

УДК 574.5 (28):581

doi:10.23968/2305–3488.2017.21.3.13–34

Кривина Е. С., Тарасова Н. Г.

**ТРАНСФОРМАЦИЯ АЛЬГОФЛОРЫ ТЕХНОГЕННЫХ ОЗЕР
(НА ПРИМЕРЕ Г. ТОЛЬЯТТИ)**

UDC 574.5 (28):581

doi:10.23968/2305–3488.2017.21.3.13–34

Krivina E. S., Tarasova N. G.

**THE PHYTOPLANKTON TRANSPHORMATION OF SOME
TECHNOGENIC LAKES (TOLYATTI)**

Аннотация

В настоящее время проблема восстановления и очищения водоемов антропогенно трансформированных территорий все более актуальна. В данной работе рассматриваются изменения, происходящие в техногенных водоемах после прекращения интенсивной эксплуатации. В качестве объектов исследования выступили два значимых водоема системы Васильевских озер Самарской области – оз. Отстойник и оз. Шламонакопительное. Степень трансформации и ее характер оценивали, исходя из особенности таксономических перестроек, изменения показателей количественного развития, структуры доминирующего комплекса и видовой разнообразия фитопланктона за более чем 20-летний период. Преобладание позитивных признаков трансформации позволило предположить наличие высоких способностей экосистем к самовосстановлению даже в условиях обременения аграрно-культурной нагрузкой. Результаты исследования могут послужить базой для разработки методов рекультивации и восстановления систем, переживших техногенный пресс.

Ключевые слова: фитопланктон, техногенные водоемы, трансформация экосистемы, эвтрофирование.

Abstract

At present, the problem of restoration and purification of water bodies of anthropogenically transformed territories is becoming more and more urgent. In this paper the changes occurring in man-made water reservoirs after the cessation of intensive exploitation are considered. As objects of research, two significant reservoirs of the Vasilievskaya lakes system of the Samara region – Lake Otstoinik and lake Shlamonakopitel. The degree of transformation and its character was assessed based on the peculiarities of taxonomic rearrangements, changes in the indicators of quantitative development, the structure of the dominant complex, and the species diversity of phytoplankton for more than 20 years. The predominance of positive signs, suggested the existence of high capacity of ecosystems to self-repair, even in conditions of encumbrance of agrarno-cultural load. The results of the research can serve as a basis for the development of methods for reclamation and restoration of systems that survived the technogenic press.

Keywords: phytoplankton, technogenic reservoirs, ecosystem transformation, eutrophication.



Авторы

Кривина Елена Сергеевна

младший научный сотрудник лаборатории экологии простейших и микроорганизмов Института экологии Волжского бассейна РАН.
E-mail: pepelisa@yandex.ru.
Тел. 8 (937) 667-42-72

Тарасова Наталья Геннадьевна

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории экологии простейших и микроорганизмов Института экологии Волжского бассейна РАН.
E-mail: tnag@mail.ru

Authors

Elena Sergeevna Krivina

Research Assistant of the laboratory of ecology of protozoa and microorganisms Institute of ecology of the Volga river basin RAS.
E-mail: pepelisa@yandex.ru.
Тел. 8 (937) 667-42-72

Natalia Gennad'evna Tarasova Ph.D. of Biological Sciences, Senior Research Officer of the laboratory of ecology of protozoa and microorganisms Institute of ecology of the Volga river basin RAS.
E-mail: tnag@mail.ru

Введение

Исследования фитопланктона малых водоемов урбанизированных территорий, направленные на выявление и изучение изменений в их экосистемах под влиянием антропогенной нагрузки, привлекают все больше внимания [1; 6; 8; 13; 14; 17–19; и т. д.]. Урбанизация водосборной территории, особенно вкуче с техногенной эксплуатацией водоема, приводит к изменению водного баланса, химизма и качества воды, и, как следствие, к перестройкам сложившихся биоценозов [16]. Фитопланктон – это интегральный показатель совокупного воздействия факторов среды, отражающий общее состояние водоема, уровень трофии и степень загрязнения вод [19].

Сейчас, когда все больше внимания уделяется проблеме очищения и восстановления водоемов, выродившихся в результате деятельности человека, исследования, в которых приведены данные о трансформации водных экосистем после прекращения интенсивной техногенной эксплуатации, представляют особый интерес.

Цель работы – изучить реакцию фитопланктона малых техногенных водоемов урбанизированного ландшафта в условиях изменения характера и степени антропогенной нагрузки.

Материал и методы исследования

В работе представлены материалы, полученные при исследовании альгофлоры техногенных озер Отстойник и Шламонакопительное. Данные водоемы входят в состав системы Васильевских озер, расположенной на северо-восточной границе г. Тольятти. Оз. Отстойник – искусственный водоем, созданный как приемник отходов азотно-тукового производства ОАО «КуйбышевАзот», оз. Шламонакопительное – естественный водоем,

служивший приемником золы и шлаков Тольяттинской ТЭЦ. До 1994 г. они находились в режиме активной эксплуатации, но впоследствии объемы сбросов были снижены, а в 1996 г. и вовсе прекращены [15]. Оз. Шламонакопительное в конце 90-ых в результате заиливания разделилось на ряд мелких водоемов глубиной до 0,5 м, а в настоящее время стало эфемероидным.

Питание озер осуществлялось в основном за счет атмосферных осадков и в меньшей степени подземных вод. В настоящее время водоемы продолжают испытывать нагрузку от фоновое загрязнения предприятий Северного промышленного узла, а также со стороны расположенного в непосредственной близости дачного массива и в летний период – рекреационную от отдыхающих.

По очертанию акватории озера относятся к III типу – овальные с лопастными отчленениями [10], по основным морфологическим показателям (табл. 1) – к классу малых и очень малых озер [12]. Подробный анализ изменений гидрохимических параметров данных приведен в ранее опубликованных работах [15].

Таблица 1. Морфология озер

Годы	Происхождение	Площадь (м ²)	Длина (м)	Объем (м ³)	Средняя глубина (м)
оз. Шламонакопительное					
1991–1992	естественное	205024	596	307536	1,5
2001		31232	244	38298	0,5
оз. Отстойник					
1991–2014	искусственное	96559	446	135183	1,4

Пробы фитопланктона отбирали раз в 10 дней в период с июня по сентябрь 1991 г., с мая по октябрь 1992 г. и в 2001 г. В 2014 г. пробы отбирали ежемесячно с мая по сентябрь только в оз. Отстойник, т. к. оз. Шламонакопительное стало эфемероидным.

Отбор материала производили батометром Руттнера, фиксировали 40%-ным раствором формалина, концентрировали методом прямой фильтрации. Подсчет клеток проводили в камере «Учинская» объемом 0,01 мл, биомассу рассчитывали по методу приведенных геометрических фигур [9]. Для определения видовой принадлежности водорослей пользовались определителями серий «Определители пресноводных водорослей СССР» и «Susswasserflora von Mitteleuropa» [4; 5; 7; 11; 21–24 и др.].

В качестве критериев разнообразия и выравниваемости альгофлоры использовали информационные индексы Шеннона-Уивера и Пиелу, рассчитанные по численности и биомассе [20]. Оценку сапробности вод



проводили по методу Пантле и Бука в модификации Сладечека, используя известные индикаторные значения сапробности отдельных видов [23; 25; 26; 28].

Результаты исследования и обсуждение

В составе альгофлоры оз. Отстойник за весь период исследования было выявлено 146 видов, разновидностей и форм водорослей, в оз. Шламонакопительное общее видовое богатство было почти в 2 раза ниже – 76 таксонов рангом ниже рода (табл. 2). Наибольшим таксономическим богатством выделялись отделы Chlorophyta и Cyanophyta, далее следовал отдел Bacillariophyta. Традиционно в большинстве озер умеренной зоны 2-е место занимают диатомовые водоросли, различие в данном случае связано со спецификой эксплуатации водоемов [6; 8; 14; 17; 18]. Этим также можно объяснить отсутствие в водоемах представителей некоторых отделов. Так, например, золотистые водоросли – в основном представители чистой воды, и многие из них рассматриваются как индикатор на отсутствие загрязнения воды [11].

Таблица 2. Таксономическая структура альгофлоры озер

Отдел	Число				Число таксонов			
	классов	порядков	семейств	родов	видовых	внутри-видовых	Всего	%
Cyanophyta	2/2*	3/3	8/7	22/11	37/16	0/0	37/16	25/21
Bacillariophyta	2/2	4/4	9/6	11/8	19/14	2/1	21/15	14/19
Cryptophyta	1/1	1/1	1/1	2/3	6/8	0/0	6/8	4/10
Dinophyta	1/1	2/2	3/2	5/3	10/3	0/0	10/3	6/4
Raphidophyta	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	0/0	1/0	1/0
Euglenophyta	1/1	1/1	1/1	2/2	4/4	0/1	4/5	3/7
Chlorophyta	3/3	4/3	13/10	29/13	61/23	0/0	61/23	41/30
Streptophyta	1/1	1/1	2/2	2/3	7/5	0/0	7/6	5/8
Итого	12/11	17/15	38/29	74/43	145	2	146/76	100

* Над чертой для оз. Отстойник, под чертой для оз. Шламонакопительное

Таблица 3. Таксономические параметры видового богатства альгофлор изучаемых водоемов

	Суанophyta	Bacillariophyta	Cryptophyta	Dinophyta	Raphidophyta	Euglenophyta	Chlorophyta	Streptophyta	Всего
оз. Отстойник									
1991–1992 г.	16/34,5	4/8,9	0/0	0/0	0/0	0/0	24/52,2	2/4,8	46
2001 г.	19/26,4	15/20,8	3/4,2	6/8,3	0/0	1/1,4	26/36,1	2/2,8	72
2014 г.	32/25,4	19/15,1	6/4,8	9/7,1	1/0,8	4/3,2	48/38,1	5/5,6	126
Всего	36/24,7	21/14,4	6/4,1	9/6,2	1/0,7	4/2,7	60/41,1	9/6,2	146
оз. Шламонакопительное									
1991–1992 г.	9/29,0	7/22,6	6/19,4	0/0	0/0	2/6,5	6/19,4	1/3,2	31
2001 г.	15/21,1	14/19,7	8/11,3	3/4,2	0/0	4/5,6	21/29,6	6/8,6	71
Всего	16/21,1	15/19,6	8/10,5	3,9	0/0	5/6,6	23/30,3	6/7,9	76

Уровень насыщенности таксонов							
Отделы	оз. Отстойник				оз. Шламонакопительное		
	1991–1992 г.	2001 г.	2014 г.	Всего	1991–1992 г.	2001 г.	Всего
<i>число семейств/число порядков</i>	2,11	1,63	2,11	2,17	1,64	1,93	1,93
<i>число родов/число семейств</i>	1	1,81	1,82	1,92	1	1,59	1,59
<i>число видов/число родов</i>	2,37	1,51	1,8	1,92	1,67	1,48	1,59
<i>число внутривидовых таксонов/число видов</i>	0,02	0,01	0,02	0,01	0,03	0,04	0,04

В 1991–1992 г. (период интенсивной техногенной нагрузки) в оз. Отстойник альгофлору можно было охарактеризовать как зелено-синезеленую, в оз. Шламонакопительное – как синезелено-диатомовую с заметным участием криптофитовых и зеленых водорослей (табл. 3). Таксономические спектры различных рангов были невелики, а насыщенность основных таксономических единиц была мала, что характерно для



экосистем с очень жесткими условиями существования, в т. ч. для водоемов, испытывающих мощное воздействие токсических загрязнителей.

После 1994–1996 гг. (сброс отходов прекращен) в водоемах стали происходить важные структурные изменения. Так, в 2001 г. произошло увеличение общего видового богатства фитопланктона (в 1,56 раза – в оз. Отстойник, в 2,29 раза – в оз. Шламонакопительное), снизилась таксономическая значимость синезеленых и зеленых водорослей, а участие диатомей, напротив, возросло. Альгофлоры водоемов трансформировались в зелено-синезеленую с заметным участием диатомовых водорослей.

Вместе с тем, начиная именно с этого момента, в водоемах существенно увеличилось число видов, разновидностей и форм представителей отделов водорослей, способных к миксотрофному типу питания (криптофитовые, динофитовые, эвгленовые). Причем, до этого момента представители динофитовых водорослей в составе планктона не регистрировались. Миксотрофы могут питаться как готовыми органическими веществами (осмотрофно), так и путем активного захвата пищевых частиц (голозойно). Это позволило предположить, что после прекращения техногенной эксплуатации в водоемах стало появляться доступное для питания органическое вещество.

Безусловно, позитивным моментом трансформации является возрастание абсолютной величины таксономических спектров на фоне общего увеличения видового богатства. Однако говорить о полностью позитивной перестройке мы не можем по ряду причин. Так, уровень внутритаксонной насыщенности по-прежнему остается невысоким, а среди разноранговых таксонов все так же преобладают моно- и дитипические. Вероятно, это было связано с остаточными загрязнениями и усилившейся аграрно-культурной нагрузкой.

В 2014 г. в оз. Отстойник таксономическая трансформация продолжается не столь ярко, затрагивая преимущественно низкоранговые таксоны. Роль отделов водорослей, представляющих лицо альгофлоры, практически не меняется. При этом видовое богатство водорослей продолжает увеличиваться. По сравнению с 2001 г. число видов, разновидностей и форм водорослей выросло в 1,72 раза.

На начальном этапе исследования альгофлоры планктона каждого из озер характеризовались высокой видовой специфичностью (табл. 4). После изменения характера и уровня антропогенной нагрузки в 2001 г.

наблюдается возрастание средства видового состава водорослей водоемов. Вполне вероятно, что к 2014 г. эта тенденция была бы продолжена, если бы оз. Шламонакопительное не превратилось в эфемероидный водоем.

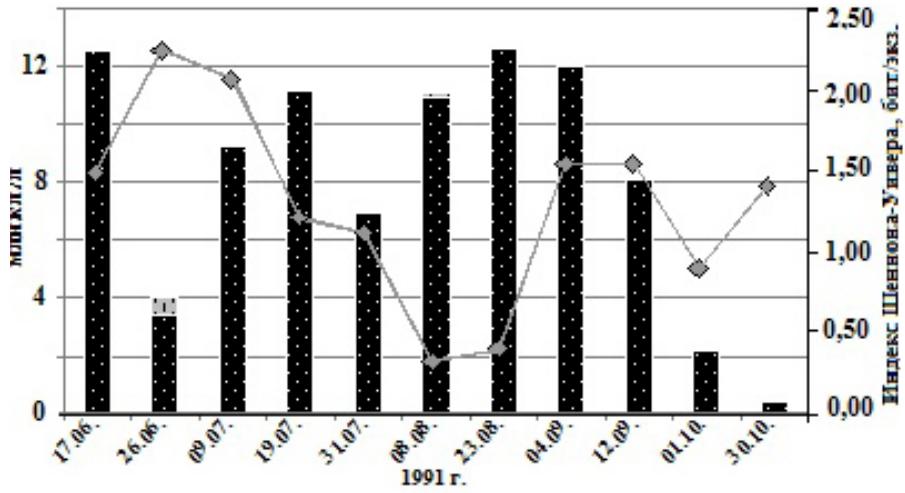
Таблица 4. Степень видового сходства альгофлор изучаемых водоемов

Водоем		оз. Отстойник			оз. Шламонакопительное	
		1991–1992	2001	2014	1991–1992	2001
оз. Отстойник	1991–1992	100	45	36	29	25
	2001	45	100	70	32	50
	2014	36	70	100	26	55
оз. Шламонакопительное	1991–1992	29	32	26	100	47
	2001	25	50	55	47	100

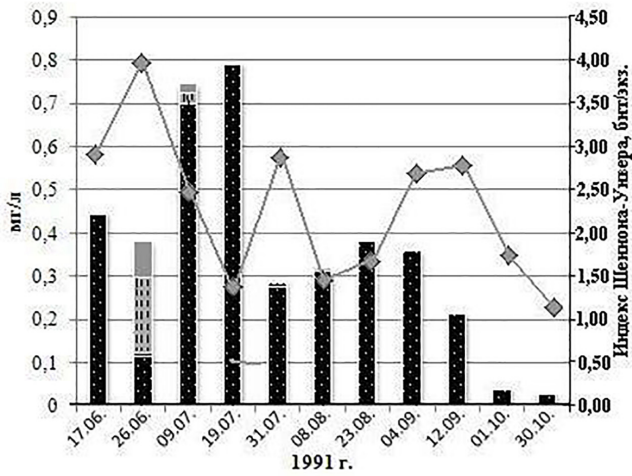
Показатели количественного развития водоемов на каждом из этапов имели свои особенности. В оз. Отстойник основной вклад в формирование численности на протяжении всего исследования стабильно вносили сине-зеленые водоросли (цианопрокариоты), чему во многом способствовало отсутствие течения и небольшая глубина водоема. Доля данной группы водорослей от средневегетационной численности в период с 1991 по 2001 гг. составляла более 95%, в 2014 г. несколько меньше – 87% за счет более активного развития зеленых водорослей (рис. 1а). Отмечалось значительное увеличение средневегетационной и максимальной численности водорослей: в 1991–1992 гг. – 9,49 млн кл./л при максимальной 16,04 млн кл./л; 2001 г. – 68,65 млн кл./л при максимальной 150,39 млн кл./л; 2014 г. – 154,19 млн кл./л при максимальной 497,15 млн кл./л. В сезонной динамике численности 1991–1992 гг. отмечалось несколько подъемов (в середине июня, второй декаде июля (1991 г.), в конце августа – начале сентября). В 2001 г. и в 2014 г. кривые численности фитопланктона носили одновершинный характер. Пик развития в 2001 г. приходился на конец августа, в 2014 г. – на середину июля. Это смещение можно объяснить уменьшением дробности отбора.



а)



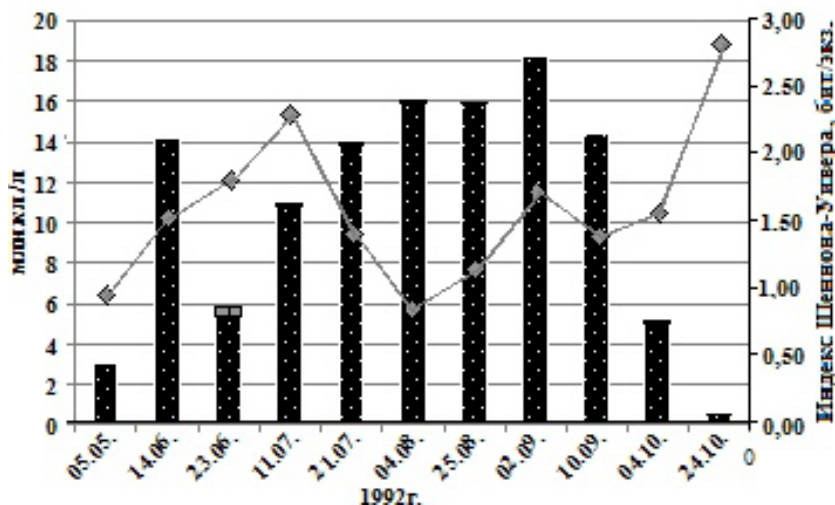
б)



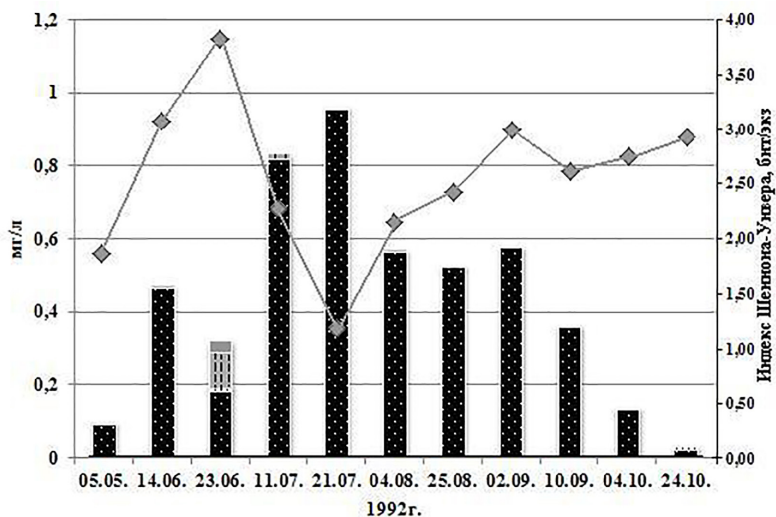
■ Cyanophyta # Bacillariophyta ■ Cryptophyta ■ Dinophyta // Raphidophyta ■ Euglenaphyta
■ Chlorophyta ■ Streptophyta

— Индекс Шеннона-Уивера, бит/экз.

а)



б)

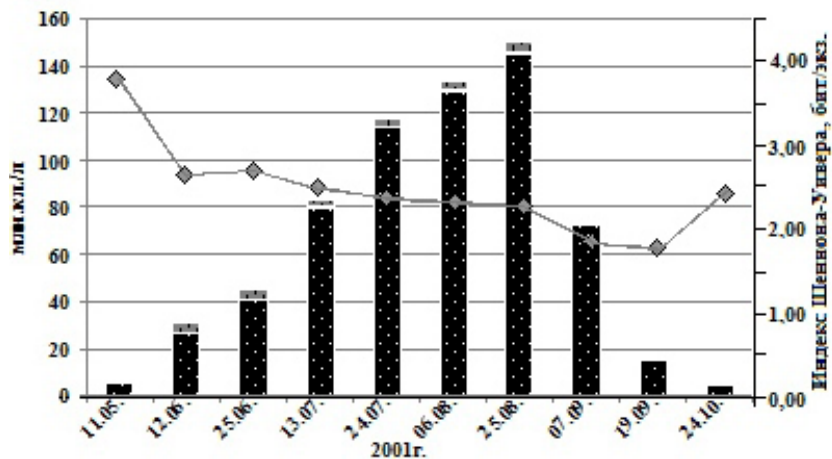


■ *Cyanophyta* # *Bacillariophyta* ■ *Cryptophyta* ■ *Dinophyta* // *Raphidophyta* ■ *Euglenaphyta*
 ■ *Chlorophyta* ■ *Streptophyta*

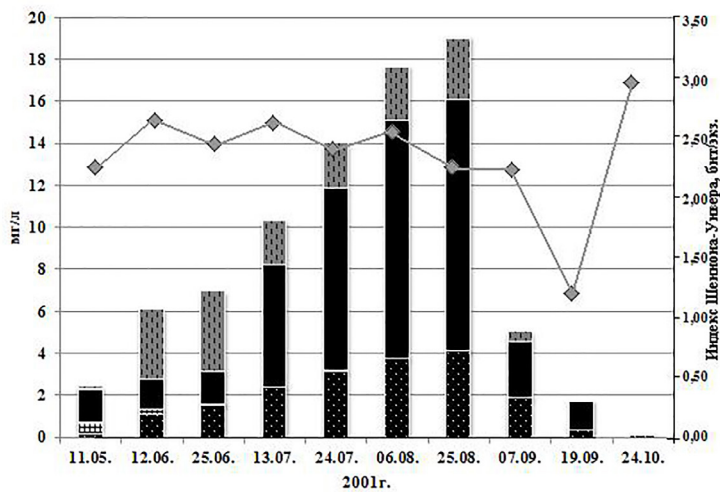
— Индекс Шеннона-Уивера, бит/экз.



a)



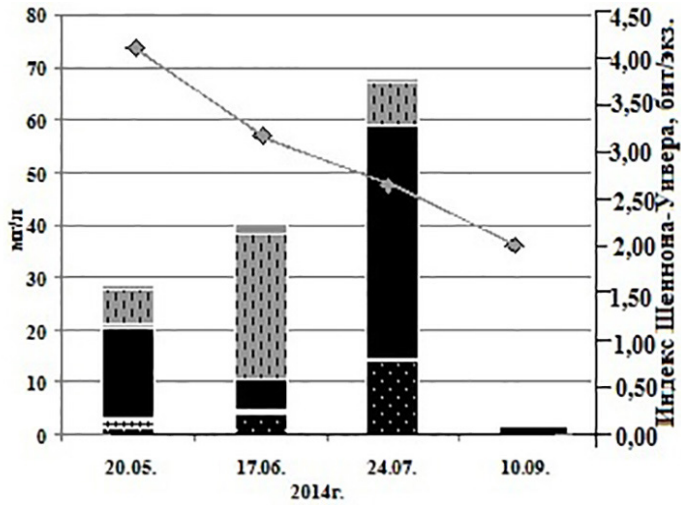
б)



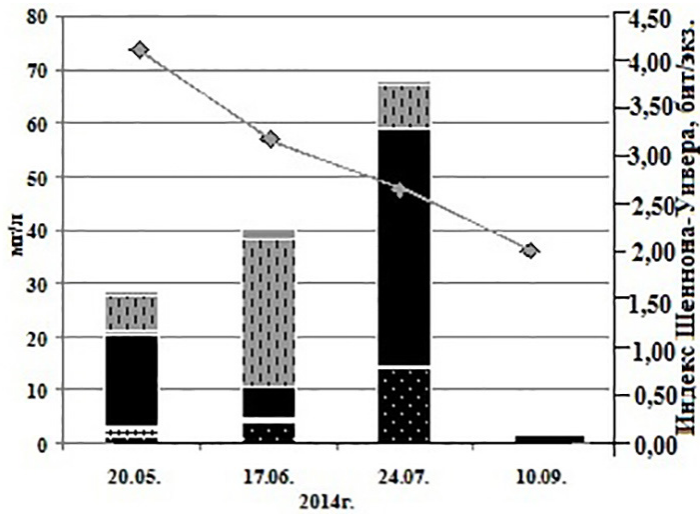
■ *Cyanophyta* # *Bacillariophyta* ■ *Cryptophyta* ■ *Dinophyta* // *Raphidophyta* ■ *Euglenophyta*
■ *Chlorophyta* ■ *Streptophyta*

— Индекс Шеннона-Уивера, бит/экз.

а)



б)



■ Cyanophyta # Bacillariophyta ■ Cryptophyta ■ Dinophyta // Raphidophyta ■ Euglenophyta
 ■ Chlorophyta ■ Streptophyta

— Индекс Шеннона-Уивера, бит/экз.



Комплекс доминирующих видов состоял полностью из представителей отдела Cyanophyta и существенно не изменялся в 1991–1992 и 2001 гг. В первую очередь, это были нитчатые формы водорослей: *Pseudoanabaena limnetica* (Lemm.) Kom., *Limnotrix planctonica* (Wolosz.) Meff., *Planktolyngbya limnetica* (Lemm.) Kom.-Legn. et Gronb., провоцирующие во многих водоемах развитие «осцилляториевой болезни» [27]. По сравнению с ними гораздо меньшее значение имели виды *Microcystis aeruginosa* (Kütz.) Kütz. и *Aphanozomenon flos-aquae* (L.) Ralfs., которые способны вызывать поверхностное «цветение» воды. Доминирующий комплекс состоял из 2–3-х видов, уровень доминирования жесткий.

В 2014 г. список доминирующих форм пополняется новыми нитчатыми безгетероцистными формами синезеленых водорослей – *Jaaginema gracile* (Boch.) Anag. et Kom., *Geitlerinema amphibium* (Ag. ex Gom.) Anag., *Leptolyngbya foveolarum* (Rab. ex Gom.) Anag. et Kom. Средний размер доминирующего комплекса составлял порядка 3-х видов, уровень доминирования жесткий.

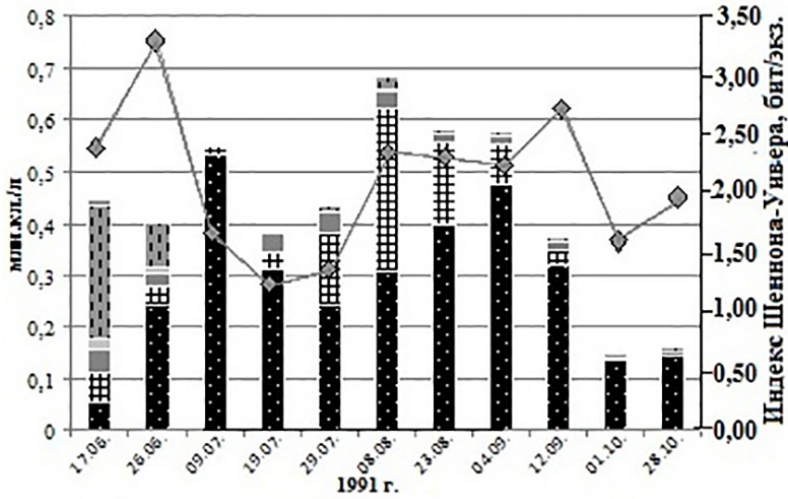
В оз. Шламонакопительное в 1991–1992 гг. преобладание цианопрокариот в формировании общей численности не было столь категоричным (рис. 2а).

Доля синезеленых водорослей от средневегетационной численности в 1991–1992 гг. составляла 67%. При этом к 2001 г. их влияние увеличивается до 96%, что отчасти можно связать с обмелением водоема. Уровни общей средневегетационной и максимальной численности водорослей были существенно ниже, чем в оз. Отстойник в аналогичные периоды. Отмечался резкий скачок в развитии фитопланктона: если в 1991–1992 гг. средневегетационная численность составляла 0,38 млн кл./л при максимальной 0,53 млн кл./л, то к 2001 г. эти показатели 13,87 млн кл./л при максимальной 32,63 млн кл./л.

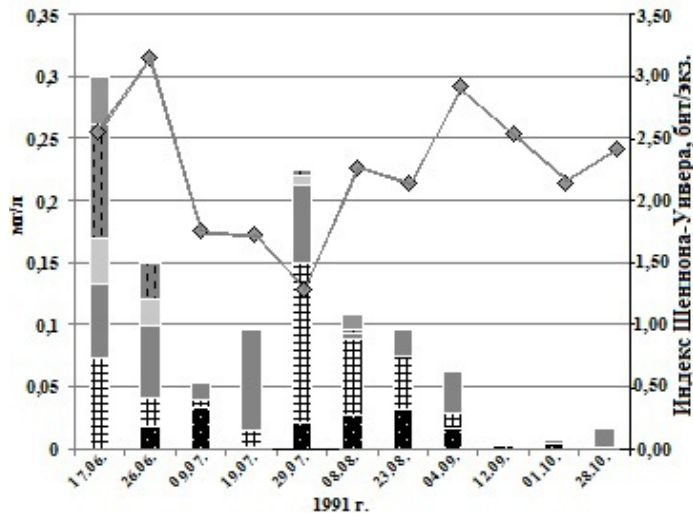
В 1991–1992 гг. в поздневесенний-раннелетний период наряду с развитием нитчатой синезеленой водоросли *Pseudoanabaena limnetica* также была отмечена активная вегетация *Closterium acutum* (Lyngb.) Bréb. (Streptophyta) и *Cryptomonas ovata* Ehr. (Cryptophyta), которые в раннелетнем фитопланктоне сменяла зеленая водоросль *Chlamydomonas globosa* Snow., традиционно развивающаяся в водоемах со слабощелочной реакцией, подвергающимся интенсивному антропогенному воздействию.

Начиная со второй половины июня, в водоеме преобладали синезеленые водоросли, которые способны вызывать поверхностное «цветение» воды: *Aphanozomenon flos-aquae*, *Microcystis aeruginosa*, *Anabaena flos-aquae* (Lyngb.) Bréb. Периодически к ним присоединялись нитчатые безгетероцистные формы (*Pseudoanabaena limnetica* и *Limnotrix planctonica* (Wolosz.) Meff.) и *Nitzschia palea* (Kütz.) W. Sm. из диатомовых водорослей, способные к миксотрофии.

а)



б)

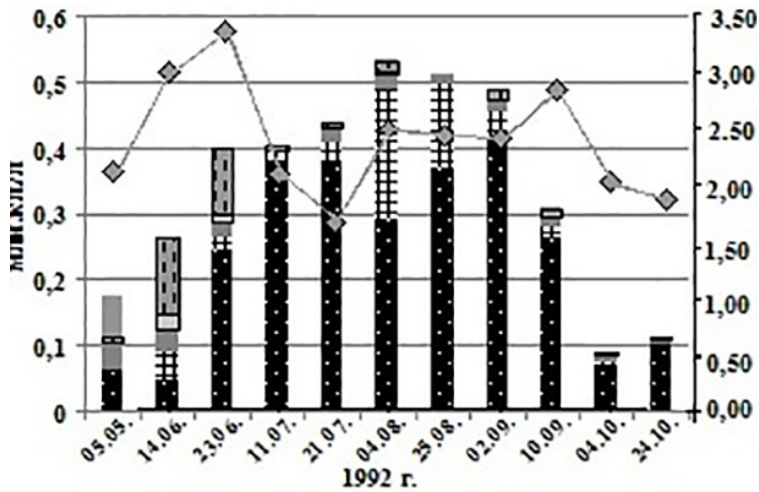


■ Cyanophyta # Bacillariophyta ■ Cryptophyta ■ Dinophyta // Raphidophyta ■ Euglenaphyta ■ Chlorophyta ■ Streptophyta

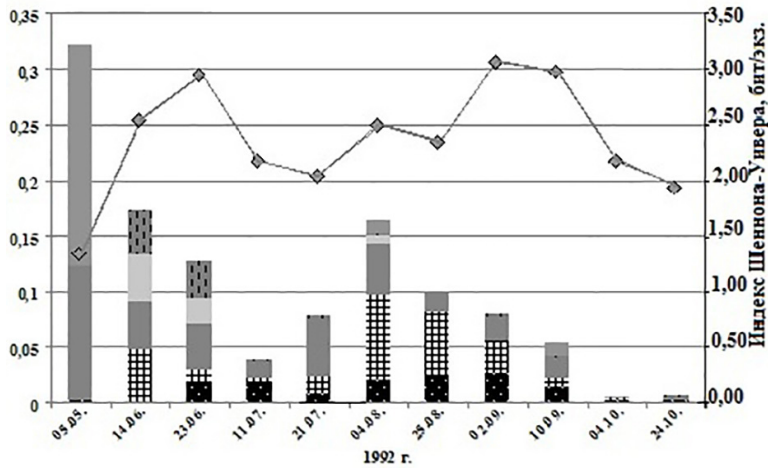
— Индекс Шеннона-Уивера, бит/экз.



а)



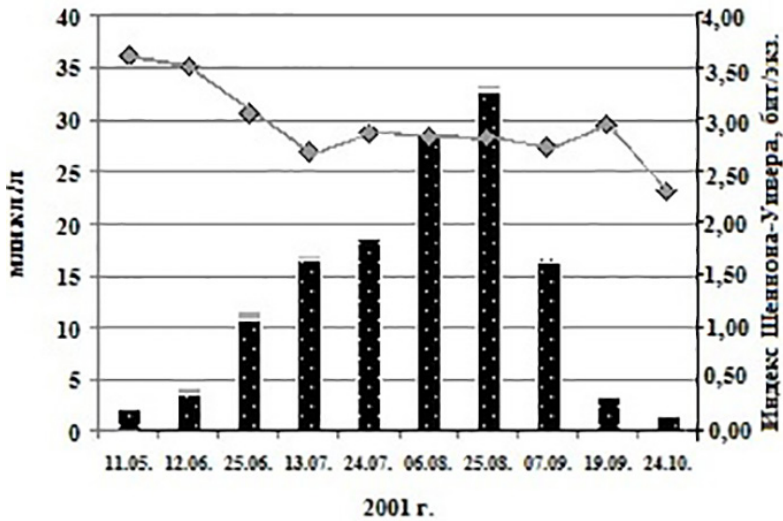
б)



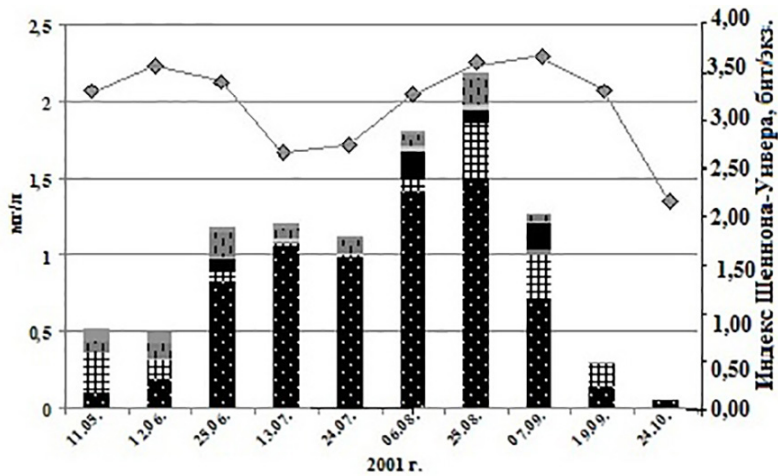
■ Cyanophyta # Bacillariophyta ■ Cryptophyta ■ Dinophyta // Raphidophyta ■ Euglenaphyta
■ Chlorophyta ■ Streptophyta

— Индекс Шеннона-Уивера, бит/экз.

а)



б)



■ Cyanophyta # Bacillariophyta ■ Cryptophyta ■ Dinophyta // Raphidophyta ■ Euglenaphyta
 ■ Chlorophyta ■ Streptophyta

— Индекс Шеннона-Уивера, бит/экз.



Ведущие позиции в формировании показателей численности к нитчатым синезеленым отходят лишь в начале сентября.

Сезонный профиль численности 1991 г. был более изрезанным, чем 1992 г., но абсолютные максимумы численности (0,68 млн кл./л и 0,54 млн кл./л) совпадали и приходились на первую половину августа. Отметим, что сезонные пики численности в оз. Шламонакопительное несколько опережали таковые в оз. Отстойник, что, возможно, было связано с различиями в видовом составе видов, формирующих «лицо» альгофлоры водоема, и их экологическими особенностями.

В 2001 г. сезонная кривая численности носила одновершинный характер с пиком, приходящимся на конец августа. По сравнению с 1991–1992 гг. произошла смена видов, вносящих наибольший вклад в формирование общей численности. Как и в оз. Отстойник в этот год, на протяжении всего вегетационного сезона на данном этапе исследования преобладали исключительно синезеленые водоросли. Однако видовой состав доминант несколько отличался. Наиболее активно вегетировали нитчатые безгетероцистные формы (*Pseudoanabaena limnetica* и *Limnотrix planctonica*) совместно с *Aphanozomenon flos-aquae*, *Microcystis aeruginosa*, *Merismopedia tenuissima* Lemm.

В процессе исследования отмечалось увеличение биомассы фитопланктона водоемов и возрастание их трофности (рис. 1б, 2б). Так в оз. Отстойник в 1991–1992 гг. средневегетационная биомасса составляла лишь 0,41 мг/л при максимальной 0,83 мг/л. В 2001 г. эти показатели возросли до 8,33 мг/л и 17,68 мг/л соответственно, а в 2014 г. – 34,19 мг/л и 67,79 мг/л. Уровень трофности же последовательно перешел с олиготрофного в 1991–1992 г. к высокоэвтрофному в 2014 г. При этом в данном водоеме отмечалась смена доминирующих форм.

На начальном этапе это были те же цианопрокариоты, которые определяли значения численности фитопланктона: *Pseudoanabaena limnetica*, *Limnотrix planctonica*, *Planktolyngbya limnetica*, а также *Microcystis aeruginosa* и *Aphanozomenon flos-aquae*. Вместе эти виды давали в среднем около 93% от общего значения биомассы и являлись абсолютными доминантами. В 2001 г. в озере отмечалось преобладание динофитовых водорослей, обусловленное развитием, в первую очередь, *Peridiniopsis quadridens* (Stein) Bourrelly и *Peridiniopsis elpatiewsky* (Osten.) Bourrelly, а также *Peridinium aciculiferum* Lemm. и *Ceratium hirundinella* (O. F. Müll.) Bergh. Биомасса динофитовых водорослей планомерно увеличивалась от конца весны к началу осени и достигала своего максимума в конце августа (11,96 мг/л). Также на уровень общей биомассы заметное влияние оказывали зеленые водоросли, в первую

очередь *Tetraedron triangulare* Korsch. Среди цианопрокариот в ранг доминант периодически входили: *Pseudoanabaena limnetica*, *Limnотrix planctonica*, *Planktolyngbya limnetica*, *Microcystis aeruginosa* и *Aphanozomenon flos-aquae*, однако до октября месяца уровень их доминирования не превышал 15%. В 2014 г. основной вклад в формирование численности вносят по-прежнему динофитовые и зеленые водоросли. Из отдела Chlorophyta в ранг доминант все также входит *Tetraedron triangulare*, преимущественно в раннелетний период. Видовой состав доминирующих динофитовых водорослей меняется: наибольшее влияние на формирование биомассы на протяжении всего вегетационного сезона оказывают *Peridinium aciculiferum*, *P. umbonatum* Stein, *Peridiniopsis elpatiewsky*, *P. quadridens*, *Gymnodinium mitratum* Schiller. Доля цианопрокариот в формировании биомассы все еще заметна и составляет в среднем около 14%, но в ранг доминант в открытой пелагической и литоральной зоне они не входили.

В оз. Шламонакпительное показатели биомассы были ниже, чем в оз. Отстойник. В 1991–1992 гг. среднесезонная биомасса составила 0,11 мг/л, а максимальная – 0,32 мг/л. К 2001 г., после изменения уровня и характера антропогенного давления, в водоеме также наблюдается рост биомассы водорослей, но не столь интенсивный: средневегетационная биомасса водорослей – 1,01 мг/л, максимальная – 1,79 мг/л. Уровень трофности изменился с олиготрофного до мезотрофного (нижняя граница).

В 1991–1992 комплекс доминирующих видов был в оз. Шламонакпительное более разнообразным и отличался по видовому составу от такового в оз. Отстойник. Наиболее значимыми на протяжении всего вегетационного сезона были криптофитовые водоросли *Cryptomonas ovata*, *C. Reflexa* Skuja и диатомовая водоросль *Nitzschia palea*. В конце весны значимый вклад в формирование биомассы вносили стрептофитовая водоросль *Closterium acutum* и *Trachelomona vas* Defl. из отдела эвгленовые водоросли, в начале лета зеленая водоросль *Chlamydomonas globosa*, диатомовая *Nitzschia sublinearis* Hust. и эвгленовая *Trachelomona vas*. Начиная с июля, к комплексу доминирующих видов примыкают цианопрокариоты: *Aphanozomenon flos-aquae*, *Limnотrix planctonica*, *Pseudoanabaena limnetica*. С конца лета в состав доминант также входили диатомовые водоросли *Stephanodiscus hantzschii* Grun., *Navicula capitata* var. *hungarica* (Grun.) Ross., криптофитовые *Chroomonas acuta* Uterm. и *Cryptomonas marssonii* Skuja. Однако общая доля синезеленых в формировании биомассы невысока: в среднем 12%.

В 2001 г. роль синезеленых водорослей в формировании биомассы, напротив, возрастает по сравнению с аналогичными показателями



оз. Отстойник в указанный период. Доля биомассы синезеленых водорослей составила 69%. В видовом составе комплекса доминирующих видов происходят изменения. В весенний период наиболее значимыми были *Stephanodiscus hantzschii* и *Cyclotella radiosa* (Grun.) Lemm. из диатомовых водорослей, а также *Closterium acutum* из зеленых. Начиная со второй половины июня показатели биомассы преимущественно определяются вегетацией *Aphanozomenon flos-aquae*, *Microcystis aeruginosa* и *Geitlerinema amphibium*. С конца августа в ранг доминант также периодически входят *Pseudoanabaena limnetica* (Cyanophyta), *Peridiniopsis elpatiewsky* (Dinophyta), *Cyclotella radiosa* и *Stephanodiscus hantzschii* (Bacillariophyta).

Индексы видового разнообразия Шеннона-Уивера, рассчитанные применительно к численности (H_N) и биомассе (H_B) фитопланктона в оз. Отстойник, неуклонно возрастали (рис. 1). В 1991–1992 г. средние значения H_N и H_B составляли 1,47 и 2,42 соответственно и видовое разнообразие оценивалось как невысокое, что во многом было связано с активной вегетацией нитчатых цианопрокариот, о чем подробнее говорилось выше. Этим же объясняется снижение видового разнообразия в августе. Наибольшие же значения H_N и H_B отмечались в начале лета. В 2001 г. $H_{Ncp} = 2,51$ и $H_{Bcp} = 2,38$. Некоторое снижение видового разнообразия по биомассе было вызвано высоким уровнем доминирования крупноклеточных динофитовых водорослей (>50%). Наибольшим видовым разнообразием характеризовался поздневесенний фитопланктон, наименьшим – позднелетний-раннеосенний. В 2014 г. $H_{Ncp} = 2,98$ и $H_{Bcp} = 2,99$, т. ч. видовое разнообразие можно определить как умеренное. Уровень видового разнообразия уменьшался от июня к сентябрю.

Уровень видового разнообразия в оз. Шламонакопительное в 1991–1992 г. относительно численности был несколько выше, чем в оз. Отстойник, и составлял 2,24. Индекс же, рассчитанный применительно к биомассе, был, наоборот, ниже ($H_B = 2,32$) (рис.2). Уровень видового разнообразия был невысоким. К 2001 г. видовое разнообразие увеличивается ($H_{Ncp} = 2,88$ и $H_{Bcp} = 3,20$) и становится даже выше, чем в экосистеме оз. Отстойник.

Общая тенденция увеличения видового разнообразия в экосистемах озер позволяет предположить, что трансформация, начавшаяся после снятия активного техногенного воздействия, имела позитивный характер.

Выводы

Несмотря на изначально различное происхождение и режим техногенной эксплуатации, после изменения профиля антропогенной нагрузки на «аграрно-культурный», в изученных водоемах была отмечена потенциально

позитивная таксономическая трансформация, протекавшая по сходному механизму и сопровождающаяся увеличением сродства как альгофлор между изученными водоемами, так и альгофлор природных водоемов культурного ландшафта этого каскада. После прекращения техногенной эксплуатации в водоемах стали проявляться признаки антропогенного эвтрофирования: уменьшение величины прозрачности воды, интенсивное развитие в планктоне синезеленых водорослей, в т. ч. возбудителей так называемой «осцилляториевой болезни». В оз. Отстойник при абсолютном преобладании цианопрокариот по численности, по биомассе после прекращения эксплуатации наблюдалось увеличение роли динофитовых и зеленых водорослей. В оз. Шламонакопительное, напротив, после изменения характера воздействия представленность в средневегетационной биомассе цианопрокариот выросла в разы, тогда как уровень развития криптофитовых и зеленых водорослей остался без изменения. Выраженные признаки позитивной трансформации (увеличение видового богатства, сложности спектров ведущих таксонов различного ранга, возрастание видового разнообразия) позволяют предположить развитие процессов самовосстановления экосистем, которые могут быть выражены еще более ярко при минимизировании аграрно-культурной нагрузки и установлении биогенного лимитирования в зоне водосбора данных водоемов. Полученный материал также позволяет предположить, что при разработке методов рекультивации и очистки экосистем водоемов, в первую очередь, отстойников и приемников отходов, необходимо делать упор не на жесткие технические методы очистки и принудительного вывода загрязнителей из экосистем, а на создание благоприятных условий для развития «мягких» естественных процессов самоочищения и самовосстановления систем. Ведь именно в последнем случае возможно формирование по-настоящему устойчивой и конкурентоспособной экосистемы.

Литература

1. Афанасьева, А. Л. (2000). Видовой состав и биомасса летнего фитопланктона оз. Селигер. В сб.: *Материалы V Всероссийской конференции по водным растениям «Гидробиотаника 2000»*. Борок: Изд-во Ярославского гос. технического университета. С. 7.
2. Барина, С. С., Медведева, Л. А. (1996). *Атлас водорослей-индикаторов сапробности (Российский Дальний Восток)*. Владивосток: Дальнаука, 364 с.
3. Барина, С. С., Медведева, Л. А., Анисимова, О. В. (2006). *Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды*. Тель-Авив: Pilies Studio, 498 с.
4. Голлербах, М. М., Косинская, Е. К., Полянский, В. И. (1953). *Синезеленые водоросли. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 2*. М.: Советская наука, 651 с.
5. Генкал, С. И. (1992). *Атлас диатомовых водорослей планктона реки Волги*. СПб.:



- Гидрометеиздат, 128 с.
6. Жариков, В. В. (ред.) (2009). *Протисты и бактерии озер Самарской области*. Тольятти: Кассандра, 240 с.
 7. Киселев, И. А. (1954). *Пирофитовые водоросли*. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 6. М.: Советская наука, 212 с.
 8. Кривина, Е. С., Тарасова, Н. Г. (2015). Фитопланктон урбанизированного водоема (на примере оз. Восьмерка, г. Тольятти, Самарская область) II. Количественное развитие, доминирующие виды оценка качества воды. *Изв. Самарского науч. центра РАН*, т. 17, № 4, С. 203–209.
 9. Кузьмин, Г. В. (1975). Фитопланктон. Видовой состав и обилие. В сб.: *Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов*. М.: Наука, С. 73–87.
 10. Литинский, Ю. Б. (1960). Некоторые вопросы геоморфологии озер Карельского региона. В сб.: *Материалы по гидрологии (лимнологии) Карелии*. Петрозаводск. С. 10–59.
 11. Матвиенко, А. М. (1954). *Золотистые водоросли*. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 3. М.: Советская наука, 188 с.
 12. Мордухай-Болтовской, Ф. Д. (ред.) (1975). *Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов*. М.: Наука, 240 с.
 13. Номоконова, В. И., Выхристюк, Л. А., Тарасова, Н. Г. (2001). Трофический статус Васильевских озер в окрестностях г. Тольятти. *Изв. Самарского науч. центра РАН*, т. 3, № 2, С. 274–283.
 14. Павлова, О. А. (2000). Видовой состав фитопланктона и оценка сапробности трех озер урбанизированного ландшафта. В сб.: *Материалы V Всероссийской конференции по водным растениям «Гидрботаника2000»*. Борок: Изд-во Ярославского гос. технического университета, С. 65–66.
 15. Пименов, А. А. (ред.) (2012). *Материалы оценки воздействия на окружающую среду при реализации намечаемой деятельности: строительство очистных сооружений смешанного потока сточных вод предприятий Северного промузла (СПУ) г. Тольятти в районе регулирующей емкости*. Самара: СамГТУ, 10 с.
 16. Сиренко, Л. А., Гавриленко, М. Я. (1978). *«Цветение» воды и эвтрофирование*. Киев: Наукова думка, 231 с.
 17. Старцева, Н. А., Охапкин, А. Г. (2003). Состав и структура фитопланктона некоторых пойменных озер культурного ландшафта (на примере г. Нижнего Новгорода). *Биология внутренних вод*, № 4, С. 35–42.
 18. Тарасова, Н. Г. (2007). Фитопланктон Верхнего пруда Ботанического сада. Таксономический состав и эколого-географическая характеристика. *Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии*, т. 16. № 1–2 (19–20), С. 156–166.
 19. Трифонова, И. С. (1990). *Экология и сукцессия озерного фитопланктона*. Л.: Наука, 183 с.
 20. Унифицированные методы исследования качества вод. Атлас сапробных организмов. (1977). М.: Наука, 277 с.
 21. Ettl, H. (1983). Chlorophyta. Phytomonadina. Susswasserflora von Mitteleuropa. Jena, Bd. 9, 807 p.
 22. Ettl, H., Gartner, G. (1983). Chlorophyta II. Tetrasporales, Chlorococcales, Gloedendrales Susswasserflora von Mitteleuropa. Jena, Bd. 10. 436 p.
 23. Ettl, H., Zerloff, G., Heynig, H., Mollenhauer, D. (1990). Dinophyceae (Dinophlagellida) Susswasserflora von Mitteleuropa. Jena, Bd. 6. 448 p.
 24. Komarek, J., Anagnostidi, K. Cyanoprocariota. (2000). *Chroococcales Susswasserflora von Mitteleuropa*. Teil 1. Jena: Stuttgart, 643 p.

25. Sládeček, V. (1973). *System of water quality from the biological point of view*. Stuttgart: Schweizerbart, 218 p.
26. Sládeček, V. (1986). Diatoms as Indicators of Organic Pollution. *Acta hydrochimica et hydrobiologica*, v. 14, no. 5, pp. 555–566.
27. Reynolds, C. S. (2006). *The ecology of phytoplankton*. New York.: Cambridge Univ. Press, 536 p.
28. Wegl, R. (1983). Index für die Limnosaprobität. *Wasser und Abwasser*, т. 26. pp. 146–148.

Reference

1. Afanas'eva, A. L. (2000). Vidovoj sostav i biomassa letnego fitoplanktona oz. Seliger [Species composition and biomass of summer phytoplankton of the lake Seliger], Abstracts of V all-Russia conference on aquatic plants "Hydrobotanics-2000", Borok, p.7. (in Russian).
2. Barinova, S. S., Medvedeva, L. A. (1996). Atlas vodoroslej-indikatorov saprobnosti (Rossijskij Dal'nij Vostok) [Atlas of algae-the indicators of saprobity (Russian far East)], Dalnauka, Vladivostok, 364 p. (in Russian).
3. Barinova, S. S., Medvedeva, L. A., And Anisimova, O. V. (2006). Bioraznoobrazie vodoroslej-indikatorov okružhajushhej sredy [Biodiversity of algae-indicators of the environment], Tel Aviv, 498 p. (in Russian).
4. Hollerbach, M. M., Kosinskaya, E. K., And Polyanskii, V. I. (1953). Sinezelenye vodorosli. Opredelitel' presnovodnyh vodoroslej SSSR. Vyp. 2. [Blue-green algae. The key to freshwater algae of the USSR. Vol. 2.]. M: Soviet science, p. 651. (in Russian).
5. Genkal S. I. (1992). Atlas diatomovyh vodoroslej planktona reki Volgi [Atlas of diatoms of the plankton of the Volga river]. S-Pb., 128 p. (in Russian).
6. Zharikov, V. V. (ed) (2009) Protisty i bakterii ozer Samarskoj oblasti [Protists and bacteria of lakes of the Samara region], Kassandra, Tolyatti, 240 p. (in Russian).
7. Kiselev I. A. (1954). Opredelitel' presnovodnyh vodoroslej SSSR. Vyp. 6. Pirofitovye vodorosli [The key to freshwater algae of the USSR. Vol. 6. Perogitive algae]. M., 212 p. (in Russian).
8. Krivine E. S., Tarasova N. (2015). Fitoplankton urbanizirovannogo vodoema (na primere oz. Vos'merka, g. Tol'jatti, Samarskaja oblast') II. Kolichestvennoe razvitie, dominirujushhie vidy ocenka kachestva vody [Phytoplankton urbanized of the reservoir (for example oz. Eight, Tolyatti, Samara region) II. Quantitative development, the dominant species assessment of water quality] *Izv. Samara scientific center of RAS*, Vol. 17, No. 4, pp. 203-209. (in Russian).
9. Kuzmin, G. V. (1975). Fitoplankton. Vidovoj sostav i obilie [Phytoplankton. Species composition and abundance], Methods of study of biogeocenoses of inland water bodies, Nauka, Moscow, pp. 73-87. (in Russian).
10. Litinsky, J. B. (1960). Nekotorye voprosy geomorfologii ozer Karel'skogo regiona [Some aspects of geomorphology of lakes in the Karelian region], Materials for hydrology (Limnology) of the Republic of Karelia, Petrozavodsk. pp. 10-59. (in Russian).
11. Matvienko, A. M. (1954). Opredelitel' presnovodnyh vodoroslej SSSR. Vyp. 3. Zolotistye vodorosli [The key to freshwater algae of the USSR. Vol. 3. Golden algae], Sovetskaya Nauka, Moscow, 188 p. (in Russian).
12. Mordecai-Boltovskii, F. D. (ed.). (1975). Metodika izuchenija biogeocenozov vnutrennih vodoemov [The method of studying biogeocenoses of inland water bodies], Moscow, 240 p. (in Russian).
13. Nomokonova, V. I., Vykhristyuk, L. A., Tarasova, N. G. (2001). Troficheskij status Vasil'evskih ozjor v okrestnostjah g. Tol'jatti [Trophic status Vasilevsky lakes in the vicinity of Togliatti] *Izv.*



- Samara scientific. center of RAS*, Vol. 3, No. 2, pp. 274-283. (in Russian).
14. Pavlova, O. A. (2000). Vidovoj sostav fitoplanktona i ocenka saprobnosti treh ozer urbanizirovannogo landshafta [Species composition of phytoplankton and assessment of saprobity of the three lakes in the urbanized landscape], Abstracts of V all-Russia conference on aquatic plants "Hydrobotanics-2000", Borok, pp.65–66. (in Russian).
 15. Pimenov, A. A. (EDS) (2012). Materialy ocenki vozdeystvija na okruzhajushhuju sredu pri realizacii namechaemoj dejatel'nosti: stroitel'stvo oчитstnyh sooruzhenij smeshannogo potoka stochnyh vod predpriyatij Severnogo promuzla (SPU) g. Tol'jatti v rajone regulirujushhej emkosti [The materials assess the impact on the environment during implementation of the proposed activity: construction of treatment plants mixed wastewater stream enterprises of the Northern promysla (SPU) the city of Togliatti in the area of regulatory capacity], Samara State Technical University, Samara, p. 10. (in Russian).
 16. Sirenko, L. A., Gavrilenko, M. J. (1978). «Cvetenie» vody i jevtfirovanie ["Flowering" of water and eutrophication], Naukova Dumka, Kiev, 231 p. (in Russian).
 17. Startsev, N. A., Okhapkin A. G. (2003) Sostav i struktura fitoplanktona nekotoryh pojmnennyh ozer kul'turnogo landshafta (na primere g. Nizhnego Novgoroda) [Composition and structure of phytoplankton of some lakes in the floodplain of the cultural landscape (on the example of Nizhny Novgorod)], *Biology of inland waters*, No. 4. pp. 35–42. (in Russian).
 18. Tarasova, N. G. (2007) Fitoplankton Verhnego pruda Botanicheskogo sada: taksonomicheskij sostav i jekologo-geograficheskaja harakteristika [Phytoplankton of the Upper pond of the Botanical garden: the taxonomic composition and ecological and geographical characteristics], *Samarskaya Luka: problems of regional and global ecology*, Vol. 16, No. 1–2 (19–20), pp. 156–166. (in Russian).
 19. Trifonova, I. S. (1990) Ekologija i sukcesija ozernogo fitoplanktona [The Ecology and succession of lake phytoplankton]. Nauka, Leningrad, 183 p. (in Russian).
 20. Unificirovannye metody issledovaniya kachestva vod. Atlas saprobnnyh organizmov (1977). [Unified methods of research of water quality. Atlas saprobic organisms]. M.: Nauka, 277 p.
 21. Ettl, H. (1983). Chlorophyta. Phytomonadina. Susswasserflora von Mitteleuropa. Jena, Bd. 9. 807 p.
 22. Ettl H., Gartner G. (1983). Chlorophyta II. Tetrasporales, Chlorococcales, Gloedendrales Susswasserflora von Mitteleuropa. Jena, Bd. 10. 436 p.
 23. Ettl H., Zerloff G., Heynig H., Mollenhauer D. (1990). Dinophyceae (Dinophlagellida) Susswasserflora von Mitteleuropa. Jena, Bd. 6. 448 p.
 24. Komarek J., Anagnostidi K. Cyanoprocariota. (2000). Teil 1. Chroococcales Susswasserflora von Mitteleuropa. Jena: Stuttgart, 2000. 643 p.
 25. Sládeček, V. (1973) System of water quality from the biological point of view. *Erebn. der Limnol.* Bd. 7, pp. 1-218.
 26. Sládeček, V. (1986) Diatoms as indicators of organic pollution. *Acta Hydrochim. Hydrobiol.* V. 14, No. 5. pp. 555-566.
 27. Reynolds, C. S. (2006) The ecology of phytoplankton. L.: Cambridge Univ. Press. 536 p.
 28. Wegl, R. (1983). Index für die Limnosaprobität. *Wasser und Abwasser.* 1983. Bd 26, pp. 1–175.