

ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ СООБЩЕСТВА СВОБОДНОЖИВУЩИХ ИНFUЗОРИЙ ОЗЕРА БОЛЬШОЕ ВАСИЛЬЕВСКОЕ (Г. ТОЛЬЯТТИ, САМАРСКАЯ ОБЛ.) ЗА ДВАДЦАТЬ ЛЕТ

© 2015 С.В. Быкова

Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти

Статья поступила в редакцию 26.10.2014

Исследуется современное состояние сообщества свободноживущих инфузорий городского гипер-трофного оз. Б. Васильевское. Образование комплексов видов связано не с пространственной неоднородностью местообитаний по акватории, а скорее, с сезонными явлениями. Сравнительный анализ современного сообщества инфузорий с сообществом двадцатидвухлетней давности выявил тенденции изменения количественных и структурных показателей сообщества инфузорий, подтверждающих нарастание трофического уровня водоема. Это: возрастание численности, увеличение роли более мелких видов, изменение трофической структуры, уменьшение вклада миксотрофов, увеличение вклада инфузорий с большим индексом сапробности среды и т.д. Апробирование индекса антропогенного эвтрофирования не дало ожидаемых результатов
Ключевые слова: инфузории, планктон, видовое разнообразие, эвтрофикация

Городские водоемы это особые экосистемы, в которых на происходящие в них естественные процессы накладываются изменения, вызванные действием антропогенных факторов. Выбранный нами водоем – озеро Большое Васильевское – интересен тем, что это урбанизированный гипертрофный водоем [6] с мощным уровнем «цветения» воды и разного рода попытками борьбы с ним (например, работы по интродукции в озеро штамма микроводоросли *Chlorella vulgaris* IPPAS C-111 [1, 11]. В начале 90-х годов 20-го столетия оз. Б. Васильевское изучалось комплексной экспедицией ИЭВБ РАН и МГУ в рамках разработки территориально-комплексной схемы охраны окружающей среды г. Тольятти [12]. Исследования инфузорий проводились в составе экспедиции В.В. Жариковым и Е. Новиковым [7]. В 2013 г. комплексные исследования на озере были продолжены и спровоцированы, в первую очередь, начатой в мае 2013 г. силами НПО «Альгобиотехнология» (г. Воронеж) альголизацией озера. Наши исследования необходимы не только для независимой объективной оценки последствий альголизации, уже неоднократно подвергавшейся критике специалистами гидробиологами, альгологами и экологами [2, 14], но и для сравнения в будущем сообществ инфузорий в естественно-эвтрофированных и антропогенно-эвтрофированных водоемах. Наличие же после большого перерыва предварительных сведений для этой группы гидробионтов само по себе встречается довольно не часто и потому особо ценно. Это позволит проследить тенденции изменения состояния сообщества инфузорий и состояния водоема по индикаторным организмам сапробности.

*Быкова Светлана Викторовна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории экологии простейших и микроорганизмов.
E-mail: svbykova@rambler.ru*

Тот факт, что среди микрозоопланктонного сообщества (коловраток и инфузорий) наибольшее число показательных форм в списках сапробности, говорит о важности знаний об инфузориях при использовании, например, методов биологического анализа загрязнения вод. В последнее время довольно востребованы методы индикации качества воды по соотношению показательных видов или групп видов. Так, предложенный индекс антропогенного эвтрофирования Крениных (ИНЭК) [8, 13] построен на соотношении двух «близких в трофической цепи по занимаемым экологическим нишам и ряду биологических особенностей групп организмов, но по уровню организации относящихся к разным царствам» – инфузорий и коловраток. Он основан на том, что спектр питания коловраток и инфузорий аналогичен, реакция на воздействие трофического фактора сходна, однако коловратки более уязвимы, особенно к токсическому воздействию [13]. На примере оз. Б. Васильевское мы провели апробирование данного индекса.

В данной работе преследовали цель оценить современное состояние сообщества инфузорий оз. Б.Васильевское (видовой состав, видовое разнообразие, количественное развитие по акватории озера, с учетом вертикального распределения и т.д.), а также изменения, произошедшие за более чем двадцатилетний период как в сообществе инфузорий, так и в водоеме в целом; попытаться выяснить уровень антропогенного загрязнения, т.е. провести апробирование индекса ИНЭК.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Отбор проб для исследования инфузорий проводили в июне-октябре 2013 г. и в феврале 2014 г. стандартными гидробиологическими и

протозоологическими методами одновременно с отбором проб на другие гидробиологические и гидрохимические показатели в пелагической части озера. Для получения наиболее точных сведений о структуре микрзоопланктонного сообщества, инфузорий и коловраток как размерно близкие группы, отбирали батометром Руттнера и учитывали одновременным подсчитыванием в 300 мл воды. Идентификацию видов инфузорий осуществляли в живом и фиксированном состоянии. В данной статье видовой состав полностью не приводится, ввиду продолжающейся работы по его уточнению, пополнению и документированию с целью дальнейшей публикации. Видовое богатство оценивали по удельному (в отдельной пробе) и интегральному (во всем столбе воды) количеству видов. Количественный учет проводили на фиксированном сулемой ($HgCl_2$) материале. Продукцию инфузорий рассчитывали «физиологическим» методом [5, 15]. Сведения о сообществе инфузорий за 1991 г. приводятся по материалам В.В. Жарикова [7]. Полученные данные анализировали с использованием общепринятых в экологии индексов и статистических программ. Состояние водоема оценивали с помощью видов-индикаторов сапробности. Кроме того, провели апробацию индекса антропогенного эвтрофирования Крениных (ИНЭК) [8, 13]:

$$ИНЭК = C/(R+1),$$

где C – численность инфузорий (Ciliata), R – численность коловраток (Rotatoria)

Ординацию полученных данных в зависимости от факторов среды проводили на основе Canonical Correspondence Analysis (CCA) с помощью программы Canoco for Windows 4,5.

РАЙОН ИССЛЕДОВАНИЯ

Подробное описание системы оз. Б. Васильевское, его происхождение, газовый режим, трофический статус и т.д. дано в работах: [6, 12]. Наибольшее по площади из всей системы Васильевских озер, оз. Б. Васильевское вытянуто с юго-запада на северо-восток. Водоем испытывает антропогенную нагрузку (промышленную и рекреационную) от расположенных вблизи населенного пункта (с. Васильевка), дачных массивов, очистных сооружений ВАЗа и ТОАЗа, предприятий по производству удобрений, цемента, каучука и др. Станции отбора проб располагались следующим образом: станция 1 – в мелководной (глубина ≈ 1 м), зарастаемой макрофитами части водоема, недалеко от очистных сооружений; ст. 2 ($h \approx 1,5$ м) и ст. 3 ($h \approx 4$ м) – в непосредственной близости от села Б. Васильевское и автодороги (рис. 1). Толща воды на ст. 3 в летний период страфицирована.

Уже в начале 1990-х гг., трофическое состояние оз. Б. Васильевского считалось эвтрофным [12], а в 2013 г., по трем основным показателям



Рис. 1. Расположение станций отбора проб на акватории оз. Б. Васильевское в 2013-2014 гг.

(содержание хлорофилла, фосфора и прозрачность), оно оценивалось как гипертрофное [6]. За более чем двадцатилетний период произошли существенные изменения: средняя концентрация хлорофилла увеличилась почти втрое – с 86 до 199 мкг/л; уменьшилась прозрачность воды – в среднем с 65 до 28 см (вплоть до 10 см в отдельные даты); фосфор, хоть и снизился вдвое, все равно лежит в диапазоне, характерном для гипертрофных водоемов. При этом объяснение этого снижения кроется, по мнению М.Ю. Горбунова с соавторами [6], в нежелательных для озера последствиях, в частности, в высоких значениях активной реакции среды (повышении щелочности), связанной с массовым цветением воды цианобактериями: так, рН на протяжении всего летне-осеннего периода не опускался ниже 9,0, иногда достигала значений 10,9. Лишь в подледный период он снизился до 6,98-7,35. Произошло увеличение минерализации и смена ее класса с кальций-гидрокарбонатного на натрий-гидрокарбонатный. На химический состав воды в озере оказывают влияние и аварийные сбросы с очистных сооружений, расположенных поблизости. Вероятно, как их результат было зафиксировано локальное повышение минерализации (до 723 мг/л) в июне 2013 только в районе расположения очистных (ст.1) [6].

В период открытой воды вся толща воды, включая придонные горизонты насыщена кислородом и имеет щелочную реакцию среды; в подледный период она микроаэробна и значения рН близки к нейтральным. Достоверных отличий основных физико-химических показателей по всей акватории озера не выявлено, однако от мелководной ст.1 к относительно глубоководной ст. 3, отмечалась тенденция их (исключение – прозрачность), снижения (табл. 1).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Современное состояние сообщества инфузорий планктона оз. Б. Васильевское

Видовой состав. За указанный период 2013-2014 гг. в озере было выявлено 84 вида: 74 вида – в период открытой воды и 29 – в подледный пери-

Таблица 1. Средние (\pm стандартное отклонение) значения физико-химических параметров среды в оз. Б. Васильевское (июнь-октябрь 2013 г. и февраль 2014 г.)

Параметры	по станциям		
	станция 1	станция 2	станция 3
Глубина, м	1,0	1,5-2,0	4
Прозрачность, м	0,16 \pm 0,05	0,31 \pm 0,14	0,38 \pm 0,25
Температура, °C	16,6 \pm 10,9	16,1 \pm 9,8	15,6 \pm 9,0
pH	9,5 \pm 1,6	9,3 \pm 1,1	9,0 \pm 1,0
Eh	333 \pm 55	329 \pm 38	300 \pm 49
O ₂ , мг/л	12,5 \pm 10,8	8,4 \pm 4,3	6,5 \pm 2,9
O ₂ , %	131 \pm 96	92 \pm 51	70 \pm 33

Примечание. Прозрачность по станциям дана только для периода открытой воды

од. До 80% видов встречались менее чем в 35% проб. Частота встречаемости лишь 12 видов была выше 50%: *Cinetochillum margaritacium* Perty, 1852 (встречался в 92% проб), *Ctedoctema acanthocrypta* Stokes, 1884 (частота встречаемости – 92%), *Halteria grandinella* (O.F. Muller, 1773) (73%), эпифит *Vorticella* sp. (на водорослях *Anabaena*, *Microcystis*, *Asterionella*, *Scenedesmus*) (73%), *Coleps hirtus viridis* Ehrenberg, 1831 (69%), *Urotricha* spp. (69%), *Cyclidium* spp. (65%), *Hastatella aesculacantha* Jaroski, 1927 (62%), *Epistylis procumbens* Zacharias, 1897 (58%) *Coleps hirtus* (Muller, 1786) Nitzsch, 1827 (53%); *Lagynophrya* spp. (50%). Почти все они вошли и в группу доминирующих видов (табл. 2). В зимних пробах преобладали

миксотрофы *C. hirtus viridis*, *Pelagothrix* sp., *Frontonia leucas* с симбионтами. Причем среди инфузорий р. *Coleps*, наряду с симбионтсодержащими особями, было много особей, лишенных зоохлорелл. Лишь в микроаэробных и анаэробных условиях, при низких температурах зарегистрирован ранее не указанный вид, *Plagiocampa rouxi* Kahl, 1926, а также виды *Pelagothrix* sp., *Plagiopyla nasuta* Stein, 1860, *Frontonia leucas* (Ehrb., 1838), *Dexiotricha granulosa* (Kent, 1881), *Urocentrum turbo* (O.F. Muller, 1786), *Pseudovorticella* sp., *Uronema* sp., *Colpoda* sp. и др.

Сезонные изменения. В течение всего наблюдаемого нами периода от летних месяцев к зимним наблюдалось закономерное уменьшение числа

Таблица 2. Основные структурообразующие виды инфузорий в оз. Б. Васильевское

	по численности	по биомассе
весь сезон (июнь-октябрь)	1991 г.*	
	<i>Pseudohaplocaulus anabaena</i> (Stiller, 1940) (31%); <i>Rimostrombidium velox</i> (Faure - Fr., 1924) (10%); <i>Halteria grandinella</i> (O.F. Muller, 1773) (8%); <i>Coleps striatus</i> Smith, 1897 (8%); <i>Limnostrombidium viride</i> (Stein, 1867) (6%); <i>Spathidium spathula</i> (O.F. Muller, 1773) (5,9%); <i>Epistylis procumbens</i> Zacharias, 1897 (5,5%)	н/д
лето (июнь-июль)	2013 г.	
	<i>Cyclidium</i> spp. (10-26%); <i>Cinetochillum margaritacium</i> Perty, 1852 (16-19%); <i>Ctedoctema acanthocrypta</i> Stokes, 1884 (10-17%); <i>H. grandinella</i> (7-10%); <i>Vorticella</i> spp. (1,4-8%)	<i>E. procumbens</i> (9-46%); <i>Linostomella vorticella</i> (Ehrb., 1833) (34%); <i>Vorticella</i> spp. (1-10%); <i>Askenasia</i> spp. (1-6%); <i>Spathidium</i> sp. (5%); <i>Cyclidium</i> spp. (3-9%); <i>Ctedoctema acanthocrypta</i> (3-5%)
осень (сентябрь-октябрь)		
	<i>Cinetochillum margaritacium</i> (10-45%); <i>Ctedoctema acanthocrypta</i> (4,4-21%); <i>Vorticella</i> spp. (3,3-18%); <i>Rimostrombidium hyalinum</i> (Mirabdulaev, 1985) Petz & Foissner, 1992 (0,4-12%); <i>Cyclidium</i> spp. (2-10%); <i>Hastatella aesculacantha</i> Jaroski, 1927 (0,5-7,3%); <i>Rimostrombidium</i> sp. (1-6,4%); <i>Urotricha</i> spp. (2-5,6%); <i>Coleps hirtus viridis</i> Ehrenberg, 1831 (0,1-5,5%)	<i>E. procumbens</i> (1-44%); <i>Vorticella</i> spp. (7-16%); <i>Pelagovorticella natans</i> (Faure - Fremiet, 1924) (3-14%); <i>C. acanthocrypta</i> (3-5%); <i>Askenasia</i> spp. (1-12%); <i>C. hirtus viridis</i> (1-10%); <i>R. hyalinum</i> (8%); <i>Cyclotrichium viride</i> Gajewska, 1933 (7%)
зима (февраль)	2014 г.	
	<i>C. hirtus viridis</i> (61%); <i>Coleps hirtus</i> (Muller, 1786) Nitzsch, 1827 (16%); <i>Dexiotricha granulosa</i> (Kent, 1881) (7,8%); <i>Uronema</i> sp. (6,5%)	<i>C. hirtus viridis</i> (48%); <i>C. hirtus</i> (13%); <i>Frontonia leucas</i> (Ehrb., 1838) (11%); <i>Pelagothrix</i> sp. (9%); <i>Spirostomum teres</i> Cl. et L., 1859 (7%)

Примечание. н/д – нет данных; * – приводятся по данным [7].

видов и индекса Шеннона (как интегральных, так и средних удельных) (табл. 3). Другие показатели видового разнообразия (*d* и *E*) подтверждают тенденцию его снижения к периоду подледной съемки. Несмотря на это, в условиях гипертрофного водоема, каким является оз. Б. Васильевское, средняя численность в летний и зимний период довольно близки; при этом колебания численности внутри каждого сезона более значительны, чем между ними; средняя биомасса же достигает максимальных значений, в феврале. При этом, что вполне закономерно, продукция и суточный Р/В-коэффициент, напротив, зимой минимальны, а средняя масса особи в сообществе в 1,3-2 раза выше, чем в период открытой воды. Максимальная численность была зафиксирована в июне на ст. 1: на разных горизонтах она варьировала от 7277 до 8085 тыс. экз./м³ и, возможно, была спровоцирована выбросом сточных вод, приведшим к преобладанию мелких инфузорий и, как следствию, минимальной средней индивидуальной массе ($W = 6,29 \times 10^{-3}$ мкг). Максимальная биомасса за все время наблюдения регистрировалась в июне на ст. 3 у дна (138,9 мг/м³), где в микроаэробных условиях (58% насыщения кислородом) основной вклад в биомассу (до 61% общей биомассы) вносила крупная *Linostomella vortcella*, единственный раз встретившаяся в значительных количествах (455 тыс. экз./м³, или 8,2%) и до 9% – средняя *Pelagostrombidium fallax*.

Пространственное распределение (по станциям) сообществ инфузорий

Сходство видового состава инфузорий (по Серенсену) разных станций довольно высоко –

72-76%. Количественно сообщества инфузорий всех трех станций достоверно не отличаются. Тем не менее, прослеживаются некоторые тенденции в изменении характеристик сообщества вдоль продольной оси водоема. Наиболее богатыми по видовому составу оказались ст. 1 и ст. 3 (табл.). Первая – за счет богатых трофических условий, вторая – за счет вертикальной неоднородности абиотических факторов. По всем трем показателям – индексы разнообразия Шеннона, доминирования Симпсона и выровненности Пиелу – видовое разнообразие тоже выше на ст. 3. Однако по численности, продукции мелководная «более трофная» станция 1 превосходит остальные, по биомассе же – станция 3 за счет развития там крупных микроаэрофильных видов. Вопреки ожиданиям, различия в количественных характеристиках поверхностных и придонных горизонтов на мелководной станции необъяснимо выше.

Экологическая ординация сообщества инфузорий оз. Б. Васильевское в пространстве факторов среды (особенно, относительно векторов содержания кислорода и активной реакции среды), четко разделила все сообщество на комплексы видов, развивающихся в подледный период (справа) и период открытой воды (в центре) (рис. 2А). При этом первая («зимняя») группа, в свою очередь тоже неоднородна: в ней обособляются виды, развивающиеся в анаэробных условиях более глубоководной станции (ст. 3): *Frontonia leucas*, *Plagiocampa rouxi*, *Uronema sp.*, *Dexiotricha granulosa*, *Plagiopyla nasuta*; и виды мелководных станций, вероятно, с проникающим, хоть и в небольших (из-за ледового и снежного покрова) количествах светом. Поэтому в состав последних,

Таблица 3. Средние и размах значений показателей развития инфузорий в оз. Б.Васильевское в разные периоды 2013 -2014 гг.

Показатели		июнь-июль 2013 г.	сентябрь-октябрь 2013 г.	февраль 2014 г.
Количество видов (<i>n</i>), экз.	интегральное	66	55	29
	удельное	<u>24</u> 15-35	<u>19</u> 13-26	<u>16</u> 10-20
Индекс Шеннона, (<i>Hn</i>) бит/экз.	интегральный	3,91	3,88	2,58
	удельный	<u>3,35</u> 2,92-3,76	<u>3,05</u> 2,56-3,75	<u>2,07</u> 1,37-2,79
Индекс доминирования Симпсона (<i>d</i>)		<u>0,15</u> 0,10-0,22	<u>0,21</u> 0,09-0,32	<u>0,38</u> 0,19-0,58
	Индекс выровненности Пиелу (<i>E</i>)	<u>0,75</u> 0,57-0,84	<u>0,72</u> 0,59-0,83	<u>0,53</u> 0,34-0,75
Численность (<i>N</i>), тыс.экз./м ³		<u>3409</u> 1013-8085	<u>2610</u> 1416-4792	<u>3231</u> 409-5075
	Биомасса (<i>B</i>), мг /м ³	<u>48,5</u> 7,2-138,9	<u>28,0</u> 10,4-56,8	<u>60,9</u> 9,9-83,3
Продукция (<i>P</i>), мг /м ³		<u>44,0</u> 13,2-96,5	<u>14,2</u> 3,9-40,3	<u>9,7</u> 1,6-14,0
	Р/В сут.	<u>2,01</u> 1,04-3,70	<u>0,97</u> 0,73-1,42	<u>0,32</u> 0,28-0,34
Средняя масса особи в сообществе (<i>W</i>), мкг		<u>0,016</u> 0,006-0,026	<u>0,011</u> 0,007-0,021	<u>0,021</u> 0,016-0,025
	Индекс сапробности (<i>S</i>)	<u>2,64</u> 2,45-2,74	<u>2,57</u> 2,35-2,70	<u>2,80</u> 2,72-2,93

Таблица 4. Характеристика сообщества инфузорий на разных станциях оз. Б. Васильевское (* - средние ± ст. ошибка) в 2013-2014 гг.

	станция 1		станция 2		станция 3		В целом по станциям		
	пов.	дно	пов.	дно	пов.	дно	Ст.1	Ст.2	Ст.3
Видовое разнообразие									
<i>n</i>	23	35	19	19	21	16	24 ± 8	19 ± 2	19 ± 6
<i>Hn</i>	2,95	2,92	2,72	3,18	3,15	2,98	2,98 ± 0,76	2,92 ± 0,64	3,11 ± 0,45
<i>d</i>	0,23	0,22	0,29	0,20	0,18	0,20	0,22 ± 0,16	0,25 ± 0,14	0,18 ± 0,07
<i>En</i>	0,65	0,57	0,64	0,75	0,73	0,75	0,66 ± 0,17	0,69 ± 0,15	0,75 ± 0,08
Количественное развитие									
<i>N</i>	4627	8085	2365	1802	2469	2321	4860 ± 2162	2124 ± 1232	2351 ± 1378
<i>B</i>	51,0	74,1	37,7	19,8	43,3	45,7	51,1 ± 21,0	30,1 ± 24,9	42,6 ± 37,0
<i>P</i>	33,3	80,7	13,5	11,9	22,8	27,0	40,7 ± 25,1	12,8 ± 5,7	23,9 ± 28,2
<i>P/B</i>	1,47	2,18	0,88	1,80	1,09	0,89	1,74 ± 0,95	1,28 ± 1,11	1,01 ± 0,45
<i>W</i>	0,012	0,009	0,015	0,011	0,018	0,020	0,010 ± 0,003	0,013 ± 0,006	0,018 ± 0,007
Индикация состояния среды									
<i>S</i>	2,62	2,63	2,69	2,58	2,64	2,61	2,62 ± 0,08	2,64 ± 0,12	2,63 ± 0,18
ИНЭК	1,58*	0,51	0,68	0,87	0,63	0,79	1,31 ± 1,50	0,78 ± 0,61	0,71 ± 0,41
	5079**	-	4703	-	2379	409	5079	4703	1574

Примечание. Обозначения, как в табл. 2, «-» – нет данных. Значения ИНЭК: *в первой строке приводятся данные за период открытой воды (июнь-октябрь); ** во второй строке – за зимний период (февраль)

помимо гистофага *Coleps hirtus*, входят микротоффы – *Coleps hirtus viridis*, *Pelagothrix plancticola* и *Pelagothrix chlorelligera*, которые к тому же количественно преобладают. На рис. 2 видно, что наибольший «разброс» видов периода открытой воды происходит вдоль градиента температуры. В целом же, бóльшая часть этих видов сосредоточена у начала векторов абиотических факторов (за исключением температуры), что свидетельствует о том, что большинство массовых видов толерантны к тем диапазонам изменения абиотических условий, которые характерны для данного периода (рис. 2А). Причем, чем чаще и с бóльшей

численностью встречается вид, тем ближе к точке расхождения векторов он находится, что говорит об его «эврибионтности» или, скорее, более широкой экологической нише в данных условиях. Переменная вдоль оси ординат (к сожалению, конкретный фактор или комплекс факторов не выявлен) отражает, вероятно, сезонную смену сообществ в период открытой воды, поскольку, как видно на рис. 2В, вдоль этой оси постепенно меняются группы точек, характеризующих определенный временной интервал: точки 1-3 – июньские пробы, 4-7 – июльские и т.д.. Исключение составляет т. 14 (октябрьская проба, станция 1,

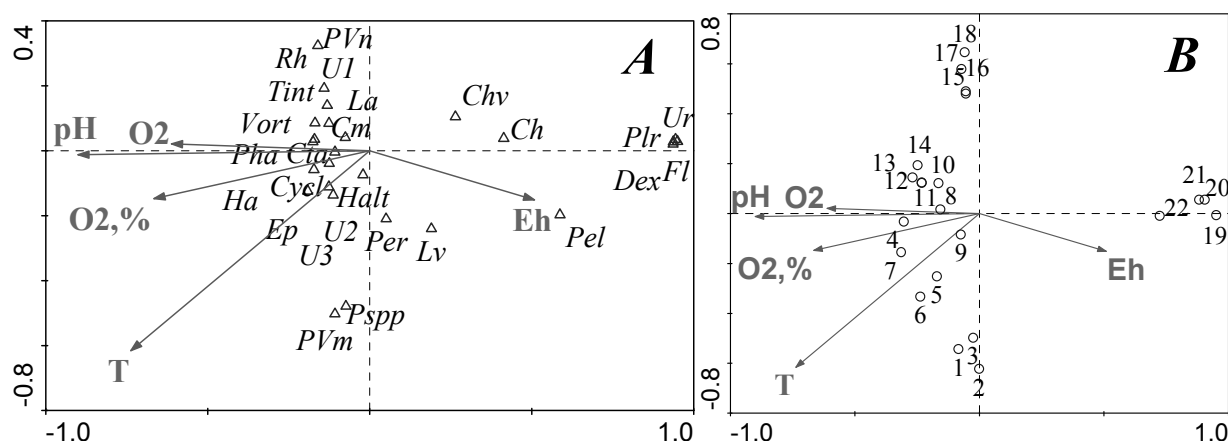


Рис. 2. Ординационные диаграммы ССА связи факторов среды и состава основных структурообразующих видов инфузорий в планктоне оз. Васильевского: ординация видов (А) и ординация проб (В).

Обозначения: O₂ – содержание кислорода, мг/л; O₂, % – насыщение кислородом; Т – температура. Коды видов и групп видов на рис. А: Cm – *Cinetochilum margaritaceum*, Ch – *Coleps hirtus*, Chv – *Coleps hirtus viridis*, Cta – *Ctedoctema acanthocrypta*, Cycl – *Cyclidium spp.*, Dex – *Dexiotricha*, Fl – *Frontonia leucas*, Halt – *Halteria spp.*, Ha – *Hastatella spp.*, Lag – *Lagynophrya spp.*, Lv – *Linostomella vorticella*, Psp – *Pelagostrombidium spp.*, Pel – *Pelagothrix spp.*, Per – *Peritricha spp.*, Pha – *Phascolodon vorticella*, Plr – *Plagiocampa rouxi*, Rh – *Rimostrombidium hyalinum*, Tint – *Tintinnidium spp.*, Ur – *Uronema spp.*, U1-U3 – разные размерные группы р. Urotricha, PVm – *Pelagovorticella mayeri*, PVn – *Pelagovorticella natans*, Vort – *Vorticella spp.*, Ep – *Epistylis procumbens*. Обозначения на рис. В: 1-3 – июньские пробы, 4-7 – июльские, 8-13 – сентябрьские, 14-18 – октябрьские, 19-22 – февральские

поверхностный горизонт), которая по каким-то причинам попала в группу сентябрьских проб. В целом же, такое распределение указывает на существование, скорее, сезонных комплексов, чем комплексов видов, приуроченных к разным местообитаниям (станциям), что свидетельствует об относительно однородном распределении видов по акватории озера, несмотря на различия станций по гидрологическим и морфометрическим параметрам.

Таким образом, окислительно-восстановительные условия (содержание кислорода, его насыщение, Eh) и активная реакция среды оказались теми факторами, которые разделили сообщество на комплекс видов открытой воды и зимний комплекс; а температура – дополнительным фактором, определяющим сезонную сукцессию только в относительно ограниченный период времени – период открытой воды.

Ординация выявила также интересную деталь во «взаимоотношениях» двух близких видов свободноплавающих вортицелл – *Pelagovorticella natans* и *Pelagovorticella mayeri*, а именно, их противоположное расположение вдоль переменной по оси ординат. Рис. 2В объясняет это их различиями в сезонных предпочтениях: *P. mayeri* встречается, в основном, в начале, а *P. natans* – в конце периода открытой воды. На наш взгляд, возможны и другие объяснения: преимущественному развитию *P. mayeri* в июне, вероятно, может способствовать повышение минерализации в результате залпового сброса в июне с очистных сооружений. Нами уже отмечался факт замещения *P. natans* другой вортицеллой – *P. mayeri* – при резком повышении минерализации, в результате пересыхания карстового водоема оз. Золотенка на Самарской Луке [3].

Сравнительная характеристика сообществ инфузорий в 1991 и 2013 гг.

Оценить изменение видового состава за последние 20 лет довольно трудно ввиду субъективности определения видов разными исследователями. Поэтому в данной статье большее внимание уделяется, в основном, характеру изменения количественных характеристик сообществ. Тем не менее, можно смело утверждать, что произошла резкая смена состава доминирующего комплекса, т.к. на протяжении практически всего периода открытой воды 2013 г. преобладали скутикоцилиаты (родов *Cyclidium*, *Cinetochillum*, *Ctedoctema*), которые в составе доминантов 1991 г. не указывались вовсе [7]. Массовыми остались *H. grandinella* и инфузории п/кл. Peritrichia: на различных планктонных водорослях эпифит *Pseudohaplocaulus anabaena* (Stiller, 1940) в 1991 г. (в 2013 г. это, возможно, представители р. *Vorticella*) и эупланктонная колониальная *E.*

procumbens. Возможно, некоторые виды определялись разными авторами как разные виды и даже роды: например *Limnostrombidium viride* (Stein, 1867) в 1991 г. и *Pelagostrombidium mirabile* (Penard, 1916) и *P. fallax* (Zach., 1895) в 2013 г.; *Rimostrombidium velox* (Faure - Fr., 1924) в 1991 г. и *Rimostrombidium lacustris* в 2013 г. и т.д.. К тому же Фойсснер [17] вообще считает, что *R. velox* довольно редок, и его часто путают с *R. lacustris*. Если это так, то в настоящее время и этот вид выпал из доминирующего комплекса. Характерно, что в 2013 г. почти все доминанты были индикаторами повышенного уровня органического загрязнения (α – мезосапробная зона), в отличие от 1991 г., когда среди доминантов присутствовал лишь один вид-индикатор, указывающий на β – мезосапробную (*H. grandinella*). *Opisthodon niemeccense* (Stein, 1859), *Pseudomicrothorax agilis*, *Trochilia* sp., *Monodinium chlorelligerum*, *Furgasonia* sp. встречались редко. Ни разу не отмечена нами и *Codonella cratera* (Leidy, 1887), довольно характерный и распространенный вид в пресноводных экосистемах Средней и Нижней Волги. Зато *Tintinnidium semiciliatum* Sterki, 1879 и свободноплавающие перитрихи *Pelagovorticella mayeri* (Faure-Fremiet, 1920), *Hastatella aesculacantha* Jaroski, 1927, *H. radians* Erlanger, 1890, встречавшиеся довольно редко, в основном, только в малых эвтрофных водоемах Самарской Луки, находили в оз. Б. Васильевское в каждой 5 пробе.

В целом, в современных условиях видовое богатство (количество видов) и видовое разнообразие по интегральному индексу Шеннона выше (табл. 5). Тем не менее, кривые доминирования-разнообразия сообщества инфузорий в 1991 и 2013 гг. схожи (рис. 3). Кроме того, при меньшем количестве видов кривая в 1991 г. отдаленно напоминает S-образную кривую, что свидетельствует о большем благополучии сообщества более двадцати лет назад. На это указывают и пониженный, по сравнению с 2013 г., индекс доминирования и большая выровненность сообщества (табл. 5), хотя и в 1991 г., и в 2013 г. на долю

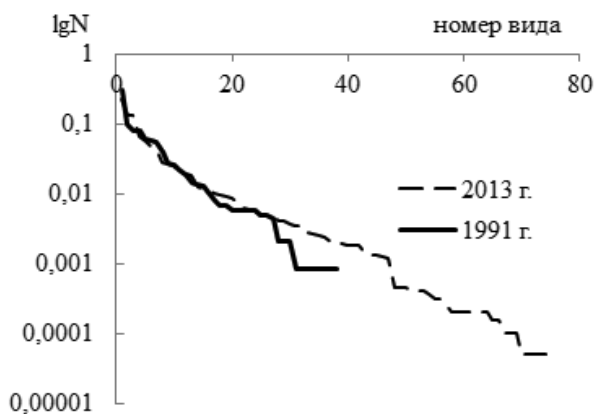


Рис. 3. Кривые доминирования-разнообразия сообщества инфузорий оз. Б. Васильевское в 1991 г. и 2013 гг.

Таблица 5. Сравнительная характеристика сообществ инфузорий оз. Б. Васильевское в 1991 и 2013 гг.

годы	видовое разнообразие				количественное развитие						S
	n	Hn	d	E	N	B	W	P	P/B сут.	M,%	
1991 г.	37	3,76	0,10	0,87	246,8	72,2	0,293	30,0	0,83	20,8	2,20
2013 г.	74	4,12	0,13	0,66	2973	37,3	0,013	27,8	1,45	3,9	2,59

Примечание. М, % - вклад миксотрофов, % общей численности; Сравниваются пробы только за период открытой воды: с июня по октябрь. Характеристика сообщества в 1991 г. приводится по данным [7].

первых трех доминантов приходится одинаковый процент общей численности – 48-49%.

Многие количественные показатели в 2013 г. также указывают на увеличение трофического статуса водоема, по сравнению с 1991 г.: это и увеличение на порядок численности (хотя ее значения явно недостаточны для водоема подобного трофического статуса [16]), и уменьшение средней индивидуальной массы особи в сообществе, и увеличение скорости оборота биомассы (увеличение среднего суточного P/B-коэффициента), и увеличение индекса сапробности. Из-за увеличения вклада видов мелких размерных классов, биомасса снизилась почти вдвое, при этом продукция практически не изменилась (табл. 5). Трофическая структура тоже претерпела, пусть и не столь значительные изменения, но все же косвенно указывающие на повышение трофического уровня водоема: увеличился вклад бактерио-детритофагов на 13%, а вклад альгофагов и гистофагов, напротив, снизился в 2 и 4 раза, соответственно (рис. 4). Снижение развития гистофагов может свидетельствовать о недостаточном развитии зоопланктона, остатками которого питаются гистофаги [7] в результате сложившихся при цветении цианобактериями неблагоприятных условий в водоеме. Цветение ухудшает также трофические условия и для альгофагов. Очень показательна тенденция изменения вклада особой экологической группы – миксотрофных инфузорий. Известно и подтверждено нашими многочисленными данными по др. водоемам [4], что с увеличением трофического статуса уменьшается роль миксотрофов. Так, в

период открытой воды 2013 г., по сравнению с 1991 г., вклад симбионтсодержащих инфузорий со стратегией обеспечения себя питательными веществами снизился более чем в 5 раз (табл. 5). Тем не менее, в микроаэробных и анаэробных условиях подледного периода велика роль миксотрофов (до 61%) с другой жизненной стратегией – обеспечения себя кислородом. Коррелятивная связь вклада миксотрофов с сапробностью носит отрицательный характер (как и в случае др. водоемов, например, оз. Кандры-Куль (респ. Башкортостан) [4]), однако она не является достоверной ($r = -0,21$).

Тенденции изменения состояния среды по инфузориям-индикаторам сапробности

В настоящее время, по сравнению с 1991 г., уровень органического загрязнения заметно вырос (рис. 5): сапробность среды в 1991 г. относилась к β - α – мезосапробной зоне [7], в 2013 г. – определена к α – мезосапробной зоне (рис. 5А). Это доказывает и распределение количества проб по зонам сапробности (рис. 5В). В 1991 г. 56% всех проб принадлежали β – мезосапробной зоне, а в 2013 г. 77% проб – α – мезосапробной зоне. В 2013 г. по числу видов наиболее представительными оказались индикаторы β - α – мезосапробной (29%) и α – мезосапробной (21%) зон. По вкладу в численность инфузории-индикаторы сапробности распределились следующим образом: индикаторы α - β – мезосапробной зоны (диапазон индекса сапробности – 1,1-1,5) составили $\approx 9\%$ суммарной численности всех индикаторов,

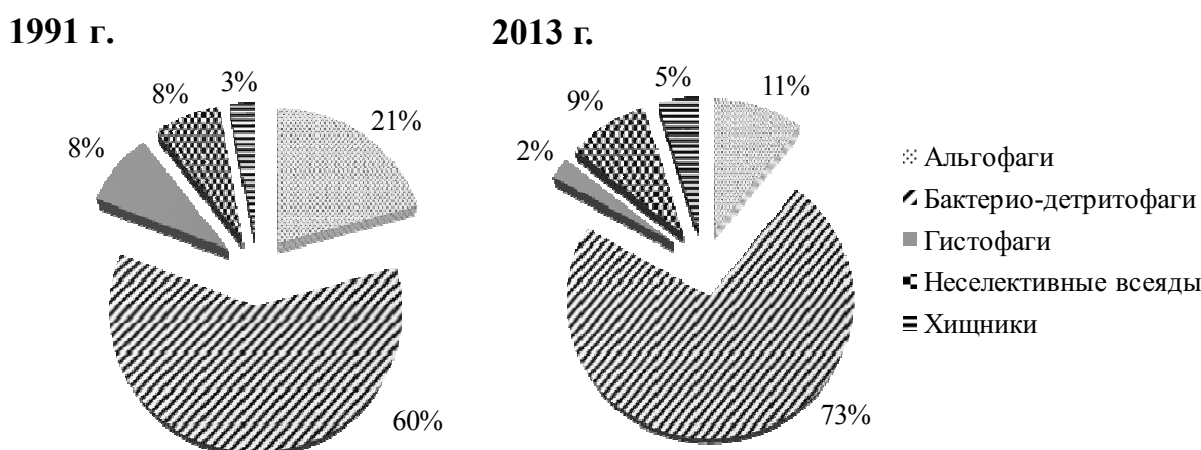


Рис. 4. Соотношение численности различных трофических групп инфузорий в оз.Б. Васильевское в 1991 и 2013 гг.

β – мезосапробной ($S = 1,6-2,0$) $\approx 4\%$, β - α – мезосапробной ($S = 2,1-2,5$) – 33% , α – мезосапробной ($S = 2,6-3,0$) – $\approx 52\%$, полисапробной ($S = 3,1-4,5$) – $3,4\%$. Достоверных различий в уровне органического загрязнения на различных станциях не выявлено (табл. 4). При этом в поверхностных горизонтах значения данного показателя максимальны, а его колебания по всей акватории минимальны ($S_{пов.} = 2,65 \pm 0,10$), в отличие от придонных слоев ($S_{дно} = 2,62 \pm 0,18$). В общем, за прошедшие 22 года произошли явные изменения уровня органического загрязнения озера в сторону увеличения; при этом его сезонные колебания заметно сгладились (рис. 5А).

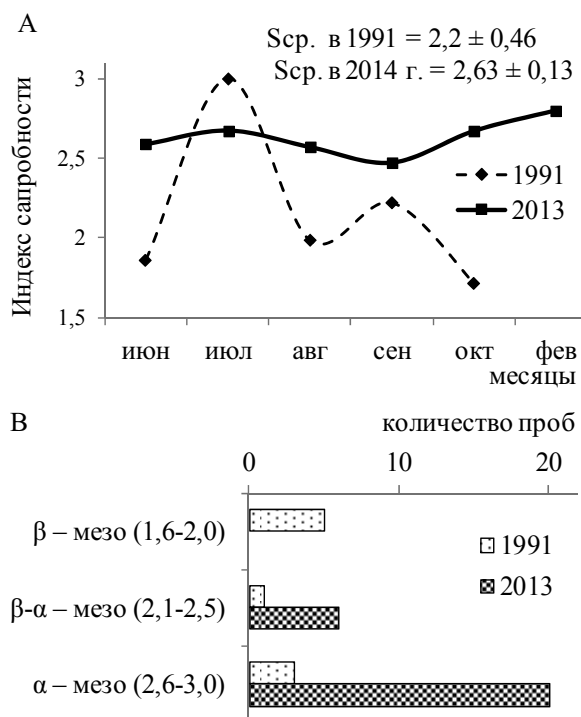


Рис. 5. Изменение индекса сапробности в 1991 и 2013 гг. (А) и распределение числа проб по зонам сапробности (В).

Обозначение: S ср. \pm стандартное отклонение

Апробирование индекса антропогенного эвтрофирования (ИНЭК) как экспресс-метода оценки состояния водоема [8, 13]

ИНЭК отражает уровень антропогенной нагрузки на экосистему по степени нарушенности структуры микрзоопланктонного сообщества, состоящего из коловраток и инфузорий. Утверждается, что индекс практически не зависит от типа и возраста водного объекта, климатической зоны и стадии естественного эвтрофирования [13]. При наличии загрязнения или антропогенного эвтрофирования происходит значительный сдвиг соотношения в сторону инфузорий из-за отставания в росте численности коловраток, несмотря на обилие пищи (ИНЭК принимает высокие значения), в отличие от естественного

эвтрофирования, которое происходит медленно; ценоз успевает адаптироваться и соотношение сохраняется либо незначительно изменяется [13]. На разных станциях оз. Б. Васильевское в период открытой воды 2013 г. ИНЭК колебался в поверхностных горизонтах от 0,63 до 1,58, в придонных от 0,51 до 0,87, т.е. в пределах диапазона естественных колебаний (табл. 4). От глубоководной ст. 3 к мелководной ст. 1 средний ИНЭК возрастал (табл. 4), что, согласно Крениной С.В. свидетельствует о несколько большей антропогенной нагрузке в районе расположения очистных сооружений. В целом, средний ИНЭК по озеру в летне-осенний период < 1 (ИНЭК = 0,78), что характерно для сравнительно чистых водоемов [8, 13] и явно не соответствует реальному состоянию исследуемой нами антропогенно гиперэвтрофной экосистемы оз. Б. Васильевское [6]. К тому же, не было выявлено достоверной корреляции ИНЭК с индексом сапробности ($r = +0,35$). В придонных горизонтах и у поверхности зимой станции 3 (более глубоководной) ИНЭК колебался в пределах 409-5079, что, по мнению Крениной [8], свидетельствует, в первую очередь, о значительном уровне антропогенного эвтрофирования, в то время как, скорее, это связано с токсическим воздействием сероводорода и сульфидов естественного происхождения при стратификации водных масс, к которому коловратки менее устойчивы, чем инфузории. К тому же, увеличение индекса в тысячи раз в зимний период (средний ИНЭК = 3232), по сравнению с летне-осенним (ИНЭК = 0,78), вряд ли свидетельствует о столь резком реальном изменении антропогенной нагрузки в этот период.

Авторы индекса использовали его для биологического анализа загрязненных вод, как правило, в условиях больших олиготрофных водоемов, подверженных антропогенному влиянию. Они признавали, что ИНЭК может не срабатывать и при «резко выраженных специфических особенностях структуры планктонного ценоза» [9]. В качестве примера приводилось «нетипичное соотношение инфузорий и коловраток» в оз. Байкал со значительным преобладанием инфузорий. Так, собственно озерные воды Байкала, согласно «отработанной на большом числе других водных объектов шкале состояния микрзоопланктонного сообщества», оценивались как «очень грязные с крайне нестабильным биоценозом» (ИНЭК варьировал от 10 до 3000), что заведомо неверно. К тому же С.В. Кренина [13] указывала на возможные искажения значений индекса по разным причинам, одна из которых вызвана, например, многолетними циклами развития отдельных групп (в частности, коловраток). Чтобы подтвердить или опровергнуть это, необходимы многолетние ряды данных.

В целом, наши данные доказывают, что не во всех условиях (например, в гиперэвтрофных

водоемах, условиях анаэробного гипоплимниона и т.д.) ИНЭК работает и является достоверным показателем нарушения структуры гидробиоценоза. В нашем случае он не отражает реальный уровень эвтрофикации. Возможно, преобладание по численности коловраток над инфузориями в период открытой воды – это результат давно сформировавшихся отношений в условиях длительного естественного и, возможно, даже длительного антропогенного эвтрофирования, к которому компоненты микрозоопланктона успели приспособиться. Кроме того, массовое развитие коловраток может быть спровоцировано и сопутствующим угнетением состояния рачкового зоопланктона в условиях мощного цветения [10], сопровождающего, как правило, процесс эвтрофирования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, современное состояние сообщества инфузорий озера характеризуется относительной однородностью сообщества по всей акватории водоема с незначительным выделением «более трофной» станции в районе очистных сооружений. Во временном аспекте четко выделяется лишь «зимний» комплекс. Но и в период открытой воды, несмотря на относительное постоянство одних и тех же доминантов, показано некоторое различие видовых группировок по сезонам. Показано, что после двадцатидвухлетнего перерыва видовой состав инфузорий озера увеличился почти вдвое. Все изменения, произошедшие с сообществом, напрямую или опосредованно отражают увеличение трофического статуса водоема и его последствия – цветение воды синезелеными водорослями. Это и смена видового состава доминирующего комплекса (перитрихи, хореотрихи и олиготрихи в 1991 г. сменились в 2013 г. на скутикоцилиты, являющиеся индикаторами большего органического загрязнения), и увеличение численности, и уменьшение среднего размера особи в сообществе, увеличение вклада бактерио-детритофагов и уменьшение вклада гистофагов и альгофагов, а также явное увеличение вклада инфузорий индикаторов α -мезосапробной зоны. Уменьшение роли миксотрофов – еще одно подтверждение тенденции продолжающегося повышения трофического уровня. Однако, выявить, носит оно естественный или антропогенный характер довольно трудно: ИНЭК не дал четкого ответа. Вообще, апробирование индекса антропогенного эвтрофирования не подтвердило его универсальность. Показано, что в условиях небольших гипертрофных водоемов он не работает. Связано это, вероятно, с большим количеством, по сравнению с олиготрофными водоемами, недоучтенных факторов (в частности, токсическое влияние при-

родных факторов естественного происхождения, например: отсутствие кислорода и присутствие сероводорода в стратифицированных водоемах; угнетение рачкового зоопланктона в период массового развития синезеленых водорослей и т. д.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богданов Н.И. Биологическая реабилитация водоемов. 3 изд., доп. и перераб. Пенза: РИО ПГСХА, 2008. 126 с.
1. Бульон В.В., Воякина Е. Ю., Королев А.Е., Костяев В.Я., Кудерский Л.А., Лаврентьева Г.М., Ляшенко О.А., Мельник М.М., Никулина В.Н., Трифонова И.С., Терешенкова Т.В. О книге Н.И. Богданова «Биологические основы предотвращения «цветения» Пензенского водохранилища синезелеными водорослями». СПб. 2008. 17 с.
1. Быкова С.В. Фауна и экология инфузорий малых водоемов Самарской Луки и Саратовского водохранилища // Автореф. дисс...канд.биол.наук. Тольятти, 2005. 20 с.
1. Быкова С. В. Развитие миксотрофных инфузорий в водоемах Нижней, Средней Волги и Камы как отражение особых условий существования // Изв. СНИЦ РАН. Т.15, №3(7), 2013. С. 2224-2233.
1. Винберг Г.Г. Температурный коэффициент Вант-Гоффа и уравнение Аррениуса в биологии // Журн. общ. биол. 1983. Т. 44, вып. 1. С. 31–42.
1. Горбунов М.Ю., Уманская М.В., Краснова Е.С. Современное экологическое состояние озера Большое Васильевское // Изв. Самар. науч. центра РАН, 2014. Т. 16. № 1. с. 183-187.
1. Жариков В.В., Быкова С.В. Свободноживущие инфузории // Жариков В.В., Горбунов М.Ю., Быкова С.В., Уманская М.В., Тарасова Н.Г., Буркова Т.Н., Шерышева Н.Г., Ротарь М.Ю. Протисты и бактерии озер Самарской области / Под редакцией д.б.н. В.В. Жарикова. Тольятти: Кассандра, 2009. 240 с.
1. Кренева С. В. Информационный индекс эвтрофирования / С. В. Кренева, В. П. Седакин, К. В. Кренева // Проблемы прикладной экологии. М., 2002. Т. 1. С. 77-83.
1. Кренева С.В., Лазарев М.И., Потапская Н.В., Мельник Н.Г. О нетипичности количественных соотношений инфузорий и коловраток в озере Байкал // Вестник Южного Научного Центра РАН. 2008. Т. 4. № 4. С. 57-62.
10. Крючкова В.И. Трофическое взаимодействие зоо- и фитопланктона М.: Наука, 1989. 124 с.
11. 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.
12. 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.
13. Матишов Г.Г., Кренева С.В., Муравейко В.М., Шпарковский И.А., Ильин Г.В. Биотестирование и прогноз изменчивости водных экосистем при антропогенном загрязнении. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2003. 468 с.

14. XI съезд Гидробиологического общества при Российской академии наук : тез. докл., Красноярск, 22–26 сент. 2014 г. [Электронный ресурс] / гл. ред. М. И. Гладышев, отв. за вып. И. И. Морозова. – Электрон. дан. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2014. – 178 с.
15. Хлебович Т.В. Методы изучения состояния кормовой базы рыбохозяйственных водоемов // Сб. тр. ГосНИОРХ. Ленинград, 1983. Вып. 196. С. 57–60.
16. Beaver J.R., Crisman T.L. The role of ciliated protozoa in pelagic freshwater ecosystems. *Microb. Ecol.* 1989, 17. P. 111-136.
17. Foissner W., Berger H., Schaumduerg J. Identification and Ecology of Limnetic Plancton Ciliates // Informationsberichte des Bayern. Hf. 3/99. Munchen: Landesamtes für Wasserwirtschaft, 1999. 793 p.

TRENDS IN THE STATE OF FREE-LIVING CILIATES COMMUNITY OF LAKE GREAT VASILYEVSKOYE (TOGLIATTI, SAMARA REGION) FOR TWENTY YEARS

© 2015 S.V. Bykova

Institute of Ecology of the Volga River Basin RAS, Togliatti

The current state of the community of free ciliates from urban hypertrophic lake Great Vasilyevskoe was investigated. The formation of species groups isn't due to spatial heterogeneity of habitats in the waters, but to seasonal phenomenon. Comparative analysis of the modern community of ciliates with the community of twenty-two years ago revealed trends in quantitative and structural parameters of ciliates community to confirm the increase of this pond trophic level. These are an increasing of the abundance, increasing the role of smaller species, changing trophic structure, reducing the contribution of mixotrophic ciliates, increasing the contribution of ciliates with greater index environment saprobity etc. Testing of anthropogenic eutrophication index (INEC) didn't give the expected results.

Key words: ciliates, plankton, species diversity, eutrophication.