сегодняшний день дала какие-то очевидные результаты.

Следует отметить, что теоретические основы метода альголизации сразу же подверглись критике специалистов-гидробиологов [8], а результаты его применения в большинстве случаев либо не поддаются объективной оценке из-за отсутствия исходных количественных данных (как в случае с оз. Б. Васильевское) либо, как минимум, неоднозначны [9-11]. В связи с этим нам представляется, что независимо от дальнейших изме-

нений в экосистеме озера, необходимо уже сейчас рассмотреть альтернативные методы реабилитации озера Б. Васильевское. Вероятно, его реабилитация потребует длительного и планомерного применения нескольких различных методов с обязательным контролем изменений в экосистеме озера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Богданов Н.И.* Биологическая реабилитация водоемов. 3 изд., доп. и перераб. Пенза: РИО ПГСХА, 2008. 126 с.
2. *Кульнев В.В., Лухтанов В.Т.* Биологическая реабилитация водоемов путем структурной перестройки фитопланктонного сообщества // Экологическая геология: теория, практика и региональные проблемы: Материалы третьей научно-практической конференции. г. Воронеж. 20-22 ноября 2013 г. Воронеж: «Цифровая полиграфия», 2013. С. 303-306.
3. *Номоконова В.И., Выхристюк Л.А., Тарасова Н.Г.* Трофический статус Васильевских озер в окрестностях г. Тольятти // Изв. Самар. НЦ РАН, 2001. Т. 3, № 2. С. 274-283
4. *Carlson R.E.* A trophic state index for lakes. // *Limnol. Oceanogr.* 1977. V.22, No.2. P. 361-369.
5. *Carlson, R.E. and J. Simpson.* 1996. A Coordinator's Guide to Volunteer Lake Monitoring Methods. North American Lake Management Society. 96 pp.
6. *Шендерова Л.В., Чемерис Ю.К., Венедиктов П.С.* Разрушение хлорофиллов у *Chlorella vulgaris* Beijer в условиях азотного голодания и последующее восстановление на среде с нитратом // Физиология растений. 1983. Т. 30. № 2. С. 355-359.
7. *Чемерис Ю.К., Попова А.В., Аратюнян А.А.* Влияние недостатка минерального питания на фотосинтетический аппарат хлореллы // Физиология растений. 1989. Т. 36. С. 49-56.
8. *Бульон В.В.* и др. О книге Н.И. Богданова «Биологические основы предотвращения «цветения» Пензенского водохранилища синезелеными водорослями». СПб. 2008. 17 с.
9. *Бутакова Е.А., Павлюк Т.Е., Ушакова О.С., Попов А.Н., Тютков О.В.* К вопросу об альголизации водоемов // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2013. № 5. С. 75-84.
10. *Силкин К.Ю., Валяльчиков А.А.* Анализ динамики развития фитоценозов Матырского водохранилища по данным спутникового мониторинга // Экологическая геология: теория, практика и региональные проблемы. Материалы третьей научно-практической конференции. г. Воронеж. 20-22 ноября 2013 г. Воронеж: «Цифровая полиграфия», 2013. С. 54-57.
11. *Наумова М.Э.* Анализ эффективности работы системы хозяйственно-питьевого водоснабжения в условиях чрезвычайной ситуации в городе Ижевске // Безопасность в техносфере: сб.ст / Науч.ред. В. М. Колодкин. Ижевск: Изд-во «Удмуртский университет», 2012. С. 173-182.

THE CONTEMPORAL ECOLOGICAL STATUS OF THE BIG VASILIEVSKOE LAKE

© 2014 M.Yu. Gorbunov, M.V. Umanskaya, E.S. Krasnova

Institute of Ecology of Volga Basin RAS, Togliatti

Changes in the chemical composition of water and in the trophic state of the lake B.Vasilievskoe since 1991/92 were analyzed. The chemical composition of water has changed from calcium-bicarbonate to sodium-bicarbonate type over the past 20 years; total mineralization of water increased 1.4-fold. The trophic state of the lake in 2013 is hypertrophic according to all three major indicators. Comparison of the changes that have occurred in the lake B.Vasilievskoe with two other Vasilievsky lakes fails to show any positive effect of the introduction of chlorella ("algalization") on the ecological conditions of the lake B. Vasilievskoe, so rehabilitations measures are still needed.

Key words: trophic status, anthropogenic eutrophication, urban lakes.