



Трансформация экосистем Ecosystem Transformation www.ecosysttrans.com

Таксономическая и эколого-флористическая характеристики фитопланктона техногенного водоема после прекращения промышленной эксплуатации на примере оз. Шламонакопительное (Самарская область)

Е.С. Кривина*, Н.Г. Тарасова

Институт экологии Волжского бассейна РАН, 445003, Россия, Самарская обл., г. Тольятти,
ул. Комзина, д. 10

*pepelisa@yandex.ru

Поступила в редакцию: 25.02.2019

Принята к печати: 08.05.2019

Опубликована онлайн: 03.02.2020

DOI: 10.23859/estr-190225

УДК 574.587:57.043

ISSN 2619-094X Print

ISSN 2619-0931 Online

В данной работе рассмотрены видовой состав альгофлоры планктона техногенного водоема и изменения, происходящие в ней после прекращения промышленной эксплуатации на примере оз. Шламонакопительное (система Васильевских озер, Самарская область). Сравнение видового состава и таксономической структуры фитопланктона в период активной промышленной эксплуатации (1991–1992 гг.) и постэксплуатационный период (2001 г.) выявило увеличение видового богатства водорослей и усложнение таксономической структуры. Таким образом, трансформация сообщества фитопланктона имела позитивный характер. Высокая видовая специфичность альгофлоры и низкий уровень преобладания видов в каждый период исследования свидетельствовали о значительной степени трансформации экосистемы на фоне прекращения эксплуатации.

Ключевые слова: фитопланктон, техногенный водоем, флористический анализ, эколого-географический анализ, виды-индикаторы, графический анализ, сапробность.

Кривина, Е.С., Тарасова, Н.Г., 2020. Таксономическая и эколого-флористическая характеристики фитопланктона техногенного водоема после прекращения промышленной эксплуатации на примере оз. Шламонакопительное (Самарская область). *Трансформация экосистем* 3 (1), 87–100.

Введение

Малые урбанизированные водоемы имеют большое экологическое значение и эстетическую ценность. Однако они подвержены сильной антропогенной нагрузке, в результате чего нарушаются циклы их естественного функционирования. В связи с этим оценка состояния, мониторинг и прогнозирование происходящих в них измене-

ний – одна из актуальных проблем современной экологии (Kleeberg, 2003).

Одной из наиболее уязвимых групп таких водоемов являются «техногенные» водоемы, которые регулярно или на определенном отрезке времени подвергались промышленной эксплуатации (Оствальд, 1987; Спиридонов, 2006). В настоящее время часть из них уже утратила ценность для

промышленных предприятий, и в отношении некоторых водоемов ведутся работы по сохранению и восстановлению (Мингазова и др., 2014; Anneville et al., 2002; Birch and McCaskie, 1999). Тем не менее отмечается недостаточное количество данных о процессах, происходящих в период их самоочищения, в частности, при прогнозировании развития «нулевого» сценария рекультивации – без вмешательства человека в процессы самовосстановления нарушенных экосистем (Спиридонов, 2006).

На землях городского округа Тольятти расположена цепочка малых урбанизированных водоемов – Васильевские озера, которые возникли в конце 50-х гг. XX в. после создания плотины Жигулевской ГЭС в результате поднятия грунтовых вод и заполнения ими естественных понижений рельефа. Помимо активного использования этих водоемов в целях рекреации, вокруг отдельных из них возникли дачные массивы, в некоторых начали разводить рыбу, а часть стали эксплуатировать промышленные предприятия города в качестве приемников отходов ТЭЦ. Вследствие этого некоторые из озер пересохли или превратились в водоемы эфемероидного типа. Так, к концу 90-х гг. (началу исследования Васильевских озер сотрудниками ИЭВБ РАН) из таких озер сохранилось только одно – Шламонакопительное, к 2004 г. превратившееся в эфемероидный водоем (Кривина и Тарасова, 2017б; Протисты и бактерии..., 2009).

Цель данной работы – изучить особенности таксономической структуры фитопланктона техногенного водоема после прекращения промышленной эксплуатации на примере оз. Шламонакопительное.

Материалы и методы исследования

Оз. Шламонакопительное – малый водоем естественного происхождения из системы Васильевских озер, расположенной на северо-восточной границе городского округа Тольятти.

Данный водный объект длительное время подвергался активной техногенной эксплуатации. Вплоть до 90-х гг. XX в. оз. Шламонакопительное использовалось как приемник золы и шлаков Тольяттинской ТЭЦ. Сточные воды, сбрасываемые в него, содержали фосфаты, хлориды, железо, медь, сульфаты, аммонийный азот, нефтепродукты. С 1992 г. сброс отходов был значительно уменьшен в связи со снижением интенсивности промышлен-

ного производства. Начиная с 1994 г., в результате внедрения малоотходных и ресурсосберегающих технологий на производстве, поступление отходов в водоем сократилось, а в 1996 г. прекратилось полностью. Впоследствии из-за снижения уровня воды озеро распалось на ряд мелких водоемов глубиной не более метра, а в настоящее время полностью пересохло (Материалы оценки воздействия..., 2012; Огуречникова и Пименов, 2012, 2015).

На экологическую обстановку в районе системы Васильевских озер долгое время оказывают влияние северный промышленный узел г. Тольятти, а также садоводческие и дачные кооперативы, которые поставляли и продолжают поставлять в водоемы биогенные элементы (Огуречникова и Пименов, 2012, 2015; Протисты и бактерии..., 2009).

По очертанию акватории озеро Шламонакопительное относится к IV типу – овальное (Литинский, 1960). По основным морфологическим показателям (Табл. 1) его можно отнести к классу малых и очень малых озер (Китаев, 1989).

Материалом для данной работы послужили альгологические пробы, отбор которых проводился каждые 10 дней в период с июня по сентябрь 1991 г., с мая по октябрь 1992 г., а также ежемесячно с мая по октябрь в 2001 г.

Изучение фитопланктона озера проводилось по стандартным гидробиологическим методикам. Пробы отбирали батометром Руттнера, фиксировали 40% раствором формалина, концентрировали методом прямой фильтрации. Подсчет клеток проводили в камере «Учинская» объемом 0.01 мл, биомассу рассчитывали по методу приведенных геометрических фигур (Методика изучения..., 1975).

В соответствии с рекомендациями альгологов ИБВВ РАН (п. Борок), обобщенными в работе Л.Г. Корневой (2015), за основу таксономического списка принята классификация, приведенная в справочнике «Водоросли» (Вассер и др., 1989), которая представляет собой трансформированную систему М.М. Голлербаха (1977), с учетом выделения криптофитовых, динофитовых и рафидофитовых водорослей в самостоятельные отделы. Названия диатомовых водорослей даются согласно классификации, приведенной в издании «Диатомовые водоросли СССР» (1988); динофитовых водорослей – согласно классификации Ж. Поповского и Л. Пфайстера (Popovsky and Pfiester, 1990), родов и видов зеленых водорослей из порядка

Табл. 1. Некоторые морфометрические показатели оз. Шламонакопительное.

Период наблюдений	Географические координаты	Площадь, м ²	Длина, м	Объем, м ³	Средняя глубина, м
1991–1992 гг.	N 53°52'12", E 49°50'94"	205 024	596	307 536	1.5
2001 г.		101 232	244	50 616	0.5

Chlorococcales – по П.М. Царенко (1990), зеленых фитофлагеллят – по Н.А. Мошковой и М.М. Голлербаху (1986). В работе учтены систематические ревизии во флористических сводках по синезеленым водорослям (Komárek and Anagnostidis, 1999, 2005). Названия видовых и внутривидовых таксонов диатомовых водорослей представлены согласно трудам К. Краммера и Х. Ланге-Бертало (Krammer and Lange-Bertalot, 1986, 1988, 1991a, b).

Эколого-географический анализ альгофлоры выполнен на основе данных, приведенных в определителях, с опорой на наиболее известные и разработанные системы (Sládeček, 1973, 1986; Wegl, 1983), обобщенные для водоемов Средней и Нижней Волги сотрудниками ИЭВБ РАН в ряде работ (Протисты и бактерии..., 2009; Фитопланктон Нижней Волги..., 2003). В случае отсутствия данной информации в определителях обращались к литературным данным (Баринаова и Медведева, 1996; Баринаова и др., 2006; Герасимова, 1996; Давыдова, 1985; Корнева, 2015; Охапкин, 1994; Охапкин и др., 2003; Прошкина-Лавренко, 1953; Фитопланктон Нижней Волги..., 2003; Экологические проблемы..., 2001).

Оценка характера трансформации экосистем водоемов, подвергшихся длительной техногенной эксплуатации, проводилась по установленной методике графического анализа в модификации применительно к водным антропогенно трансформированным экосистемам (Колмар, 2006; Оствальд, 1987; Разумовский и Моисеенко, 2009).

Результаты и их обсуждение

За весь период исследования в альгофлоре планктона оз. Шламонакопительное нами было обнаружено 76 таксонов водорослей рангом ниже рода. Они относились к 7 отделам, 11 классам, 15 порядкам, 29 семействам, 42 родам (Табл. 2).

Соотношение видового богатства основных отделов водорослей в данном водоеме имело ряд особенностей, нехарактерных для значительной части малых водоемов Средней и Нижней Волги. Так, традиционно в малых водоемах этой территории большая часть видов, разновидностей и форм водорослей принадлежит зеленым и диатомовым водорослям. Третье место в ранжированном ряду принадлежит, как правило, эвгленовым водорослям, реже – синезеленым водорослям (цианопрокарриотам) (Герасимова, 1996; Охапкин и др., 2003; Протисты и бактерии..., 2009; Фитопланктон Нижней Волги..., 2003). В оз. Шламонакопительное первое место по видовому богатству, как и в большинстве водоемов, занимали зеленые водоросли, их доля составляла 30% от общего числа видов, разновидностей и форм. Однако нетипично высок был ранг синезеленых водорослей, занимающих второе место по богатству видов. Их доля незначительно превышала вклад диатомовых водорослей и составляла 21% от общего видового богатства альгофлоры планктона исследуемого водоема. Вклад диатомовых водорослей был несколько меньше – 20%. Доля других отделов водорослей была существенно ниже и, как правило, не превышала 10%: криптофитовые – 10%, стрептофитовые – 8%, эвгленовые – 7%, динофитовые – 4%. Нетипично высокий ранг синезеленых водорослей, вероятно, был связан со специфическими условиями, сформировавшимися в водоеме в ходе промышленной эксплуатации.

Полный список видов, разновидностей и форм водорослей, обнаруженных в оз. Шламонакопительное в различные периоды исследования, а также их эколого-географические характеристики приведены в Табл. 3.

Во время использования водоема в качестве приемника отходов ТЭЦ (далее – 1991–1992 гг.)

Табл. 2. Таксономическая структура альгофлоры планктона оз. Шламонакопительное в период угасания.

Отдел	классы	порядки	семейства	Число таксонов			
				роды	таксоны рангом ниже рода	внутривидовые категории	всего
					виды		
Цианопрокарриота	2	3	7	11	16	0	16
Вацилларифиты	2	4	6	7	14	1	15
Криптофиты	1	1	1	3	8	0	8
Динофиты	1	2	2	3	3	0	3
Эвгленифиты	1	1	1	2	4	1	5
Хлорофиты	3	3	10	13	23	0	23
Стрептофиты	1	1	2	3	5	1	6
Итого	11	15	29	42	73	3	76

Табл. 3. Видовой состав альгофлоры планктона оз. Шламонакопительное в различные периоды исследования. Список обозначений по местообитанию: Б – бентосный, Л – литоральный, П – планктонный, П-Б – планктонно-бентосный; по географическому распространению: б – бореальный, к – космополит, с-а – северо-альпийский, ст – субтропический; по галобности: Гл – галофил, И – индифферент, Ог – олигогалоф; по отношению к рН среды: Ал – алкалофил + алкалобионт, Ин – индифферент, Ац – ацидофил + ацидобионт; по сапробности: о – олигосапроб, о-β – олиго-β-мезосапроб, β-о – β-олиго-мезосапроб, о-α – олиго-α-мезосапроб, β – β-мезосапроб, β-α – β-α-мезосапроб, α-β – α-β-мезосапроб, β-ρ – β-мезо-полисапроб, α – α-мезосапроб. «?» – нет данных.

	Местообитание	Географическое распространение	Галобность	Отношение к рН среды	Сапробность	Встречаемость		
						1991–1992 гг.	2001 г.	
Класс CHROOCOCCEAE								
Порядок CHROOCOCCEALES								
Семейство SYNECHOCOCCACEAE								
	<i>Cyanothece aeruginosa</i> (Näg.) Komárék	Л	к	И	?	о	–	+
Семейство MERISMOPEDIACEAE								
	<i>Aphanocapsa incerta</i> (Lemm.) Croberg et Krámer	П	к	И	?	β	+	+
	<i>Merismopedia tenuissima</i> Lemm.	П	к	И	?	α	–	+
Семейство MICROCYSTACEAE								
	<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kütz.) Kütz.	П	к	И	Ал	β	+	+
	<i>M. pulverea</i> (Wood) Forti emend. Elenk.	П	к	И	Ал	о-α	+	+
Семейство CHROOCOCCEAE								
	<i>Chroococcus turgidus</i> (Kütz.) Näg.	Л	к	Гл	?	о-β	–	+
	<i>C. vacuolatus</i> Skuja	Б	б	И	?	?	+	–
Класс HORMOGONIOPHYCEAE								
Порядок OSCILLATORIALES								
Семейство PSEUDANABAENACEAE								
	<i>Geitlerinema amphibium</i> (Ag. ex Gom.) Anag.	П-Б	к	Гл	?	о-α	–	+
	<i>Limnotrix planctonica</i> (Wolosz.) Meff.	П	к	И	?	β	+	+
	<i>Pseudoanabaena mucicola</i> (Hub.) Anag. et Komárék	П	к	И	?	о-β	+	+
	<i>P. limnetica</i> (Lemm.) Kom.	П-Б	к	?	?	β-о	+	+
Порядок NOSTOCALES								
Семейство ANABAENACEAE								
	<i>Anabaena flos-aquae</i> (Lyngb.) Breb.	П	к	И	?	β	+	+
	<i>A. planctonica</i> Brunnth.	П	?	Гл	?	β-о	–	+
	<i>A. variabilis</i> Kütz.	Б	к	И	?	β	–	+
	<i>Anabaenopsis Raciborskia</i> Wolosz.	П	ст	?	?	?	–	+
Семейство APHANIZOMENONACEAE								
	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> (L.) Ralfs.	П	к	И	?	β	+	+

	Местообитание	Географическое распространение	Глобность	Отношение к pH среды	Сапробность	Встречаемость		
						1991–1992 гг.	2001 г.	
	Класс CENTROPHYCEAE							
	Порядок THALASSIOSIRALES							
	Семейство THALASSIOSIRACEAE							
	<i>Skeletonema subsalsum</i> (Cl.-Euler) Bethge	П	к	Гл	?	β-α	-	+
	Семейство STEPHANODISCACEAE							
	<i>Cyclotella radiosa</i> (Grun.) Lemm.	П	к	И	Ал	о-β	-	+
	<i>C. stelligera</i> Cl. et. Grun.	П	к	И	Ал	β-о	+	+
	<i>Stephanodiscus hantzschii</i> Grun.	П	к	И	Ал	α-β	+	+
	Порядок MELOSIRALES							
	Семейство AULACOSIRACEAE							
	<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehr.) Sim.	П	к	И	Ал	β-α	+	+
	Класс PENNATOPHYCEAE							
	Порядок ARAPHALES							
	Семейство FRAGILARIACEAE							
	<i>Fragilaria atomus</i> Hust.	Б	?	И	?	о	-	+
	<i>F. ulna</i> var. <i>acus</i> Sippin	П	к	И	Ал	о-β	-	+
	Порядок RAPHALES							
	Семейство NAVICULACEAE							
	<i>Navicula capitata</i> var. <i>hungarica</i> (Grun.) Ross.	Л	к	И	Ал	β-α	+	+
	<i>N. cincta</i> (Ehr.) Ralfs	Б	к	Гл	Ал	α-β	-	+
	<i>N. clementis</i> Grun.	Б	к	И	Ал	о-β	-	+
	Семейство NITZSCHIACEAE							
	<i>Nitzschia closterium</i> (Ehr.) W. Sm.	П	к	Гл	?	?	-	+
	<i>N. palea</i> (Kütz.) W. Sm.	Л	к	И	?	α	+	+
	<i>N. paleacea</i> Grun.	П	к	И	?	α	-	+
	<i>N. pusilla</i> Grun.	Л	к	Ог	Ин	β	+	+
	<i>N. sublinearis</i> Hust.	?	?	?	?	?	+	-
	Класс CRYPTOMONADOPHYCEAE							
	Порядок CRYPTOMONADALES							
	Семейство CRYPTOMONADACEAE							
	<i>Chroomonas acuta</i> Uterm.	П	к	И	?	β	+	+
	<i>C. minima</i> Czossn.	Л	?	?	Ац	?	+	+
	<i>Cryptomonas borealis</i> Skuja	П	к	И	Ац	?	-	+
	<i>C. caudata</i> Schiller	П	к	И	?	?	+	+
	<i>C. erosa</i> Ehr.	П	к	?	?	β	-	+
	<i>C. marssonii</i> Skuja	П	к	И	Ин	β-о	+	+
	<i>C. reflexa</i> Skuja	П	к	Гл	?	β-о	+	+
	<i>Rhodomonas lens</i> Pasch. et Ruttn.	П	с-а	И	Ин	о-β	+	+

ОТДЕЛ ВАСИЛЛАРИОРНУТА

ОТДЕЛ КРИПТОМОНАДА

		Местообитание	Географическое распространение	Глобность	Отношение к рН среды	Сапробность	Встречаемость		
							1991–1992 гг.	2001 г.	
		Класс DINOPHYCEAE							
		Порядок GYMNODINILES							
ОТДЕЛ DINOPHYTA	Семейство GYMNODINIACEAE								
	<i>Gymnodinium mitratum</i> Schiller	П	?	?	?	?	–	+	
	Порядок PERIDINIALES								
	Семейство PERIDINIACEAE								
	<i>Peridiniopsis elpatiewsky</i> (Ostenfeld) Bourrelly	П	?	?	?	?	–	+	
	<i>Peridinium aciculiferum</i> Lemm.	П	?	?	?	?	–	+	
		Класс EUGLENOPHYCEAE							
		Порядок EUGLENALES							
ОТДЕЛ EUGLENOPHYTA	Семейство EUGLENACEAE								
	<i>Euglena minima</i> France	Л	?	?	?	о	–	+	
	<i>E. limnophyla</i> var. <i>swirenkoi</i> (Arnold.) Popova	Л	к	И	?	?	–	+	
	<i>Trachelomonas hispida</i> (Perty) emend. Defl.	П	к	И	Ин	β	–	+	
	<i>T. vas</i> Defl.	П	?	?	Ац	?	+	+	
	<i>T. volvocina</i> Ehr.	П	к	Гл	Ин	β	+	–	
		Класс CHLOROPHYCEAE							
		Порядок CHLOROCOCCALES							
ОТДЕЛ CHLOROPHYTA	Семейство CHARACIACEAE								
	<i>Schroederia setigera</i> (Schrod.) Lemm.	П	к	И	?	о-α	+	+	
	Семейство GOLENKINIACEAE							–	–
	<i>Golenkinia radiata</i> Chod.	П	к	И	?	о-α	–	+	
	Семейство BOTRYOCOCCACEAE							–	–
	<i>Dictyosphaerium subsolitarium</i> von Goor	П	к	И	?	?	–	+	
	Семейство OOCYSTACEAE								
	<i>Lagerheimia genevensis</i> (Chod.) Chod.	П	к	И	?	β	–	+	
	<i>Oocystis submarina</i> Lagerh.	П	к	Гл	?	?	+	+	
	Семейство CHLORELLACEAE								
<i>Monoraphidium arcuatum</i> (Korsch.) Hind.	П-Б	к	?	?	β	+	+		
<i>M. circinale</i> (Nyg.) Nyg.	П	?	И	Ал	?	+	–		
<i>M. contortum</i> (Thurn.) Kom.-Legn.	П	к	И	?	β	–	+		
<i>M. griffithii</i> (Berk.) Kom.-Legn.	П	к	И	?	β	–	+		

	Местообитание	Географическое распространение	Глобность	Отношение к рН среды	Сапробность	Встречаемость		
						1991–1992 гг.	2001 г.	
	Класс CHLOROPHYCEAE							
	Порядок CHLOROCOCCALES							
	Семейство COELASTRACEAE							
	<i>Coelastrum microporum</i> Näg. in A. Br.	П	к	И	Ин	β	-	+
	Семейство SCENEDESMACEAE							
	<i>Crucigenia tetrapedia</i> (Kirchn.) W. et G. S. West	П	к	И	Ин	β	-	+
	<i>Didymocystis planctonica</i> Korsch.	П	к	И	?	β	-	+
	<i>Scenedesmus falcatus</i> Chod.	П	к	Ог	Ал	β	-	+
	<i>S. intermedius</i> (R. Chod.) Hegew	П-Б	к	?	?	β	-	+
	<i>S. obliquus</i> (Turp.) Kütz.	П-Б	к	?	?	β-ρ	+	-
	<i>S. protuberans</i> Fritsch	П	к	И	Ин	?	-	+
	<i>S. quadricauda</i> (Turp.) Bréb.	П	к	Ог	Ин	β	-	+
	Класс CHLAMYDOPHYCEAE							
	Порядок CHLAMYDOMONADALES							
	Семейство CHLAMYDOMONADACEAE							
	<i>Carteria globosa</i> Korsch.	П	к	И	?	?	-	+
	<i>C. multifilis</i> (Fres.) Dill.	П	к	И	?	β-α	-	+
	<i>Chlamydomonas globosa</i> Snow.	П	к	Ог	?	β	+	+
	<i>C. simplex</i> Pasch.	П	к	И	?	α	-	+
	Семейство PHACOTACEAE							
	<i>Pteromonas aculeata</i> Lemm.	П	к	И	?	β	-	+
	Класс ULOTRICHOPHYCEAE							
	Порядок ULOTRICHALES							
	Семейство ULOTROCHACEAE							
	<i>Koliella longiseta</i> (Vischer) Hind.	П	к	И	?	β	-	+
	Класс CONJUGATORPHYCEAE							
	Порядок DESMIDIALES							
	Семейство CLOSTERIACEAE							
	<i>Closterium acutum</i> (Lyngb.) Bréb. var. <i>acutum</i>	П	к	И	?	β-о	+	+
	<i>C. acutum</i> var. <i>variabile</i> (Lemm.) Krieg.	Б	?	?	?	β	-	+
	Семейство DESMIDIACEAE							
	<i>Cosmarium abbreviatum</i> W. et G.S. West	П	к	?	?	?	-	+
	<i>C. margariferum</i> Menegh.	Б	к	И	?	?	-	+
	<i>C. rectangulare</i> Grun.	Л	к	?	?	?	-	+
	<i>Staurastrum tetracerum</i> Ralfs	П	к	И	?	о	-	+

ОТДЕЛ CHLOROPHYTA

ОТДЕЛ STREPTOPHYTA

видовое богатство альгофлоры планктона было минимальным (31 таксон водорослей рангом ниже рода). После прекращения техногенного и в особенности токсикогенного воздействия на водоем (далее – 2001 г.) общее число видовых и внутривидовых таксонов водорослей возросло в 2.3 раза и составило 71 видовой и внутривидовой таксон водорослей.

Изменения были отмечены и в таксономической структуре альгофлоры (Табл. 4). Так, если в 1991–1992 гг. альгофлору планктона оз. Шламонакопительное можно было охарактеризовать как синезелено-диатомовую с заметным участием криптофитовых и зеленых водорослей, то в 2001 г. – уже как зелено-синезеленую с заметным участием диатомовых водорослей, что более приближено к естественному таксономическому типу альгофлоры планктона малых водоемов данного региона (Корнева, 2015; Кривина и Тарасова, 2017а, б; Протисты и бактерии..., 2009).

В исследуемом водоеме от 1991–1992 гг. к 2001 г. наряду с ростом общего видового богатства альгофлоры отмечалось увеличение числа видов водорослей, способных к миксотрофному типу питания (криптофитовые, динофитовые, эвгленовые водоросли, ряд диатомовых и зеленых водорослей), причем динофлагелляты в 1991–1992 гг. в водоеме не встречались вовсе. Возможно, что с прекращением жесткого техногенного воздействия на водоем в озере начали активно протекать деструктивные процессы, в результате которых стало появляться доступное для питания миксотрофов органическое вещество; кроме того, увеличилось число бактерий, также являющихся для них пищей (Балашова и др., 1989; Копылов и Косолапов, 2011).

Уровень насыщенности крупных таксономических рангов альгофлоры планктона (порядков и

семейств) исследуемого водоема, рассчитанный путем применения флористических коэффициентов (Шмидт, 1980, 1984), увеличивался от 1991 к 2001 г. (Рис. 1), что отражает усложнение общей таксономической структуры водоема и является позитивным признаком трансформации экосистемы водоема после прекращения промышленной эксплуатации. Однако следует отметить, что уровень родовой и видовой насыщенности был низок на каждом из периодов исследования, а в альгофлоре планктона большая часть видов и родов были моно- и дитипическими. Это позволяет выдвинуть предположение, что, несмотря на общую положительную динамику, в водоеме вплоть до 2001 г. сохранялись «жесткие» условия существования с явно выраженными процессами антропогенного эвтрофирования, что также было отмечено и для других водоемов системы Васильевских озер (Охапкин и др., 2003; Протисты и бактерии..., 2009; Трифонова, 1990).

Альгофлора планктона оз. Шламонакопительное в каждый из периодов исследования характеризовалась высоким уровнем видовой специфичности. Коэффициент сходства Серенсена (K_s) между альгоценозами в период интенсивной промышленной эксплуатации (1991–1992 гг.) и после ее прекращения (2001 г.) был низким и составил 44%. Уровень преемственности видов водорослей также был невысок (28%). Комплекс преемственных видовых и внутривидовых таксонов состоял из 22 видов водорослей. Среди наиболее таксономически значимых отделов уровень преемственности для синезеленых водорослей составил 58%, диатомовых – 38%, зеленых – 22%.

Для оценки степени трансформации таксономической структуры фитопланктона оз. Шламонакопительное от 1991 к 2001 г. был применен

Табл. 4. Роль основных отделов в формировании таксономической структуры альгофлоры планктона оз. Шламонакопительное на различных этапах исследования. Перед чертой указано число таксонов рангом ниже рода, после черты – % от общего числа видов, разновидностей и форм водорослей.

Отдел	1991–1992 гг.	2001 г.
Cyanoprokaryota	9/29	15/21
Bacillariophyta	7/23	14/20
Cryptophyta	6/19	8/11
Dinophyta	0/0	3/4
Euglenophyta	2/7	4/6
Chlorophyta	6/20	21/30
Streptophyta	1/3	6/9
Всего	31	71

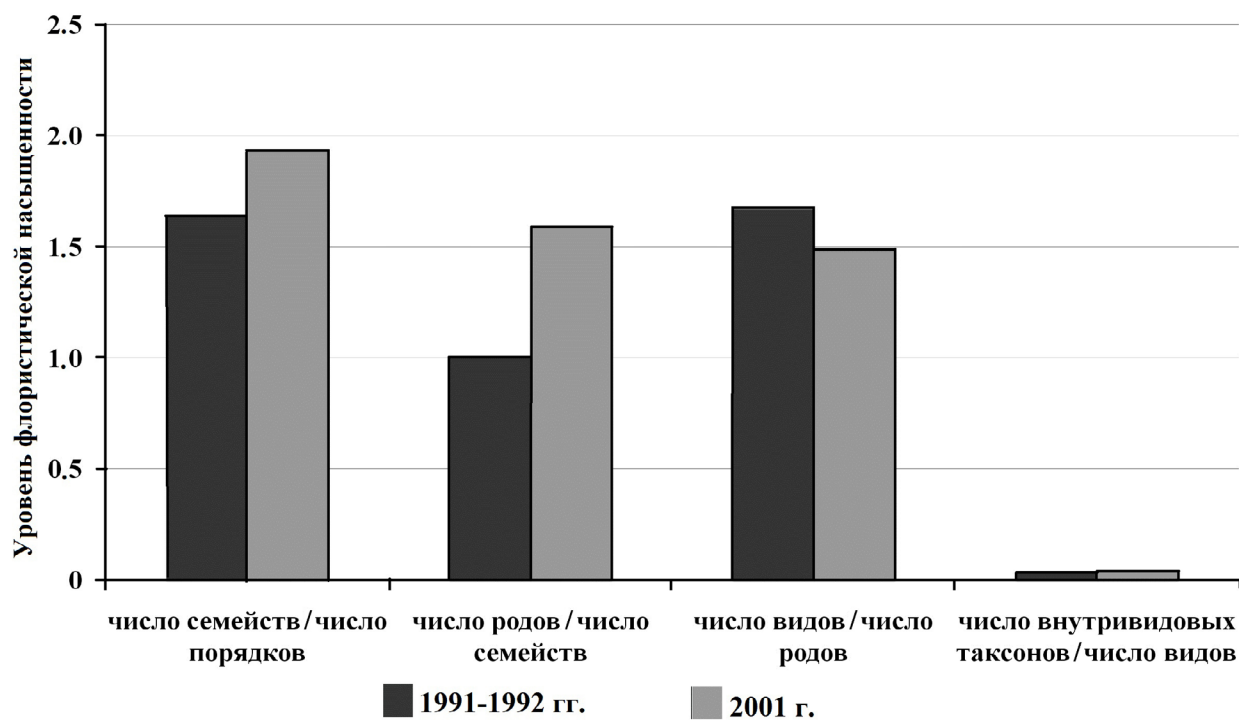


Рис. 1. Уровень флористической насыщенности различных таксономических рангов альгофлоры планктона исследуемого водоема.

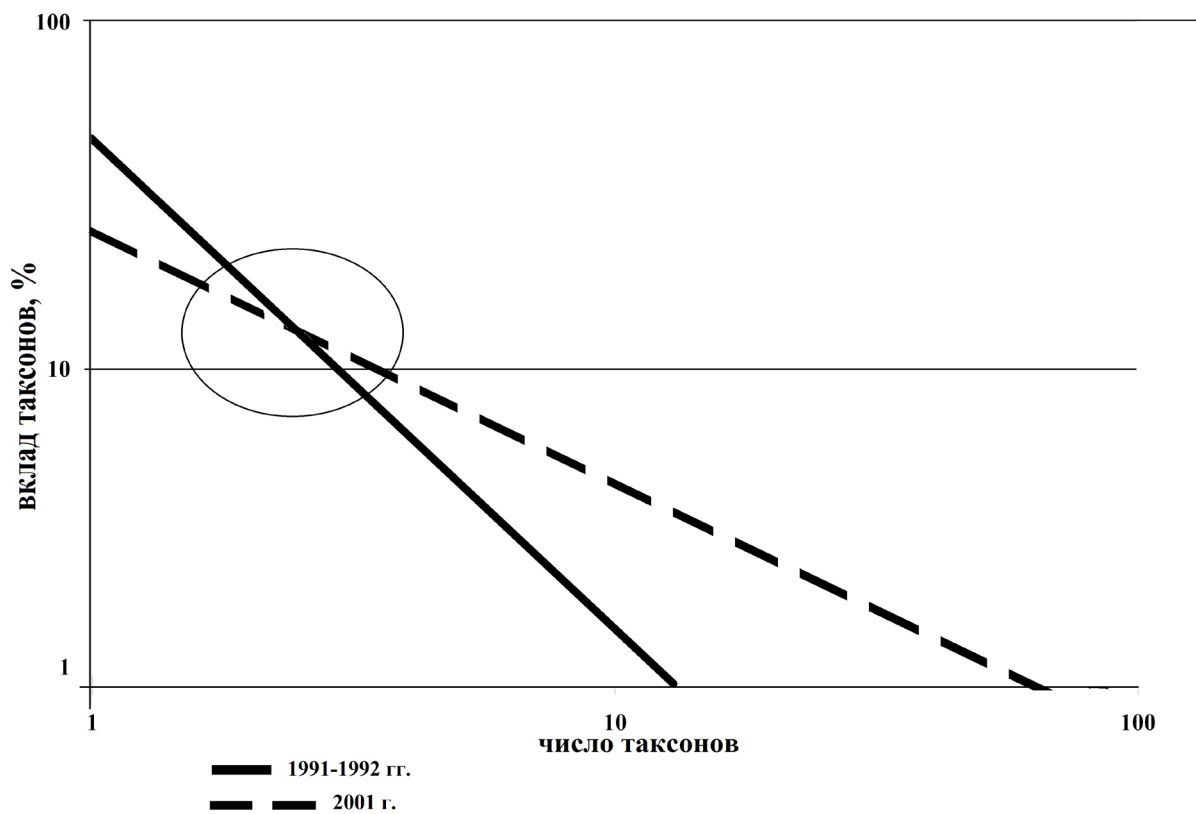


Рис. 2. Графический анализ трансформации таксономической структуры альгофлоры планктона оз. Шламонакопительное в 1991–1992 гг. и в 2001 г. в логарифмической системе координат.

графический анализ кривых доминирования по численности отдельных видов фитопланктона в соответствии с установленной методикой (Колмар, 2006; Оствальд, 1987; Разумовский и Моисеенко, 2009). В ходе работы было установлено, что в исследуемый промежуток времени пространственно-временная трансформация таксономических пропорций происходила по типу образования генерации результирующих линий с единым центром локализации (Рис. 2), т. е. трансформация находилась в активном фазисе.

Уравнения результирующих линий по типу степенной зависимости $Y = kX^a$ между значениями X (порядком таксона) и Y (его относительной численностью), полученные в логарифмической системе координат, представлены в Табл. 5. Изменение значений параметра a , от 1991 г. к 2001 г. демонстрирует ослабление негативного влияния на экосистему. Уменьшение значения коэффициента k , свидетельствует об увеличении числа таксонов, поддерживающих экологическую устойчивость экосистем водоемов, и снижении допустимого нижнего порога их относительной численности, т. е. постепенно увеличивается стабильность экосистем во времени и способность противостоять внешним неблагоприятным факторам среды (Колмар, 2006; Разумовский и Моисеенко, 2009). Это, несомненно, является позитивным признаком самопроизвольной трансформации после снятия техногенного пресса.

Таким образом, можно предположить, что трансформация имела позитивный характер и в конечном счете могла бы привести к достижению состояния стабильного экологического равновесия экосистемы озера, если бы не интенсивный процесс заиливания источников грунтовых вод и, как следствие, последующее обмеление и превращение водоема в эфемероидный.

Несмотря на существенный рост видового богатства, эколого-географический анализ не выявил существенных различий между основными характеристиками альгофлоры планктона оз. Шламонакопительное в 1991–1992 гг. и в 2001 г. Основная масса зарегистрированных видов, разновидностей и форм водорослей относи-

лась к планктонным организмам в зависимости от традиционного местообитания (по 73% от числа внутриродовых таксонов, для которых оно известно, в 1991–1992 гг. и в 2001 г., Табл. 6); также была заметна доля литоральных форм (13% и 12% в 1991–1992 гг. и в 2001 г. соответственно).

Подавляющее число видов, разновидностей и форм водорослей имели широкое географическое распространение (93% и 97% от числа таксонов водорослей рангом ниже рода, для которых известно их географическое распространение, в 1991–1992 гг. и 2001 г. соответственно).

По отношению к солености воды основная масса встреченных водорослей была представлена видами-индифферентами (80% в 1991–1992 гг. и 79% – в 2001 г.). Заметна была доля галофильных (12% и 14%) и олигогалобных организмов (8% и 7%).

По отношению к рН среды преобладали водоросли-алкалифилы, которые составляли в 1991–1992 гг. 54%, а в 2001 г. – 50% от общего числа видов, разновидностей и форм, для которых известно отношение к рН среды. Также заметна была доля форм, индифферентных к данному показателю, – 31% в 1991–1992 гг. и 36% в 2001 г.

К видам-индикаторам различной степени органического загрязнения водоемов в 1991–1992 гг. относились 24 таксона рангом ниже рода, в 2001 г. – 54. Основная часть водорослей-сапробионтов – виды-индикаторы средней степени органического загрязнения (β -мезосапробы) (по 42% в 1991–1992 гг. и в 2001 г.). На долю видов-индикаторов низкой степени органического загрязнения приходилось 38% в 1991–1992 гг. и 37% в 2001 г., высокой – 20% в 1991–1992 гг. и 21% в 2001 г.

Заключение

Прекращение промышленной эксплуатации водоема способствовало значительному росту видового богатства водорослей планктона оз. Шламонакопительное на уровне всех таксономических рангов и изменению таксономической структуры в сторону политипичности. Это позволяет сделать предположение, что трансформация сообщества фитопланктона имела позитивный характер, и экосистема водоема даже после длительного тех-

Табл. 5. Уравнения результирующих линий трансформации таксономической структуры альгофлоры планктона оз. Шламонакопительное в 1991–1992 гг. и в 2001 г.

Годы	Уравнение	Коэффициент детерминации R^2
1991–1992	$y = 46.21x^{-1.41}$	0.859
2001	$y = 26.47x^{-0.53}$	0.895

Табл. 6. Эколого-географическая характеристика альгофлоры планктона оз. Шламонакопительное в различные периоды исследования. Обозначения – как в Табл. 3.

	1991–1992 гг.	2001 г.
по местообитанию		
Б	1	6
Л	4	9
П	22	52
П-Б	3	4
Всего	30	71
по отношению к солености		
Гл	3	8
И	20	45
Ог	2	4
Всего	25	57
по распространению		
б	1	0
к	25	60
с-а	1	1
ст	0	1
Всего	27	62
по отношению к pH		
Ал	7	11
Ин	4	8
Ац	2	3
Всего	13	22

ногенного, особенно токсикогенного, воздействия имела большой потенциал к самовосстановлению и самоочищению.

Высокая видовая специфичность альгофлоры и низкий уровень преобладания видов в период интенсивной промышленной эксплуатации (1991–1992 гг.) и после ее прекращения (2001 г.) свидетельствуют о значительной трансформации экосистемы на фоне прекращения промышленной эксплуатации, при этом таксономический состав альгофлоры планктона водоема стал приближаться к флористическому типу, характерному для данного региона.

Список литературы

Балашова, Н.В., Никитин, Н.В., 1989. Природа Ленинградской области: Водоросли. Лениздат, Ленинград, СССР, 92 с.

Барина, С.С., Медведева, Л.А., 1996. Атлас водорослей-индикаторов сапробности (Российский Дальний Восток). Дальнаука, Владивосток, Россия, 364 с.

Барина, С.С., Медведева, Л.А., Анисимова, О.В., 2006. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. Pulies Studio, Тель-Авив, Израиль, 498 с.

Вассер, С.П., Кондратьева, Н.В., Масюк, Н.П., Паламарь-Мордвинцева, Г.М., Ветрова, З.И., Кордюм, Е.Л., Мошкова, Н.А., Приходькова, Л.П., Коваленко, О.В., Ступина, В.В., Царенко, П.М., Юнгер, В.П., Радченко, М.И., Виноградова, О.Н., Бухтиярова, Л.Н., Разумна, Л.Ф., 1989. Водоросли. Справочник. Наукова Думка, Киев, СССР, 608 с.

Герасимова, Н.А., 1996. Фитопланктон Саратовского и Волгоградского водохранилищ. ИЭВБ РАН, Тольятти, Россия, 200 с.

Голлербах, М.М., 1977. Водоросли и их отличия от других растений. В: Голлербах, М.М. (ред.), *Жизнь растений*. Т. 3. Просвещение, Москва, СССР, 7–9.

- Давыдова, Н.Н., 1985. Диатомовые водоросли – индикаторы природных условий водоемов в голоцене. Наука, Ленинград, СССР, 244 с.
- Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные). Т. II, вып. 1., 1988. Глезер, В.И. и др. (ред.). Наука, Ленинград, СССР, 116 с.
- Китаев, С.П., 1989. Экологические основы биопродуктивности озер разных природных зон. Наука, Москва, СССР, 207 с.
- Колмар, А., 2006. География и мониторинг биоразнообразия. Москва, Россия, 379 с.
- Копылов, А.И., Косолапов, Д.Б., 2011. Микробная «петля» в планктонных сообществах морских и пресноводных экосистем. КнигоГрад, Ижевск, Россия, 330 с.
- Корнева, Л.Г., 2015. Фитопланктон водохранилищ бассейна Волги. Костромской печатный дом, Кострома, Россия, 284 с.
- Кривина, Е.С., Тарасова, Н.Г., 2017а. Особенности распределения планктонных водорослей в стратифицированном водоеме (на примере оз. Прудовиков, г.о. Тольятти). *Вода: химия и экология* 9, 55–63.
- Кривина, Е.С., Тарасова, Н.Г., 2017б. Трансформация альгофлоры техногенных озер (на примере г. Тольятти). *Вода и экология: проблемы и решения* 3 (71), 13–34.
- Литинский, Ю.Б., 1960. Некоторые вопросы геоморфологии озер Карельского региона. В: Григорьев, С.В. (ред.), *Материалы по гидрологии (лимнологии) Карелии*. Труды Карельского филиала АН СССР 27, 10–59.
- 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, 2012. Пименов, А.А. (ред.). СамГТУ, Самара, Россия, 10 с.
- Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов, 1975. Мордухай-Болтовской, Ф.А. (ред.). Наука, Москва, СССР, 240 с.
- Мингазова, Н.М., Деревенская, О.Ю., Палагушкина, О.В., Павлова, Л.Р., Набеева, Э.Г., Галева, А.И., Шигапов, И.С., Зарипова, Н.Р., Замалетдинов, Р.И., Мингалиев, Р.Р., 2014. Инвентаризация и экологическая паспортизация водных объектов как способ сохранения и оптимизации их состояния. *Астраханский вестник экологического образования* 2 (28), 37–43.
- Мошкова, Н.А., Голлербах, М.М., 1986. Зеленые водоросли. Класс Улотриковые. Определитель пресноводных водорослей СССР, вып. 10 (1). Наука, Ленинград, СССР, 360 с.
- Огуречникова, М.А., Пименов, А.А., 2012. Об использовании активных илов для очистки сточных вод. СамГТУ, Самара, Россия, 94 с.
- Огуречникова, М.А., Пименов, А.А., 2015. О современном состоянии ряда техногенных водоемов Самарской области. СамГТУ, Самара, Россия, 94 с.
- Оствальд, Г., 1987. Особенности функционирования антропогенно трансформированных водоемов. Москва, СССР, 296 с.
- Охалкин, А.Г., 1994. Фитопланктон Чебоксарского водохранилища. ИЭВБ РАН, Тольятти, Россия, 275 с.
- Охалкин, А.Г., Юлова, Г.А., Старцева, Н.А., 2003. Таксономическое разнообразие и структура альгофлоры планктона малых водоемов урбанизированных территорий. *Биология внутренних вод* 2, 51–58.
- Протисты и бактерии озер Самарской области, 2009. Жарикова, В.В. (ред). Кассандра, Тольятти, Россия, 240 с.
- Прошкина-Лавренко, А.И., 1953. Диатомовые водоросли – показатели солености воды. В: Прошкина-Лавренко, А.И., Шешукова, В.С. (ред.), *Диатомовый сборник. Вып. I*. ЛГУ, Ленинград, СССР, 187–205.
- Разумовский, Л.В., Моисеенко, Т.И., 2009. Оценка пространственно-временных трансформаций озерных экосистем методом диатомового анализа. *Доклады академии наук. Общая биология* 429 (3), 274–277.
- Спиридонов, С.Н., 2006. Роль техногенных водоемов в формировании урбанизированных ландшафтов. Москва, Россия, 144 с.
- Трифонов, И.С., 1990. Экология и сукцессия озерного фитопланктона. Наука, Ленинград, СССР, 183 с.

- Фитопланктон Нижней Волги. Водохранилища и низовье реки, 2003. Трифонова, И.С. (ред.). Наука, Санкт-Петербург, Россия, 231 с.
- Царенко, П.М., 1990. Краткий определитель хлорококковых водорослей Украинской ССР. Наукова Думка, Киев, СССР, 208 с.
- Шмидт, В.М., 1980. Статистические методы в сравнительной флористике. Наука, Ленинград, СССР, 176 с.
- Шмидт, В.М., 1984. Математические методы в ботанике. ЛГУ, Ленинград, СССР, 288 с.
- Экологические проблемы Верхней Волги, 2001. Копылов, А.И (ред.). ЯГТУ, Ярославль, Россия, 427 с.
- Anneville, O., Ginot, V., Angeli, N., 2002. Restoration of Lake Geneva: Expected versus observed responses of phytoplankton to decreases in phosphorus. *Lakes & Reservoirs: Research and Management* **7**, 67–80.
- Birch, S., McCaskie, J., 1999. Shallow urban lakes: a challenge for lake management. *Hydrobiologia* **395/396**, 365–377.
- Kleeberg, A., 2003. Re-assessment of Wundsch's (1940) "H₂S-Oscillatoria-lake" type using the eutrophic lake Scharmützel (Brandenburg, NE Germany) as an example. *Hydrobiologia* **501**, 1–5.
- Komárek, J., Anagnostidis, K., 1999. Cyanoprocaryota 1. Teil: Chroococcales. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd. 19/1. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Deutschland, 548 S. (In German).
- Komárek, J., Anagnostidis, K., 2005. Cyanoprocaryota 2. Teil: Oscillatoriales. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd. 19/2. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Deutschland, 759 S. (In German).
- Krammer, K., Lange-Bertalot, H., 1986. Bacillariophyceae. 1. Teil: Naviculaceae. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd. 2/1. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Deutschland, 876 S. (In German).
- Krammer, K., Lange-Bertalot, H., 1988. Bacillariophyceae. 2. Teil: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd. 2/2. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Deutschland, 596 S. (In German).
- Krammer, K., Lange-Bertalot, H., 1991a. Bacillariophyceae. 3. Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd. 2/3. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Deutschland, 576 S. (In German).
- Krammer, K., Lange-Bertalot, H., 1991b. Bacillariophyceae. 4. Teil: Achnanthaceae, kritische Ergänzungen zu Navicula (Lineolatae) und Gomphonema. Teil 4. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd. 2/4. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Deutschland, 437 S. (In German).
- Popovský, J., Pfiester, L.A., 1990. Dinophyceae (Diniflagellida). Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd. 6. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Deutschland, 272 S. (In German).
- Sládeček, V., 1973. System of water quality from the biological point of view. *Achieves für Hydrobiologie – Beiheft Ergebnisse der Limnologie* **7**, 1–218.
- Sládeček, V., 1986. Diatoms as indicators of organic pollution. *Acta Hydrochimica et Hydrobiologica* **14** (5), 555–566.
- Wegl, R., 1983. Index für die Limnosaprobität. *Wasser und Abwasser* **3** (26), 175. (In German).

The taxonomic and ecological-floristic characteristics of the phytoplankton of a technogenic reservoir after the cessation of industrial exploitation by the example of Lake Shlamonakopitelnoe (Samara Region, Russia)

Elena S. Krivina*, Natalia G. Tarasova

Institute of Ecology of the Volga River Basin, Russian Academy of Sciences, ul. Komzina 10, Togliatti, Samara Region, 445003 Russia

**pepelisa@yandex.ru*

The plankton algae species composition in the technogenic reservoir and the changes observed after the cessation of industrial exploitation have been studied using Lake Shlamonakopitelnoe as an example (Vasilievskie Oзера lake system, Samara Region, Russia). Comparison of the species composition and taxonomic structure of phytoplankton during the period of active industrial exploitation (1991–1992) and the post-exploitation period (2001) revealed an increase in the algae species richness and an increased complexity of the taxonomic structure. Therefore, this was the positive transformation of the phytoplankton community. The high species specificity of algaeflora and the low level of species continuity in each study period indicated a significant degree of ecosystem transformation against the background of cessation of exploitation.

Keywords: phytoplankton, technogenic water body, floristic analysis, ecological-geographical analysis, indicator species, graphical analysis, saprobity.