

# ИТОГИ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии.  
2018. – Т. 27, № 2. – С. 183-188.

УДК 574.5

DOI: 10.24411/2073-1035-2018-10028

## ТРОФИЧЕСКИЙ СТАТУС НЕКОТОРЫХ ПРИГОРОДНЫХ ОЗЕР Г. ТОЛЬЯТТИ (ВАСИЛЬЕВСКИЕ ОЗЕРА) В 2013–2015 ГГ.

© 2018 М.В. Уманская, М.Ю. Горбунов, Е.С. Краснова, В.В. Жариков

Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти (Россия)

Поступила 28 февраля 2018

В работе представлены данные о сезонной и межгодовой изменчивости основных показателей продуктивности - прозрачности воды, концентраций фосфора и хлорофилла а, и определен современный трофический статус четырех пригородных озер г. Тольятти (Самарская область). Исследования были проведены в период открытой воды в 2013–2015 гг. Во всех озерах в настоящее время наблюдаются признаки высокой степени антропогенного эвтрофирования. По сравнению с началом 1990-х гг. продуктивность озер увеличилась, и в настоящее время ее уровень изменяется от высокоэвтрофного до гипертрофного в ряду озер: Дачное – Восьмерка – Прудовиков – Б. Васильевское. Величины индекса Карлсона ( $TSI_p$ ) в значительной части проб превышают 80. В оз. Прудовиков и в оз. Б. Васильевское развитие фитопланктона лимитировано фосфором. В оз. Восьмерка и Дачное запасы фосфора в водной толще велики и при изменении экологической ситуации в них возможно увеличение "цветения" фитопланктона.

*Ключевые слова:* пригородные озера, продуктивность, индекс Карлсона, Самарская область.

**Umanskaya M.V., Gorbunov M.Yu., Krasnova E.S., Zharikov V.V. Contemporary trophic state of some suburban lakes of Vassilevsky lake system, Tolyatti.** – The paper presents data on the seasonal and interannual variability of the main indicators of productivity: water transparency, phosphorus and chlorophyll a concentrations of the four suburban lakes of Togliatti (Samara Region). Current trophic status of these lakes is determined. Studies were conducted in the period of open water in 2013–2015. In all lakes, at present, there are signs of a high degree of anthropogenic eutrophication. In comparison with the beginning of the 1990<sup>th</sup>, the productivity of lakes has increased, and at present its level varies from highly eutrophic to hypertrophic in a series of lakes: Dachnoe – Vosmerka – Proudovikov – B. Vassilevskoe. The values of the Carlson index ( $TSI_p$ ) exceed 80 in most of samples. In lakes Prudovikov and B. Vassilevskoe phytoplankton development is limited by phosphorus. In lakes Vosmerka and Dachnoe reserves of phosphorus in the water column are large and if the ecological situation changes, an increase of the phytoplankton bloom is possible.

*Key words:* suburban lakes, trophic state, Carlson index, Samara region.

### ВВЕДЕНИЕ

Городские и пригородные водоемы являются местом отдыха горожан, поэтому проблема

---

Уманская Марина Викторовна, кандидат биологических наук, mvumansk67@gmail.com;  
Горбунов Михаил Юрьевич, кандидат биологических наук, myugor1960@gmail.com;  
Краснова Екатерина Сергеевна, младший научный сотрудник, krasnova-ek@mail.ru;  
Жариков Владимир Васильевич, доктор биологических наук, vvzhar@mail.ru

сохранения их эстетической и рекреационной привлекательности имеет большое значение. Эвтрофирование, как правило, приводит к ухудшению качества водоема и уменьшению его использования как места отдыха. Поэтому необходимо проведение постоянного мониторинга и оценка их трофического состояния. Увеличение продуктивности водоема может происходить за счет усиленного развития фитопланктона в водной толще, за счет зарастания береговой линии и мелководной высшей водной растительностью, или в результате сочетания этих процессов (Изменение структуры..., 1988).

Для анализа и оценки уровня продуктивности водной толщи разработаны различные индексы, рассчитываемые на основе данных о прозрачности воды, концентрации биогенных элементов и фотосинтетических пигментов, и составе и биомассе фитопланктона (Carlson, 1977; Романенко и др., 1990; Carlson, Havens, 2005; Китаев, 2007; Семенченко, Разлуцкий, 2011).

Цель настоящей работы – проанализировать современное трофическое состояние четырех пригородных озер г. Тольятти (озера Б. Васильевское, Прудовиков (Грязное), Восьмерка и Дачное).

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование проводили в 2013–2015 гг. на четырех озерах из системы Васильевских озер. Подробная характеристика исследованных озер, периодичности отбора проб и особенностей химического состава воды в них были даны в нашей предыдущей работе (Горбунов и др., 2017).

Оз. Б. Васильевское является мелководным полимиктическим водоемом с аэробной водной толщей в период открытой воды. Редко летом в придонном слое воды наблюдаются гипоксические явления. Озера Прудовиков, Восьмерка и Дачное – более глубокие, димиктические водоемы с анаэробным летним гиполимнионом. Во всех озерах в зимний период регистрируется дефицит кислорода и заморные явления. По составу воды в настоящее время озера Б. Васильевское и Прудовиков являются содовыми, оз. Восьмерка – сульфатным, оз. Дачное – переменное, с примерно равным соотношением сульфат- и гидрокарбонат-ионов (Горбунов и др., 2017).

Определение концентраций биогенных элементов проводили стандартными методами (Унифицированные методы ..., 1973; Новиков и др., 1990), фотосинтетических пигментов – по многоволновым формулам (Горбунов, 2011). Для анализа многолетних изменений использованы данные о прозрачности воды, концентрациях общего фосфора и хлорофилла *a* в исследованных озерах в 1991 г. из работы В.И. Номенковой с соавторами (2001).

Расчет индексов трофического состояния (trophic state indices, TSI) проводили в соответствии с работой (Carlson, 1977). Различным уровням продуктивности соответствуют следующие интервалы величин индексов: олиготрофный – менее 40; мезотрофный – от 40 до 50; эвтрофный – от 50 до 70 (60–70 – высокоэвтрофный) и гипертрофный – более 70 (Carlson, Havens, 2005).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

**Прозрачность воды.** Прозрачность воды в исследованных озерах значительно изменялась как в разных водоемах, так и в различные сезоны в одном и том же озере (рис. 1). Во всех озерах наблюдалось увеличение прозрачности в весенний и позднесенний периоды. Наименьшая прозрачность во все годы наблюдений была зафиксирована в оз. Б. Васильевское, а наибольшая – в оз. Дачное. Значимых межгодовых различий в уровне прозрачности воды в озерах Б. Васильевское, Прудовиков и Восьмерка не обнаружено. В оз. Дачное величины прозрачности воды в 2014 и 2015 гг. различаются более существенно, что, возможно, связано с изменениями в составе фитопланктона озера. Придонные слои воды и поверхность грунта, за исключением прибрежных мелководий, во всех озерах практически постоянно испытывают дефицит света.

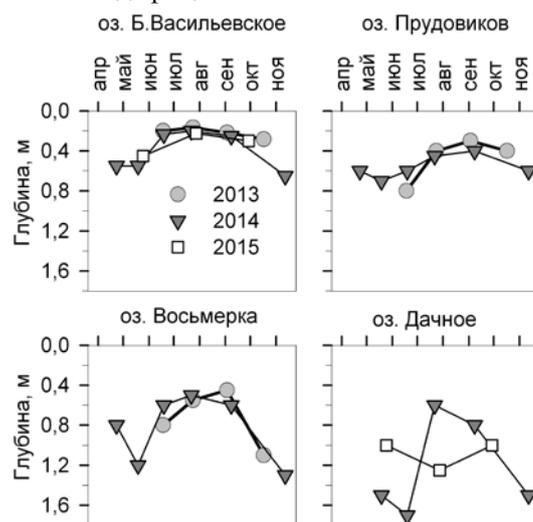


Рис. 1. Сезонные изменения прозрачности воды исследованных озер в безледные периоды 2013–2015 гг.

**Биогенные элементы.** Содержание общего фосфора в озерах и его сезонные изменения в поверхностном и придонном слоях воды показаны в табл. 1 и на рис. 2. Для водной толщи всех озер характерны значительные сезонные колебания концентрации общего фосфора (рис. 2). В оз. Б. Васильевское различия между концентрациями общего фосфора в поверхностном и придонном слоях воды минимальны; в остальных озерах, в зависимости от времени отбора проб, содержание общего фосфора в придонном слое в 2–12 раз выше, чем в поверхностном (рис. 2). Высокая концентрация фосфора регистрируется во всем гиполимнионе (рис. 3), проникновение фосфора в эпилимнион и поверхностные слои воды ограничено его по-

треблением специфическим микробным сообществом, развивающимся в хемоклине. Доля минерального фосфора в аэробных слоях воды во всех озерах, как правило, не превышает 50%, тогда как в анаэробных она может достигать 90% общего фосфора.

**Таблица 1**  
**Концентрации аммонийного азота, общего фосфора и хлорофилла *a* в водной толще исследованных озер в безледный период**

Озеро	Год	Аммоний, мг N/м <sup>3</sup>	Общий фосфор, мг P/м <sup>3</sup>	Хлорофилл "а", мг/м <sup>3</sup>
Б. Васильевское	2013	760±310	302±70	259±162
	2014	350±400	356±196	160±86
	2015	—	—	119±57
Прудовиков	2013	3390±3940	282±265	75±51
	2014	1450±1610	276±399	75±53
Восьмерка	2013	1780±1160	351±161	54±41
	2014	1210±1740	465±353	40±26
Дачное	2014	470±850	690±296	43±131
	2015	—	—	52±66

Примечание. Прочерк «—» здесь и в табл. 2. означает отсутствие данных.

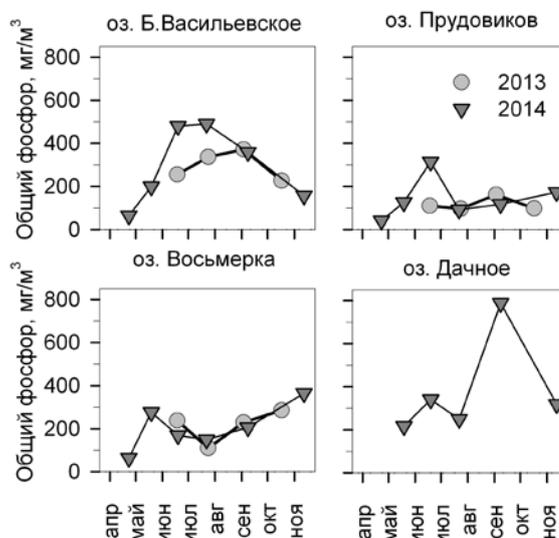
Концентрация аммонийного азота в озерах очень высока и подвержена значительным пространственным и временным колебаниям (табл. 1). На протяжении большей части периода наблюдений концентрация N-NH<sub>4</sub> превышала ПДК (Об утверждении..., 2016). Превышения ПДК были зарегистрированы в 57% проб в оз. Прудовиков, 67% – в оз. Восьмерка, 71% – в оз. Б. Васильевское и 79% – в оз. Дачное. Доля аммонийного азота составляла 40-80% от общего неорганического азота в воде в различные даты.

**Хлорофилл "а".** В течение безледного периода концентрация хлорофилла "а" (Хл"а") в каждом из исследованных озер меняется в соответствии с сезонной сукцессией развития фитопланктона (рис. 4).

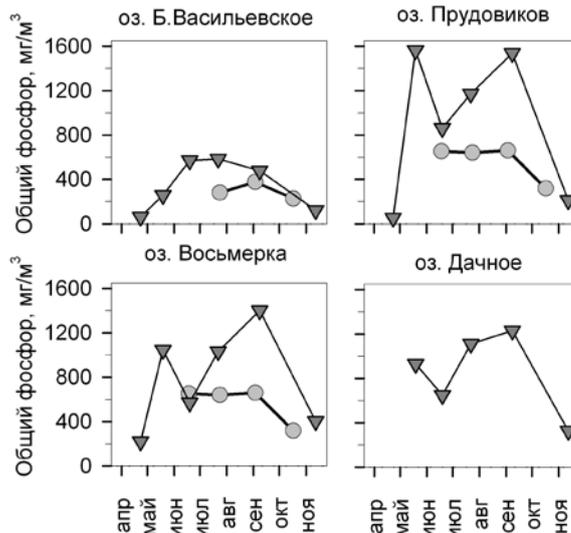
В оз. Б. Васильевское наблюдались существенные межгодовые различия в сезонной динамике концентрации Хл"а" (рис. 4).

Наибольшая средняя концентрация Хл"а" регистрировалась в оз. Б. Васильевское, наименьшая – в оз. Восьмерка (табл. 1).

Поверхностный слой воды



Придонный слой воды



**Рис. 2. Сезонные изменения концентрации общего фосфора в поверхностном и придонном слоях воды в безледные периоды 2013–2015 гг.**

Сезонные колебания содержания Хл"а" в придонном слое зависят, главным образом, от видового состава фитопланктона в эпилимнионе и скоростей оседания клеток в нижележащие слои воды, а также от скорости разложения отмерших клеток. Концентрация Хл"а" в поверхностном и придонном слоях воды и характер ее сезонных изменений очень похожи в мелководном полимиктическом оз. Б. Васильевское. В более глубоких стратифицированных озерах, содержание Хл"а" в придонном слое воды было существенно ниже, чем в поверхностном (рис. 4).

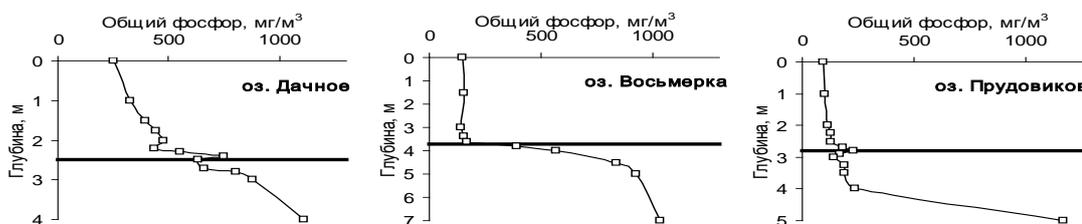


Рис. 3. Вертикальные профили концентрации общего фосфора в озерах в июле 2014 г. Жирная горизонтальная линия показывает глубину перехода Eh через 0

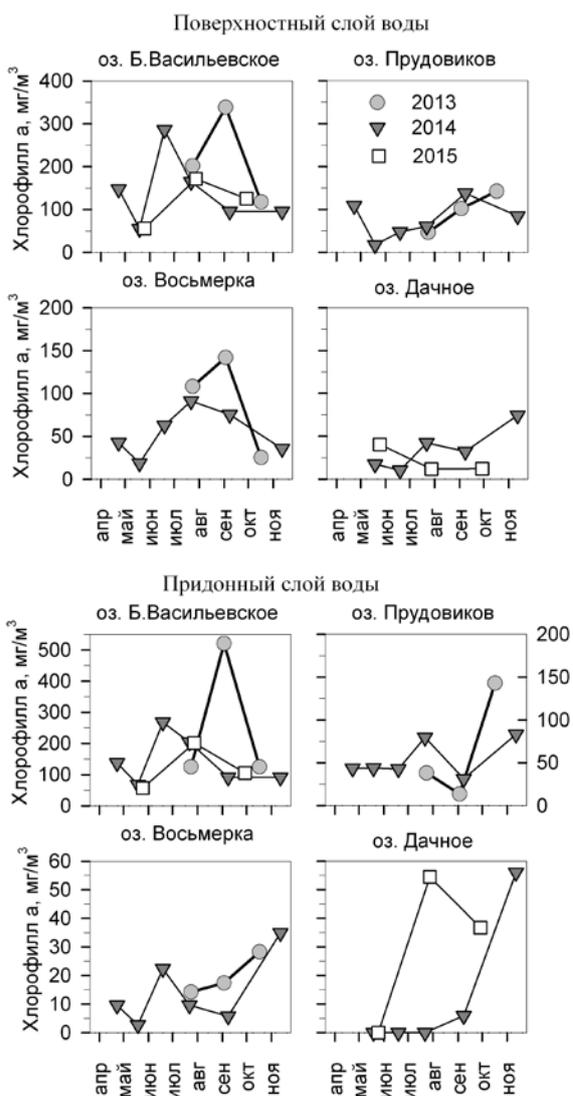


Рис. 4. Сезонные изменения хлорофилла *a* в поверхностном и придонном слоях воды в безледные периоды 2013–2015 гг.

В целом для озера Б. Васильевское, Восьмерка и Прудовиков средняя концентрация Хл"а" в поверхностном слое воды в 2014 г. снизилась на 15-17% по сравнению с аналогичным периодом 2013 г. Аналогичная тенденция наблюдалась и в 2015 г. для озера Б. Васильевское и Дачное – снижение средней концентрации Хл"а" на 19 и 24%, соответственно.

**Трофический статус озер.** В соответствии со схемой классификации трофического статуса озер OECD (Семенченко, Разлуцкий, 2010) по среднему за период открытой воды уровню прозрачности воды, концентрации общего фосфора и Хл"а" (рис. 1, табл. 1) все исследованные Васильевские озера в 2013–2015 гг. были гипертрофными.

На основе имеющихся данных мы рассчитали TSI (Carlson, 1977) по трем основным показателям – прозрачности ( $TSI_S$ ), концентрации общего фосфора ( $TSI_P$ ) и концентрации Хл"а" ( $TSI_C$ ), которые показаны в табл. 2. Распределение проб по градациям трофности для каждого показателя в каждом из озер по годам наблюдений для аэробной водной толщи озер в период открытой воды 2013–2015 гг. показано на рис. 5.

В 2013–2015 гг. величины среднегодового  $TSI_P$  во всех озерах, кроме оз. Прудовиков, превышали 80, т.е. также указывают на гипертрофное состояние. В некоторые даты зафиксированы более низкие величины  $TSI_P$ , соответствующие высокоэвтрофному (60-70) и даже эвтрофному (50-60) уровням продуктивности (рис. 5, оз. Б. Васильевское, Прудовиков и Восьмерка), но их доля была крайне мала в оба года наблюдений. В 2014 г. по сравнению с 2013 г. в оз. Восьмерка и Б. Васильевское доля проб с  $TSI_P > 80$  несколько снизилась, а в оз. Прудовиков – возросла (рис. 5).

Среднегодовой  $TSI_C$  во всех озерах в течение 2013–2015 гг. был немного ниже, чем  $TSI_P$ ; тем не менее, в озерах Б. Васильевское и Прудовиков он также соответствовал гипертрофному уровню. В оз. Восьмерка его величина находилась на границе между высокоэвтрофным и гипертрофным состоянием, в оз. Дачное – соответствовала высокоэвтрофному уровню (табл. 2, рис. 5). За период с 2013 г. к 2015 г. наблюдалась слабо выраженная тенденция к снижению величины  $TSI_C$ , выражающаяся в возрастании числа проб с более низкими значениями  $TSI_C$ . При этом среднегодовой  $TSI_C$  оставался неизменным (оз. Прудовиков) или

слегка снижался (на 1–6% в год в остальных озерах). Величины  $TSI_S$  во всех озерах также были меньше, чем  $TSI_P$  и хорошо соответствовали  $TSI_C$ .

**Таблица 2**  
**Средние за период открытой воды величины TSI в аэробной водной массе Васильевских озер**

Год	1991	2013	2014	2015
оз. Большое Васильевское				
$TSI_S$	66	83	75	77
$TSI_P$	96	86	86	–
$TSI_C$	74	83	79	78
оз. Прудовиков				
$TSI_S$	57	72	69	–
$TSI_P$	71	76	77	–
$TSI_C$	68	73	73	–
оз. Восьмерка				
$TSI_S$	57	65	64	–
$TSI_P$	77,5	84	82	–
$TSI_C$	71	71	67	–
оз. Дачное				
$TSI_S$	–	–	58	59
$TSI_P$	–	–	91	–
$TSI_C$	–	–	62	59

Величину  $TSI_P$  можно интерпретировать как «потенциальную» продуктивность, т.е. максимально возможный при данной концентрации фосфора уровень развития фитопланктона в водоеме. В отличие от него, индекс  $TSI_C$  отражает реально достигнутую биомассу фитопланктона или, иными словами, кормовую базу для консументов. Разность между ними,  $TSI_P - TSI_C$ , отражает степень лимитирования развития фитопланктона факторами, отличными от фосфора (световое голодание, токсические воздействия, избыточное выедание зоопланктоном и др.). В 2013–2014 гг. среди исследованных озер разность  $TSI_P - TSI_C$  минимальна в оз. Прудовиков (0–5), и лишь немного выше (3–7) в оз. Б. Васильевское. Однако в оз. Восьмерка и особенно в оз. Дачное величина этой разности достигает 10–15 и 25–30. Таким образом, в оз. Прудовиков и оз. Б. Васильевское, развитие фитопланктона лимитируется в основном фосфором, а в остальных двух озерах – иными факторами, и при изменении экологической ситуации в них возможно дальнейшее увеличение «цветения».

Положительная разность  $TSI_S - TSI_C$  указывает на высокий вклад в оптические свойства воды окрашенных органических соединений и "мертвой" органической и минеральной частей sestona; ее отрицательная величина – на доми-

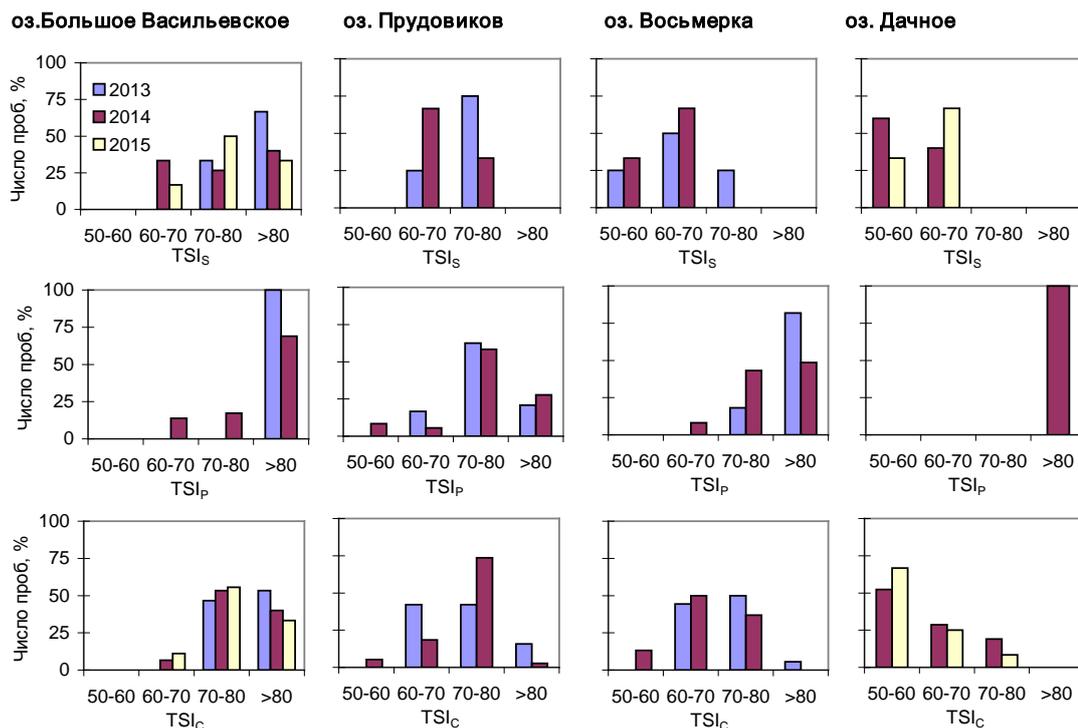
нирование в составе фитопланктона крупноклеточных или образующих крупные колонии видов фитопланктона (Carlson, Heavens, 2005). Анализ этой разности показал, что в настоящее время во всех озерах наблюдается хорошее соответствие между прозрачностью и содержанием Хл"а", следовательно, в sestone озер преобладает фитопланктон, причем преимущественно те виды, клетки которых имеют мелкие и средние размеры и не образуют крупных колоний (и только в мелководном оз. Б. Васильевское присутствует небольшое количество мертвого взвешенного вещества).

В начале 1990-х г. экологическое состояние озер Б. Васильевское, Прудовиков и Восьмерка было гипертрофным по классификации OECD и по величинам  $TSI_P$  и  $TSI_C$ , хотя в оз. Прудовиков средний  $TSI_C$  был чуть ниже границы гипертрофного уровня. За прошедшие 20 лет продуктивность озер увеличилась, и величины практически всех индексов выросли по сравнению с 1991 г. (табл. 2). Только в оз. Б. Васильевское зафиксировано снижение  $TSI_P$ , вероятно вызванное снижением растворимости фосфатов в сильно щелочной среде – pH воды в 2013–2015 гг. был 9,1–11,0 (Горбунов и др., 2014, 2017).

Надо отметить, что в 1991 г. разность  $TSI_S - TSI_C$  во всех озерах находилась в пределах от -8 до -11, что отражает преобладание в составе фитопланктона в тот период крупноклеточных или образующих крупные колонии видов. Изменения этого показателя ( $TSI_S - TSI_C$ ) хорошо соответствуют имеющимся данным о смене видового состава фитопланктона от доминирования крупных колоний *Microcystis* spp. в начале 1990-х в сторону все большего развития не образующих колоний нитчатых осцилляториевых цианобактерий родов *Planktolynghya*, *Geitlerinema* и др. в 2013–2015 гг. (Кривина, Тарасова, 2015).

Таким образом, с 1990-х годов исследованные озера стабильно являются высокопродуктивными и находятся на гипертрофной стадии своего развития. За 20 лет (к 2013 г.) в Васильевских озерах произошло увеличение их продуктивности по величинам  $TSI$ , сопровождающееся сменой видового состава фитопланктона. В период с 2013 по 2015 гг. наблюдалось слабо выраженное снижение продуктивности во всех озерах, которое отражает циклические колебания состояния их экосистем. В настоящее время развитие фитопланктона в оз. Прудовиков и в оз. Б. Васильевское лимитируется в основном фосфором, а в озерах Восьмерка и Дачное – другими абиотическими факторами, любое изменение которых может привести к дальней-

шему, возможно резкому, увеличению «цветения».



**Рис. 5. Распределение проб TSI по градам тропности в аэробной водной массе исследованных озер в 2013–2015 гг.**

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Горбунов М.Ю.** Вертикальное распределение бактериохлорофиллов в гумозных озерах Волжско-Камского заповедника (респ. Татарстан) // Поволж. экологич. журн. 2011. № 3. С. 280-293.
- Горбунов М.Ю., Уманская М.В., Краснова Е.С.** Современное экологическое состояние озера Большое Васильевское // Изв. Самар. НЦ РАН. 2014. Т. 16, № 1. С. 183-187.
- Горбунов М.Ю., Уманская М.В., Краснова Е.С.** Современное экологическое состояние некоторых пригородных озер системы Васильевских озер, г. Тольятти: Гидрохимический режим озер в 2013–2015 гг. // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2017. Т. 26, № 1. С. 28-40.
- Изменение структуры** экосистем озер в условиях возрастающей биогенной нагрузки. / Под ред. В.Г. Дробковой. Л.: Наука. 1988. 311 с.
- Китаев С.П.** Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2007. 395 с.
- Кривина Е.С., Тарасова Н.Г.** Фитопланктон урбанизированного водоема (на примере оз. Восьмерка, г. Тольятти, Самарская область) II. Количественное развитие, доминирующие виды и оценка качества воды // Изв. Самар. НЦ РАН. 2015. Т. 17, № 4-1. С. 203-209.
- Новиков Ю.В., Ласточкина К.О., Болдина З.Н.** Методы исследования качества воды водоемов. М.: Медицина, 1990. 400 с.
- 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.
- Об утверждении** нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения / Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 13.12.2016 г. № 552.
- Романенко В.Д., Окснюк О.А., Жукинский В.Н., Стольберг Ф.В., Лаврик В.И.** Экологическая оценка воздействия гидротехнического строительства на водные объекты. Киев: Наук. думка, 1990. 256 с.
- Семенченко В.П., Разлуцкий В.И.** Экологическое качество поверхностных вод. Минск: Беларус. навука, 2011. 329 с.
- Унифицированные методы** анализа вод / Под ред. Ю.Ю. Лурье. М.: Химия, 1973. 376 с.
- Carlson R.E.** A trophic state index for lakes // Limnology and Oceanography. 1977. V. 22, Issue 2. P. 361-369.
- Carlson R.E., Havens K.E.** Simple Graphical Methods for the Interpretation of Relationships Between Trophic State Variables // Lake and Reservoir Management. 2005. V. 21, No 1. P. 107-118.