Вестник Томского государственного университета. Биология. 2020. № 4. С. 128–148

ЭКОЛОГИЯ

УДК 574.583.53
doi: 10.17223/19988591/49/7

Е.С. Кривина[1], А.А. Малышева[2], Н.Г. Тарасова[1, 3], Т.П. Третьякова[3], М.В. Уманская[1]

[1] Институт экологии Волжского бассейна РАН − филиал СамНЦ РАН, г. Тольятти, Россия
[2] Средне-Волжский филиал ФГБУ «Главрыбвод», г. Самара, Россия
[3] Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти, Россия

Экологическое состояние малых водоемов различного природоохранного статуса (Самарская область)

Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных научных исследований государственных Академий наук на 2013−2020 гг. Тема АААА-Ф17-117112040040-3 «Оценка современного биоразнообразия и прогноз его изменения для экосистем Волжского бассейна в условиях их природной и антропогенной трансформации».

Впервые проведено комплексное сравнительное исследование состава и структуры фитопланктона ряда малых урбанизированных озер Самарской области с различным уровнем охраны и степенью антропогенной нагрузки – оз. Яицкое (региональный памятник природы), оз. Гатное (объект регионального природного наследия) и оз. Большое Васильевское (водоем переходной зоны Средне-Волжского комплексного биосферного резервата). Показан современный таксономический состав фитопланктона данных водоемов. Установлено, что, несмотря на различия в природоохранном статусе, альгофлора всех водоемов характеризовалась как зелено-диатомово-цианопрокариотная. Показатели количественного развития фитопланктона исследуемых озер оценены как высокие. По значениям биомассы водорослей, средней за период наблюдения, оз. Большое Васильевское относилось к гипертрофному типу, оз. Гатное и оз. Яицкое − к эвтрофному типу. Проведенный сапробиологический анализ качества воды показал, что во всех исследуемых водоемах средняя степень загрязнения вод. Оценка флористического состава, соотношения таксономических рангов, показателей количественного развития и структуры комплекса видов-доминантов выявил признаки дисбаланса в экосистемах данных озер и развитие «осциллаториевой» болезни вследствие антропогенного воздействия и отсутствия биогенного лимитирования вне зависимости от природоохранного статуса исследуемых водоемов.

Ключевые слова: *фитопланктон; таксономический состав; видовое разнообразие; качество воды; эвтрофирование.*

Введение

Сегодня в связи с глобальным изменением климата и возрастающим антропогенным воздействием на окружающую среду по всему миру проблема сохранения природы и рационального использования ее ресурсов, в т.ч. водных, как никогда актуальна. Водоемы и водотоки, расположенные в рамках антропогенно измененного ландшафта, постепенно трансформируются и ход естественной эволюции их экосистем нарушается [1–3]. Так, уже к середине XX в. для значительной части малых водоемов Европы в черте культурного ландшафта отмечалось интенсивное развитие ряда негативных процессов: токсификации, заиливания и аккумуляции загрязняющих веществ, массовое развитие токсичных цианопрокариот [4–6].

В наиболее уязвимом положении оказываются уникальные малые водоемы с ограниченным режимом охраны. Так, озера и реки, имеющие статус памятников природы, особенно регионального значения, подвергаются мощной экскурсионно-туристической и рекреационной нагрузке. Во многих таких водоемах отмечается массовое купание в традиционно сложившихся местах, отлов рыбы, проезд и стоянка транспортного средства, загрязнение бытовыми отходами и т.д. В еще более сложном положении оказываются водные объекты, расположенные на границах природоохранных территорий, но сами не имеющие природоохранного статуса. Разрушение экосистем таких водоемов оказывает непосредственное влияние на близрасположенные объекты особо охраняемых природных территорий (ООПТ) [7, 8]. Сохранение экосистем всех этих водоемов имеет большое научное и практическое значение и соответствует интересам поддержания главного природного ресурса России и мира – биоразнообразия [2, 7, 9].

Самарская область является высокоурбанизированным регионом с высокой концентрацией городского населения и промышленного производства. Интенсивная антропогенная нагрузка, активная сельскохозяйственная и производственная деятельность способствовали резкому сокращению биологического разнообразия. При этом Самарская область является единственным субъектом Российской Федерации, где на законодательном уровне признано необходимым охранять не только отдельных представителей растительного и животного мира (ведение Красных книг), но и среды их обитания (ведение Зеленой книги – редких и исчезающих растительных сообществ, и Голубой – редких и исчезающих гидробиоценозов) [10, 11]. С этой позиции выявление редких гидробиоценозов Самарской области и гидробиоценозов, нуждающихся в охране, является важным шагом, который позволит осуществить экосистемный подход в охране и сохранении редких видов животных и растений, жизнь которых связана с водой [11, 12].

Поскольку фитопланктон является чутким индикатором состояния окружающей среды, быстро реагирующим на любые произошедшие в ней изменения, альгологические исследования позволяют выявить и оценить не-

благоприятные изменения во всей экосистеме водоема даже при проведении краткосрочного мониторинга [13, 14].

Цель работы – анализ состава и структуры фитопланктона ряда малых урбанизированных озер Самарской области с различным уровнем охраны и степенью антропогенной нагрузки.

Материалы и методики исследования

Для анализа состава и структуры фитопланктона малых урбанизированных озер Самарской области в качестве модельных использованы: оз. Яицкое (памятник природы регионального значения); оз. Гатное (объект природного наследия Самарской области); оз. Большое Васильевское − малый урбанизированный водоем, расположенный на границе переходной зоны Средне-Волжского комплексного биосферного резервата.

Озера Гатное и Яицкое относятся к системе террасовых озёр-стариц левобережной поймы р. Самара. Озеро Гатное соединяется с рекой рядом узких проток и в период весеннего половодья полностью заливается. Озеро Яицкое, напротив, изолировано. Пополнение этого водоема происходит в основном за счет грунтовых вод, атмосферных осадков и талых вод [10, 15, 16].

Озеро Большое Васильевское входит в систему малых водоемов (Васильевские озера) на окраине г.о. Тольятти. Озеро заключено между 3 участками Средне-Волжского комплексного биосферного резервата: Ставропольский бор, Узюковский лес и Пискалинский участок. Водоем бессточный. Питание происходит за счёт атмосферных осадков и подземного водообмена [11].

Все исследованные водоемы по морфометрическим параметрам относятся к категории малых и очень малых водоемов (табл. 1) [17].

Таблица 1 [Table 1]

Морфометрическая характеристика исследуемых озер
[Morphometric characteristics of the studied lakes]

Водоем [Reservoir]	Географические координаты [Geographic coordinates]	Площадь, м² [Area, m²]	Средняя длина, м [Average length, m]	Максимальная глубина, м [Maximum depth, m]
Озеро Гатное [Lake Gatnoe]	53°14'93"N 50°11'83"E	640 000	6 350	3,5
Озеро Яицкое [Lake Yaitskoe]	53°10'85"N 50°17'46"E	170 000	1 950	3
Озеро Большое Васильевское [Lake Bolshoe Vasilievskoe]	53°54'40"N 49°53'24"E	665 000	2 260	3,3

На экосистемы водоемов оказывают негативное воздействие аграрная и рекреационная нагрузка, дорожная инфраструктура. Интенсивная антро-

погенная нагрузка провоцирует развитие эвтрофирования и деградации как экосистемы самих озер, так и сопредельных уникальных природных территорий [10, 11, 15, 16].

Альгологические пробы отобраны ежемесячно с мая по ноябрь 2013–2014 гг. с поверхностного горизонта в наиболее глубоководной открытой пелагической части оз. Гатное и оз. Яицкое. В оз. Большое Васильевское забор материала производился с поверхности пелагической зоны в 2013 г. с июня по октябрь, в 2014 г. − с мая по ноябрь. Всего отобрано и обработано 108 проб.

Ниже приведены сводные данные по ряду физико-гидрохимических параметров среды в изучаемых водоемах в период отбора проб (табл. 2).

Таблица 2 [Table 2]

Физико-химические характеристики в поверхностном горизонте исследуемых озер в 2013−2014 гг.
[Physical and chemical parameters of the surface horizon of the studied lakes from 2013 to 2014] (*M* ± *mM*)

Водоем [Reservoir]	Год наблюдений [Year of observation]	Период [Season]	Прозрачность, м [Transparency, m]	Temperature, °C	pH	Кислород, г/м^3 [Oxygen, g/m^3]
Оз. Гатное [Lake Gatnoe]	2013	V−XI	0,50 ± 0,05	18,1 ± 0,1	7,10 ± 0,05	10,65 ± 0,05
	2014	V−XI	0,40 ± 0,05	17,9 ± 0,1	6,89 ± 0,05	10,78 ± 0,05
Оз. Яицкое [Lake Yaitskoe]	2013	V−XI	0,40 ± 0,05	18,5 ± 0,1	6,68 ± 0,05	9,76 ± 0,05
	2014	V−XI	0,46 ± 0,05	18,1 ± 0,1	6,83 ± 0,05	9,15 ± 0,05
Оз. Большое Васильевское [Lake Bolshoe Vasilievskoe]	2013	VI−X	0,28 ± 0,05	20,5 ± 0,1	9,92 ± 0,05	11,22 ± 0,05
	2014	V−XI	0,36 ± 0,05	17,8 ± 0,1	9,18 ± 0,05	10,41 ± 0,05

Значения физико-химических параметров среды укладывались в нормы, традиционные для данной местности [10, 11, 13]. Ввиду мелководности исследуемых водоемов температурная стратификация в водных массах не регистрировалась. Максимальные показатели температуры традиционно регистрировались на поверхности во второй половине лета. Содержание растворенного кислорода оценивалось как значительное в течение всего периода наблюдений, pH среды – как щелочная. Минимум содержания растворенного кислорода и максимум концентрации ионов водорода приходились на вторую половину лета в период активной вегетации цианопрокариот.

В соответствии с рекомендациями альгологов ИБВВ РАН (п. Борок), обобщенных в работе Л.Г. Корневой [13], отбор проб фитопланктона прове-

ден батометром Руттнера, материал зафиксирован 40%-ным раствором формалина [15, 18, 19б]. Подсчет клеток проведен в камере «Учинская» (Россия) объемом 0,01 мл. Видовая идентификация водорослей и подсчет клеток проведены при увеличении ×600 на микроскопе «BIOLAR PI» (ООО «Биолар», Польша) с помощью отечественных и зарубежных определителей [19–27]. В соответствии с функциональной классификацией фитопланктона в зависимости от характеристик преобладающих экологических форм водорослей по методу Рейнольдса с соавт. [28] к цианопрокариотам S_1-типа (планктотрихетовый тип) относили нитчатые безгетероцистные формы цианопрокариот, включающие в себя виды, ранее принадлежавшие к р. *Oscillatoria*, к М-типу представителей р. *Microcystis*, H_1-типу представителей р. *Anabaena*, *Aphanizomenon*.

Степень общности видового состава альгофлор водоемов оценивали с использованием коэффициента Серенсена (Ks). Уровень ценотического разнообразия и степень выравненности сообщества характеризовали с помощью индексов Шеннона (H) и Пиелу (E) соответственно с учетом стандартного отклонения. К доминирующим видам относили те, численность и биомасса которых составляли 10% и более от общего значения. Степень доминирования отдельных видов определяли с помощью индекса доминирования Симпсона (S). Для статистического изучения связи между показателями использовали коэффициент ранговой непараметрической корреляции Спирмена (R_s) [29]. Уровень трофности озер определяли по показателю общей биомассы фитопланктона [14]. Все этапы статистической обработки данных и построение графических изображений (таблицы, диаграммы, гистограммы) выполнены с использованием программ StatSoft STATISTICA 8.0 и MO Excel.

Оценка сапробности вод проведена по методу Пантле и Букка в модификации Сладечека, используя известные индикаторные значения сапробности отдельных видов [30–32].

Результаты исследования и обсуждение

Водоросли играют важнейшую роль в водоемах Земли, являясь главным продуцентом органического вещества и кислорода. Видовое богатство, таксономическая структура альгофлоры планктона в водоеме, состав комплекса доминирующих видов зависят от биотических и абиотических факторов в нем. Анализ перестройки таксономической структуры фитопланктона в результате изменения типа и уровня антропогенной нагрузки на водоем позволяет проследить ответную реакцию этой группы организмов на такие изменения [9, 14, 17].

В результате проделанной работы в составе фитопланктона изучаемых водоемов зарегистрировано 435 таксонов водорослей рангом ниже рода. Они относились к 10 отделам, 15 классам, 23 порядкам, 59 семействам и 137 родам (табл. 3).

Таблица 3 [Table 3]

Таксономическая структура фитопланктона исследуемых водоемов
[Taxonomic composition of phytoplankton of the studied lakes]

Отдел [Phylum]	Класс [Class]	Порядок [Order]	Семейство [Family]	Род [Genus]	Вид [Species]	Варитет, форма [Varietas, subspecies]	Всего видовых и внутривидовых таксонов [Total species and intraspecific taxa]
Cyanoprokaryota	2	3	9	27	61	1	62
Chrysophyta	1	2	5	7	12	0	12
Bacillariophyta	2	6	16	25	79	16	95
Xanthophyta	1	1	2	3	8	0	8
Cryptophyta	1	1	1	3	16	0	16
Dinophyta	1	2	5	10	19	0	19
Raphydophyta	1	1	1	1	1	0	1
Euglenophyta	1	1	1	5	43	9	52
Chlorophyta	4	5	17	53	137	6	143
Streptophyta	1	1	2	3	22	5	27
Итого [Total]	15	23	59	137	398	37	435

Наибольшим видовым богатством отличались следующие отделы: зеленые водоросли (33% от общего числа видов, разновидностей и форм), диатомовые водоросли (22%) и цианопрокариоты (14%). Доля представителей других отделов водорослей не превышала 10% от общего видового богатства. Отметим, что преобладание зеленых и диатомовых водорослей по видовому богатству вообще характерно для большинства водоемов и водотоков умеренной зоны [9, 11, 33]. Цианопрокариоты, как и в нашем случае, занимают третье место в ранжированном ряду отделов в водохранилищах р. Волги, пойменных озерах Оренбургской области, урбанизированных водоемах г. Самары, а также ряде серных водоемов северо-востока Самарской области [6, 11, 34].

Видовое богатство водорослей каждого из исследуемых водоемов в соответствии с работой И.С. Трифоновой [14] можно считать значительным. Так, в составе альгофлоры планктона оз. Гатное зарегистрировано 324 таксона водорослей рангом ниже рода. В оз. Яицкое и в оз. Б. Васильевское видовое богатство водорослей несколько ниже и составляло 313 и 316 таксонов соответственно. Во всех рассмотренных водоемах альгофлора планктона являлась зелено-диатомово-цианопрокариотной (рис. 1). Примечательно низкое видовое богатство в каждом из водоемов золотистых и желто-зеленых водорослей, которые традиционно считаются обитателями чистых пресноводных водоемов [14, 13]. Это позволяет предположить, что даже в водоемах – памятниках природы экологическая обстановка неблагоприятная.

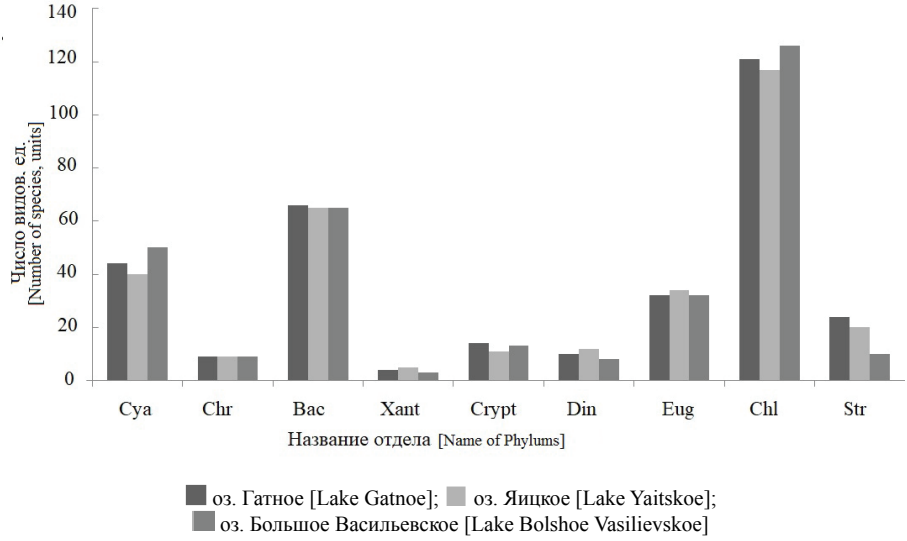


Рис. 1. Таксономическая структура альгофлоры исследованных водоемов в 2013−2014 гг.
[Fig. 1. The algal taxonomic structure of the studied lakes from 2013 to 2014]:
Cya – Cyanoprokaryota, Chr – Chrysophyta, Bac – Bacillariophyta,
Xant – Xanthophyta, Crypt – Cryptophyta, Din – Dinophyta, Eug – Euglenophyta,
Chl – Chlorophyta, Str – Streptophyta

Применение ряда флористических коэффициентов показало, что для альгофлор планктона исследуемых водоемов характерны невысокие коэффициенты флористической насыщенности таксономических рангов различного уровня (табл. 4). Так, коэффициенты родовой и видовой насыщенности по своим значениям сопоставимы с аналогичными показателями альгофлор так называемых «техногенных» водоемов системы Васильевских озер, ранее подвергавшихся промышленной эксплуатации и переживающих период восстановления, а также ряда других малых водоемов культурного и антропогенно трансформированного ландшафта, испытывающих мощную антропогенную нагрузку [4, 6, 13, 33]. Все это позволяет охарактеризовать условия существования во всех исследованных водоемах как «жесткие», с явно выраженными процессами антропогенного эвтрофирования и отсутствия биогенного лимитирования, что особенно неблагоприятно для экосистем водоемов ООПТ [7, 11, 14, 35]. Наибольшее беспокойство в этом плане вызывает экосистема оз. Яицкое, где внутренняя насыщенность таксонов различного ранга минимальна, а доля моно- и дитипических родов максимальна и превышала 45%. Примечательно, что и ряд других водоемов Средне-Волжского комплексного биосферного резервата, обладающих более высоким природоохранным статусом, также характеризуется относительно невысокими значениями флористических коэффициентов таксономического разнообра-

зия, что, на наш взгляд, может указывать на общую высокую антропогенную трансформированность ландшафта Самарской области и высокие фоновые значения загрязнений [6, 13, 32, 35].

Таблица 4 [Table 4]

Соотношение таксономических рангов альгофлоры планктона различных водоемов
[The ratio of taxonomic ranks of phytoplankton of the studied lakes]

Водоем [Reservoir]	Число семейств / число порядков [Number of families/number of orders]	Число родов / число семейств [Number of genera/number of families]	Число видов / число родов [Number of species/number of genera]	Число внутривидовых таксонов / число видов [Number of intraspecific taxa/number of species]
Оз. Гатное [Lake Gatnoe]	2,35	2,39	2,72	0,06
Оз. Яицкое [Lake Yaitskoe]	2,11	1,82	1,80	0,02
Оз. Большое Васильевское [Lake Bolshoe Vasilievskoe]	2,32	2,25	2,59	0,06

Эколого-географический анализ не выявил существенных различий между альгофлорами исследованных водоемов (табл. 5). В зависимости от места обитания во всех озерах преобладали планктонные формы (58–60% видовых и внутривидовых таксонов водорослей, для которых известно их местообитание). Также заметна доля бентосных (11–14%), планктонно-бентосных (12–16%) и литоральных форм (11–13%), что, вероятно, связано с небольшой глубиной данных водоемов. По распространению преобладали космополиты (от 90%); по отношению к солености воды – индифференты (более 75%). По отношению к кислотности среды (pH) стабильно превалировали индифферентные формы (от 50−60%), при этом достаточно высока доля обитателей щелочных вод − алкалифилов и алкалибионтов (35–39%). Отметим, что результаты эколого-географического анализа в целом типичны для значительной массы водоемов умеренной зоны.

Среди встреченных видов-сапробионтов основная часть – индикаторы низкой степени органического загрязнения (от χ-о до о-α-мезосапробной зон) – 46–54% от общего числа видов водорослей-сапробионтов (рис. 2). β-мезосапробы – показатели средней степени органической нагрузки – составили соответственно 34–40%. Индикаторы высокой степени органического загрязнения (от β-α до ρ-сапробной зон) – 10–19% (рис. 3).

Однако подобное распределение видового состава водорослей нельзя считать полностью позитивным признаком, поскольку виды-индикаторы низкой степени органического загрязнения по вкладу в общую численность и биомассу фитопланктона не могут быть отнесены даже к категории массовых видов. Во всех исследованных водоемах основной вклад в

формирование показателей количественного развития водорослей вносили представители средней (36–42% по численности фитопланктона; 36–41% по биомассе) и высокой степени органического загрязнения (32–38 и 27–32% по численности и биомассе фитопланктона соответственно).

Таблица 5 [Table 5]

Эколого-географический анализ фитопланктона исследуемых озер
[Ecological and geographical analysis of phytoplankton of the studied lakes]

Экологическая группа [Ecological group]	Всего видовых и внутривидовых таксонов [Total species and intraspecific taxa]		
	Оз. Гатное [Lake Gatnoe]	Оз. Яицкое [Lake Yaitskoe]	Оз. Большое Васильевское [Lake Bolshoe Vasilievskoe]
По местообитанию [According to habitat]			
Бентосные [Benthic]	29	31	31
Литоральные [Littoral]	34	25	35
Обрастатели [Foulers]	4	3	5
Обрастатели-планктонные [Foulers and plankton]	1	1	1
Планктонные [Planktonic]	158	127	168
Планктонно-бентосные [Planktonic-benthic]	33	28	42
Планктонно-литоральные [Plankton-littoral]	1	1	1
Планктонные обрастатели [Planktonic foulers]	1	1	1
Эпибионт [Epibiont]	1	1	0
Всего [Total]	262	218	284
По распространению [According to dissemination]			
Альпийский [Alpine]	1	1	0
Бореальный [Boreal]	8	5	6
Космополит [Cosmopolitan]	189	162	185
Северо-альпийский [North-alpine]	1	1	0
Субтропический [Subtropical]	1	0	1
Тропический [Tropical]	1	1	1
Всего [Total]	201	170	193
По отношению к солености [According to salinity]			
Галофоб [Halophobs]	1	3	5
Галофил [Halophiles]	25	27	24
Индифферент [Indifferent]	132	157	169
Мезогалоб [Mesohalobs]	3	4	4
Олигогалоб [Oligohalobs]	13	12	13
Всего [Total]	174	203	215
По отношению к pH [According to pH]			
Алкалифил и алкалибионт [Alkaliphile and alkalibiont]	39	36	43
Индифферент [Indifferent]	46	61	59
Ацидофил и ацидобионт [Acidophile and acidobiont]	6	4	7
Всего [Total]	91	101	109

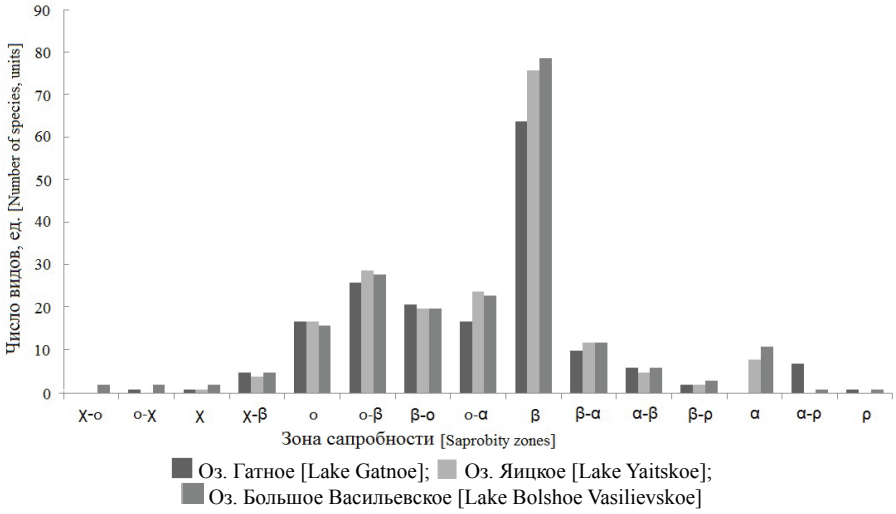


Рис. 2. Распределение видов-индикаторов сапробности исследуемых озер: (χ-o) – ксено-олигосапробы; (o-χ) – олиго-ксеносапроб; (χ) – олиго-ксеносапроб; (χ-β) – ксено-β-мезосапробы; (o) – олигосапробы; (o-β) – олиго-β-мезосапробы; (β-o) – β-олиго-мезосапробы; (o-α) – олиго-α-мезосапробы; (β) – β-мезосапробы; (β-α) – β-α-мезосапробы; (α-β) – α-β-мезосапробы; (β-ρ) − β-мезо-полисапроб, α – α-мезосапроб; α-ρ) − α-полисапроб; (ρ) – полисапроб

[**Fig. 2.** Distribution of species-indicators of saprobity in the studied lakes: (χ-o) - xeno-oligosaprobes; (o-χ) - oligo-xenosaprobes; (χ) - oligo-xenosaprobes; (χ-β) - xeno-β-mesosaprobes; (o) - oligosaprobes; (o-β) - oligo-β-mesosaprobes; (β-o) - b-oligo-mesosaprobes; (o-α) - oligo-α-mesosaprobes; (β) - β-mesosaprobes; (β-α) - β-α-mesosaprobes; (α-β) - α-β-mesosaprobes; (β-ρ) - β-mesopolysaprobes, (α) - α-mesosaprobes; (α-ρ) - α-polysaprobes; (ρ) - policyprobes. On the X-axis - Saprobity zones; on the Y-axis - Number of species, varieties and forms]

Уровень сходства видового состава исследуемых водоемов оценивался как достаточно высокий (Ks≥68%) (табл. 6), что, вероятно, связано с близкими морфометрическими, гидрофизическими, гидрохимическими параметрами водоемов, одинаковыми климатическими условиями, а также схожим профилем и уровнем антропогенной нагрузки.

Таблица 6 [Table 6]

Коэффициент видового сходства Серенсена (Ks,%) фитопланктона исследуемых озер
[Sørensen species similarity coefficient (Ks, %) in the studied lakes]

Озеро [Lakes]	Оз. Гатное [Lake Gatnoe]	Оз. Яицкое [Lake Yaitskoe]	Оз. Большое Васильевское [Lake BolshoeVasilievskoe]
Гатное [Lake Gatnoe]	100	75	68
Яицкое [Lake Yaitskoe]	75	100	78
Большое Васильевское [Lake Bolshoe Vasilievskoe]	68	78	100

Показатели количественного развития фитопланктона в период исследований наиболее высоки в оз. Большое Васильевское (рис. 3). В оз. Гатное и оз. Яицкое они оставались примерно на одном уровне и существенно уступали таковым в оз. Большое Васильевское. Среднесезонные за исследуемый период значения показателей количественного развития фитопланктона сопоставимы с аналогичными показателями развития фитопланктона других малых водоемов антропогенно трансформированного ладшафта [11, 16, 31−37].

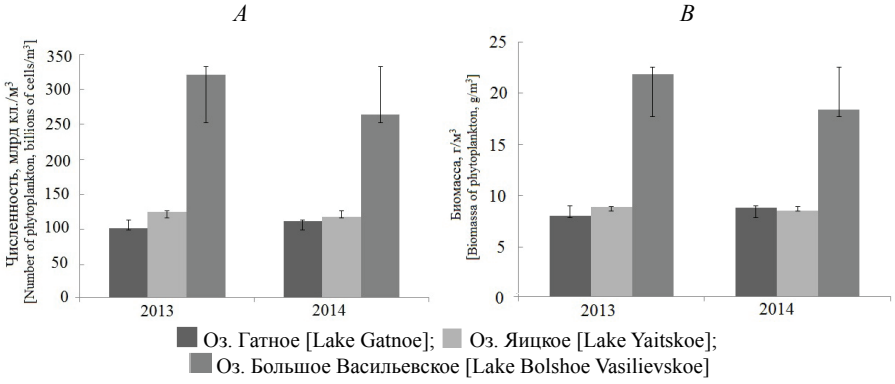


Рис. 3. Средняя численность $N \pm SD$ (*A*) и средняя биомасса $B \pm SD$ (*B*) фитопланктона в исследуемых водоемах в 2013−2014 гг.

[Fig. 3. Mean number $N \pm SD$ (*A*) and mean biomass $B \pm SD$ (*B*) of phytoplankton in the studied lakes from 2013 to 2014, where SD - Standard Deviation. On the X-axis - Year of phytoplankton sampling; on the Y-axis: *A* - Number of phytoplankton, billions of cells/m^3; *B* - Biomass of phytoplankton, g/m^3]

Как показывают многочисленные исследования, видовой состав фитопланктона связан с уровнем органического загрязнения водоема. Так, в водоемах с низким уровнем трофности в фитопланктоне среди массовых видов преобладают золотистые, десмидиевые, динофитовые и диатомовые центрические водоросли. По мере увеличения содержания органических веществ в водоемах возрастает роль зеленых хлорококковых водорослей, диатомовых, динофитовых и эвгленовых водорослей. В эвтрофных и гипертрофных водоемах преобладают, как правило, цианопрокариоты и динофитовые водоросли [11, 32, 33, 36].

Во всех исследованных водоемах ведущую роль в формировании численности фитопланктона вносили цианопрокариоты. Их вклад в формирование средних за период наблюдения значений численности максимален в водоеме урбанизированного ландшафта – оз. Большое Васильевское (89%), минимален – в объекте природного наследия оз. Гатное (40%). Зеленые и диатомовые водоросли также вносили значимый вклад в формирование общей численности водорослей, составляя 23 и 16% соответственно в оз. Яицкое, 17 и 21% – в оз. Гатное. Доля диатомовых водорослей в оз. Большое Васи-

льевское не превышала 9% от средней общей численности фитопланктона. Вклад представителей других отделов составлял менее 5%.

Среди цианопрокариот в ранг доминант по численности во всех водоемах наиболее часто (≥50% случаев) входили виды M- и H-типа, способные вызывать поверхностное «цветение» воды: *Microcystis aeruginosa* (Kütz.) Kütz., *M. wesenbergii* (Komárek) Komárek ex Komárek, *M. pulverea* (Wood) Forti emend. Elenk, *Dolichospermum flos-aquae* (Brébisson ex Bornet & Flahault) P.Wacklin, L.Hoffmann & J.Komárek, *Aphanozomenon flos-aquae* (L.) Ralfs. Кроме того, в состав доминирующего комплекса входили нитчатые «безгетероцистные» формы S_1-типа: *Jaaginema gemincensis* (Menegh. ex Gom.) Anagn. et Kom., *Pseudanabaena limnetica* (Lemm.) Kom., а также *Phormidesmis molle* (Gomont) Turicchia, Ventura, Komárková & Komárek, *Phormidium molle* f. *tenue* (Woronichin) Elenkin., *Planktolyngbya limnetica* (Lemm.) Kom.-Legn. et Gronb. В оз. Гатное в отдельные периоды им наиболее часто сопутствовали из диатомовых водорослей – *Nitzschia palea* (Kützing) W.Smith, *Ulnaria acus* (Kützing) M.Aboal, *Stephanodiscus hantzschii* Grunow, из зеленых водорослей – *Desmodesmus communis* (E.Hegewald) E.Hegewald. В оз. Яицкое и оз. Большое Васильевское в качестве содоминант могли выступать *Monoraphidium contortum* (Thuret) Komárková-Legnerová, *Desmodesmus communis* (E.Hegewald) E.Hegewald (зеленые водоросли). Отметим, что значительный вклад цианопрокариот S_1-типа позволяет заподозрить первые признаки начала так называемой «осциллаториевой» болезни [3, 4, 16, 27, 36], что неблагоприятно для оз. Большое Васильевское, соседствующего с уникальными природными комплексами, и губительно для самобытных экосистем памятника природы оз. Яицкое и объекта природного наследия оз. Гатное.

Основной вклад в формирование биомассы фитопланктона в оз. Большое Васильевское, как и в случае с численностью, вносили цианопрокариоты (57% от средней за период исследования биомассы). Доля зеленых и диатомовых водорослей составляла 23 и 10% соответственно, представителей других отделов − менее 5%. В оз. Яицкое основной вклад в формирование биомассы фитопланктона вносили цианопрокариоты (32%) и диатомовые водоросли (29%). Заметную роль играли зеленые (13%), динофитовые (12%) и криптофитовые (10%) водоросли. В оз. Гатное наибольший вклад вносили диатомовые водоросли (42% от средней за период исследования биомассы). Доля цианопрокариот и диатомовых водорослей составляла 23 и 20% соответственно.

По биомассе наиболее часто (≥50% случаев) в ранг доминант в оз. Гатное входили *Melosira varians* C.Agardh, *Stephanodiscus hantzschii* Grunow, *Lindavia comta* (Kützing) Nakov, Gullory, Julius, Theriot & Alverson из диатомовых водорослей; *Microcystis aeruginosa* (Kütz.) Kütz., *M. wesenbergii* (Komárek) Komárek ex Komárek из цианопрокариот. В оз. Яицкое основу комплекса видов, доминирующих по биомассе фитопланктона, составляли из цианопрокариот *Microcystis aeruginosa*, *Aphanozomenon flos-aquae*, из диатомовых водорослей – *Stephanodiscus hantzschii*, *Lindavia comta,* из динофитовых –

Ceratium hirundinella (O. F. Műll.) Bergh. В оз. Большое Васильевское наиболее часто в роли доминант по биомассе выступали *Microcystis aeruginosa* и *M. wesenbergii.* Нитчатые безгетероцистные формы ввиду своей мелкоклеточности даже при относительно высокой численности в ранг доминант входили редко.

Трофический статус оз. Большое Васильевское, рассчитанный по биомассе фитопланктона, оценивался как гиперэвтрофный, оз. Гатное и оз. Яицкое − эвтрофный [14]. Трофический статус водоемов подтверждается как показателями количественного развития фитопланктона, так и видовым составом преобладающих форм.

Уровень видового разнообразия и выравненности оценивали с помощью индексов Шеннона (H) и Пиелу (E), рассчитанных по численности (H_N, E_N) и биомассе фитопланктона (H_B, E_B) за период наблюдения. Наибольшие показатели видового разнообразия и выравненности сообщества отмечены в оз. Гатное (H_N = 3,62±0,09 бит/экз.; E_N = 0,61±0,08; H_B = 3,89±0,19 бит/г; E_B = 0,69±0,08). В оз. Большое Васильевское они несколько ниже: H_N = 3,19±0,11бит/экз., H_B = 3,75±0,58 бит/г при выравненности E_N = 0,49±0,10, E_B = 0,58±0,11. Значения индексов Шеннона позволили охарактеризовать фитопланктон обоих водоемов как альгоценозы с высоким видовым разнообразием. Минимальные значения видового разнообразия фитопланктона отмечались в оз. Яицкое (H_N = 2,56±0,59 бит/экз.; H_B = 3,03±0,63 бит/г), причем уровень видового разнообразия относительно численности фитопланктона являлся недостаточным, а по биомассе лишь немногим превышал пороговое значение. Наименьший уровень выравненности сообщества среди всех изученных водоемов также отмечен в оз. Яицкое (E_N = 0,46±0,09, E_B = 0,51±0,09).

Уровень доминирования Симпсона S, который отражает степень преобладания одного вида над другими, дополняет информативность индексов видового разнообразия и выравненности [17]. Наиболее высокий индекс доминирования Симпсона S_N, рассчитанный относительно численности фитопланктона, зафиксирован в оз. Большое Васильевское (S_N =0,29±0,07), вероятно, это связано с наиболее высоким уровнем доминирования цианопрокариот в этом водоеме. В оз. Гатное и оз. Яицкое этот показатель несколько ниже и составлял S_N = 0,22±0,07.

По биомассе S_B = 0,37±0,11 максимален в оз. Гатное, что, вероятно, связано с доминированием в водоеме крупноклеточных диатомовых водорослей. В оз. Большое Васильевское и в оз. Яицкое значения S_B несколько ниже и составляли 0,13±0,03 и 0,11±0,04 соответственно. Такие значения этого показателя, вероятно, обусловлены тем, что в данных водоемах как по численности, так и по биомассе преобладали мелкоклеточные виды цианопрокариот. Поэтому даже при «жестком» уровне доминирования по численности их уровень доминирования по биомассе существенно уступал аналогичным показателям относительно численности.

В соответствии с современной концепцией видового разнообразия в экологии, индекс видового разнообразия Шеннона представляет собой функцию

числа видов и степень выравненности их обилия в сообществе [9, 14, 17]. H_N и H_B тесно коррелировали с индексами выравненности и доминирования (R_s= 0,65−0,83) и слабо – с удельным видовым богатством (R_s=0,25−0,33). Как показывают исследования, определяющая роль выравненности и доминирования в формировании ценотического разнообразия сообществ фитопланктона вообще характерна для малых водоемов с культурно-аграрной и коммунально-бытовой формой антропогенной нагрузки. Тогда как в водоемах, подверженных интенсивной промышленной эксплуатации, определяющая роль в формировании показателей видового разнообразия отводится именно удельному видовому богатству [9, 16, 31].

Результаты сапробиологического анализа показали, что средний за период исследования наиболее высокий индекс сапробности отмечен в оз. Яицкое (1,92 ± 0,22). В оз. Большое Васильевское он несколько ниже (1,83±0,18). В оз. Гатное индекс сапробности наименьший (1,71±0,21). Тем не менее средние за период наблюдений индексы сапробности позволили охарактеризовать все изученные водоемы как β-мезосапробные, умеренно загрязненные с III классом качества вод.

Выводы

1. По видовому составу альгофлора планктона изученных водоемов являлась зелено-диатомово-цианопрокариотной. Видовое богатство водорослей во всех озерах оценивалось как высокое.

2. Показатели количественного развития фитопланктона во всех водоемах можно охарактеризовать как высокие. Наибольшие значения численности и биомассы фитопланктона отмечались в оз. Большое Васильевское, наименьшие − в оз. Гатное.

3. Анализ индексов Шеннона и Пиелу показал, что альгоценозы оз. Гатное и оз. Большое Васильевское относятся к альгоценозам с высоким видовым разнообразием, оз. Яицкое – к альгоценозам с недостаточным видовым разнообразием.

4. По значениям средней за период наблюдения биомассы водорослей оз. Большое Васильевское относилось к гипертрофному типу, оз. Гатное и оз. Яицкое – к эвтрофному типу.

5. Данные сапробиологического анализа показали, что все водоемы относились к β-мезосапробному типу с III классом качества вод (умеренно загрязненные воды).

6. Анализ флористического состава, соотношения таксономических рангов, показателей количественного развития и структуры комплекса видов-доминант выявил признаки дисбаланса в экосистемах и развития «осцилляториевой» болезни во всех исследованных озерах вне зависимости от их природоохранного статуса вследствие антропогенного воздействия и отсутствия биогенного лимитирования.

Литература

1. Barinova S., Gabyshev V., Boboev M., Kukhaleishvili L., Bilous O. Algal indication of climatic gradients // American Journal of Environmental Protection. 2015. Vol. 4 (3–1). PP. 72–77. doi: 10.11648/j.ajep.s.2015040301.22
2. Liu J., Kattel G., Arp H.P.H., Yang H. Towards threshold-based management of freshwater ecosystems in the context of climate change // Ecological Modelling. 2015. № 318. PP. 265−274. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2014.09.010
3. Chernova E., Russkikh I., Voyakina E., Sidelev S., Babanazarova O., Romanov R., Kotovshchikov A., Mazur-Marzec H. Dolichospermum and Aphanizomenon as neurotoxins producers in some Russian freshwaters // Toxicon. 2017. Vol. 130. PP. 47−55. doi: 10.1016/j.toxicon.2017.02.016
4. Babanazarova O.V., Sidelev S.I., Aleksandrina E.M., Sakharova E.G., Kurmayer R. Phytoplankton structure and microcystine concentration in the highly eutrophic Nero Lake // Water Resources. 2011. Vol. 38, № 2. PP. 229−236. doi: 10.1134/S0097807811020023
5. Barinova S., Krupa E., Tsoy V., Ponamareva L. The application of phytoplankton in ecological assessment of the Balkhash lake (Kazakhstan) // Applied Ecology and Environmental Research. 2018. Vol. 16, № 3. PP. 2089−2111. doi: 10.15666/aeer/1603_20892111
6. Sakharova E.G., Korneva L.G. Phytoplankton in the littoral and pelagial zones of the Rybinsk Reservoir in years with different temperature and water level regimes // Inland Water Biology. 2018.Vol. 11 (1). PP. 6–12. doi: 10.1134/S1995082918010157
7. Komulaynen S. Algal protection, conservation areas and Red Data Book of the Republik of Karelia // Oceanological and Hydrobiological Studies. 2010. Vol. 39 (2). PP. 147−152. doi: 10.2478/v10009-010-0028-2
8. Snit'ko L.V., Snit'ko V.P. Phytoplankton as an indicator in assessing long-term variations in water quality of lakes Bolshoye Miassovo and Turgoyak, the South Urals // Water Resources. 2014. Vol. 41, № 2. PP. 210−217. doi: 10.1134/S0097807814020146
9. Korneva L.G. Changes in phytoplankton diversity in the Volga basin waterbodies // Inland Water Biology. 2010. Vol. 3(4). PP. 322–328. doi: 10.1134/S1995082910040048
10. Голубая книга Самарской области: редкие и охраняемые гидробиоценозы / ред. Г.С. Розенберг, С.В. Саксонов. Самара : СамНЦ РАН, 2006. 200 с.
11. Протисты и бактерии озер Самарской области / ред. В.В. Жариков. Тольятти : Кассандра, 2009. 240 с.
12. Gelashvili D.B., Iudin D.I., Yakimov V.N., Solntsev L.A., Shurganova G.V., Okhapkin A.G., Startseva N.A., Pukhnarevich D.A., Snegireva M.S., Rozenberg G.S. Multifractal analysis of the species structure of freshwater hydrobiocenoses // Biology Bulletin. 2012. Vol. 39, № 3. PP. 271−278. doi: 10.1134/S1062359012010037
13. Корнева Л.Г. Фитопланктон водохранилищ бассейна Волги. Кострома : Костромской печатный дом, 2015. 284 с.
14. Трифонова И.С. Экология и сукцессия озерного фитопланктона. Л. : Наука, 1990. 183 с.
15. Митрошенкова А.Е., Ясюк В.П. Современное состояние экосистемы Яицких озер левобережной поймы реки Самары // Научный диалог. 2014. №1(25). С. 115–128.
16. Кривина Е.С., Тарасова Н.Г. Трансформация альгофлоры техногенных озер (на примере г. Тольятти) // Вода и экология: проблемы и решения. 2017. № 3(17). С. 203−209. doi: 10.23968/2305-3488.2017.21.3.13-34
17. Китаев С.П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск : Карельский науч. центр Российской акад. наук, Ин-т биологии, 2007. 394 с.
18. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов / под ред. Ф.Д. Мордухай-Болтовского. М.: Наука, 1975. 240 с.
19. Lund J.W.G., Kipling C., Le Cren E.O. The inverted microscope method ofestimating algal numbers and the statistical basis of estimations by counting // Hydrobiology. 1958. Vol. 11. PP. 143–170. doi: 10.1007/BF00007865

20. 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. Водоросли : справочник. Киев : Наукова думка, 1989. 608 с.
21. Дедусенко-Щеголева Н.Т., Матвиенко А.М., Шкорбатов Л.А. Зеленые водоросли. Класс Вольвоксовые. Chlorophyta: Volvocineae // Определитель пресноводных водорослей СССР. М. ; Л. : Наука, 1959. Вып. 8. 223 с.
22. Дедусенко-Щеголева Н.Т., Голлербах М.М. Желтозеленые водоросли // Определитель пресноводных водорослей СССР. М. ; Л. : Наука, 1962. Вып. 5. 272 с.
23. Царенко П.М. Краткий определитель хлорококковых водорослей Украинской ССР / АН УССР. Ин-т ботаники им. Н.Г. Холодного ; отв. ред. Г.М. Паламарь-Мордвинцева. Киев : Наукова думка, 1990. 208 с.
24. Komarek J., Anagnostidis K. Cyanoprokaryota. Teil 1: Chroococcales // Süsswasserflora von Mitteleuropa. Jena ; Stuttgart ; Lübeck ; Ulm, 1998. Bd. 19/1. 548 p.
25. Komarek J., Anagnostidis K. Cyanoprokaryota. Teil 2: Oscillatoriales // Süsswasserflora von Mitteleuropa. München, 2005. Bd. 19/2. 759 p.
26. Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae. Teil 1: Naviculaceae // Die Süsswasserflora von Mitteleuropa. Stuttgart ; New York : Gustav Fischer Verlag, 1986. Bd. 2/1. 876 p.
27. Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae. Teil 3: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae // Die Süsswasserflora von Mitteleuropa. Stuttgart ; Jena : Gustav Fischer Verlag, 1991. Bd. 2/3. 576 p.
28. Reynolds C.S., Huszar V., Kruk C., Naselli-Flores L., Melo S.Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton // Journal of Plankton Research. 2002. 24. PP. 417–428. doi: 10.1093/plankt/24.5.417
29. Мегурран Е. Экологическое разнообразие и его измерение. М. : Мир, 1992. 184 с.
30. Sládeček V. System of water quality from the biological point of view // Ergebnisse der Limnologie. 1973. Bd. 7. P. 1–218.
31. Wegl R. Index für die Limnosaprobität // Wasser und Abwasser. 1983. Bd. 26. PP. 1–175.
32. Barinova S.S., Klochenko P.D., Belous Y.P. Algae as indicators of the ecological state of water bodies: methods and prospects // Hydrobiological Journal. 2015. Vol. 51 (6). PP. 3–21. doi: 10.1615/HydrobJ.v51.i6.10
33. Горохова О.Г. Водоросли планктона малых водоемов юга лесостепного Поволжья (количественная характеристика фитопланктона) // Известия Самарского научного центра РАН. 2017. Т. 19 (5). С. 192–199.
34. Яценко-Степанова Т.Н. Оценка экологического состояния некоторых озер поймы реки Урал в Оренбургской области // Вестник Оренбургского государственного университета. 2017. № 11 (211). С. 125–128.
35. Горохова О.Г., Паутова В.Н. Водоросли планктона малых водоёмов юга лесостепного Поволжья (альгофлора: сравнительная характеристика озёр по составу планктона) // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2015. Т. 17, № 4. С. 194–202.
36. Okhapkin A.G., Scharagina E.M., Vodeneeva E.L., Genkal S.I. Structure and dynamics of phytoplankton in the kOka river mouth at the beginning of the 21th century // Inland Water Biology. 2014. Vol. 7 (4). PP. 357–365. doi: 10.1134/S1995082914040142
37. Barinova S. The effect of altitude on distribution of freshwater algae in continental Israel // Current Topic of Plant Biology. 2011. Vol. 4. PP. 89–95.
38. Дрозденко Т.В., Михалап С.Г. Структурно-таксономическое разнообразие и экологические особенности фитопланктона дельты реки Великой (Псковская область) // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2018. №41. С. 118–134. doi: 10.17223/19988591/41/7

Поступила в редакцию 27.10.2019 г.; повторно 20.01.2020 г.;
принята 13.02.2020 г.; опубликована 27.03.2020 г.

Авторский коллектив:
Кривина Елена Сергеевна – канд. биол. наук, м.н.с. лаборатории экологии простейших и микроорганизмов, Институт экологии Волжского бассейна РАН – филиал СамНЦ РАН (Россия, 445003, г. Тольятти, ул. Комзина, 10).
ORCID iD: https://orcid.org/0000-0002-0849-5832
E-mail: pepelisa@yandex.ru
Малышева Анна Александровна – ведущий гидробиолог ФГБУ «Главное бассейновое управление по рыболовству и сохранению водных биологических ресурсов» Средне-Волжский филиал (Россия, 443096, г. Самара, ул. Владимирская, 1а).
E-mail: malysheva.anna.83@mail.ru
Тарасова Наталья Геннадьевна − канд. биол. наук, с.н.с. лаборатории экологии простейших и микроорганизмов, Институт экологии Волжского бассейна РАН – филиал СамНЦ РАН (Россия, 445003, Тольятти, ул. Комзина, 10); с.н.с. кафедры технологии производства пищевой продукции и организации общественного питания, Тольяттинский государственный университет (Россия, 445004, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14а).
Третьякова Татьяна Петровна – канд. пед. наук, доцент, заведующий кафедры технологии производства пищевой продукции и организации общественного питания, Тольяттинский государственный университет (Россия, 445004, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14а).
E-mail: tret_tatyana@inbox.ru
Уманская Марина Викторовна − канд. биол. наук, с.н.с. лаборатории экологии простейших и микроорганизмов Института экологии Волжского бассейна РАН – филиал СамНЦ РАН (Россия, 445003, г. Тольятти, ул. Комзина, 10).
ORCID iD: https://orcid.org/0000-0003-2097-4913
E-mail: mvumansk67@gmail.com

Для цитирования: Кривина Е.С., Малышева А.А., Тарасова Н.Г., Третьякова Т.П., Уманская М.В. Экологическое состояние малых водоемов различного природоохранного статуса (Самарская область) // Вестн. Том. гос. ун-та. Биология. 2020. № 49. С. 128–148. doi: 10.17223/19988591/49/7

For citation: Krivina ES, Malysheva AA, Tarasova NG, Tretyakova TP, Umanskaya MV. Ecological condition of small reservoirs of different nature protection status (Samara region). *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya = Tomsk State University Journal of Biology*. 2020;49:128-148. doi: 10.17223/19988591/49/7 In Russian, English Summary

Elena S. Krivina[1], Anna A. Malysheva[2], Natalia G. Tarasova[1,3], Tatyana P. Tretyakova[3], Marina V. Umanskaya[1]

[1] Institute of Ecology of the Volga River Basin of the Russian Academy of Sciences, Branch of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Russian Federation
[2] Middle Volga Branch of the Main Basin Directorate for Fishery and Conservation of Aquatic Biological Resources, Russian Federation
[3] Togliatti State University, Russian Federation

Ecological condition of small reservoirs of different nature protection status (Samara region)

Currently, the conservation of the unique ecosystems of small water bodies located within cultural landscapes and/or in areas with limited nature protection status is of urgent issue. It is such hydrobiocenoses that are the most susceptible to increasing anthropogenic impact. Phytoplankton is a good indicator of the ecological situation in the reservoir. The aim of the work was to analyze the composition and structure of phytoplankton of some small urbanized lakes of Samara region with different levels of protection and degree of anthropogenic load.

Here, this is the first time we present an analysis of the current ecological state of three small water bodies having various nature protection statuses: Lake Yaitskoe (53°10'85"N,50°17'46"E), the regional natural monument; Lake Gatnoe (53°14'93"N,

50°11'83"E), Samara region natural heritage site; and Lake Bolshoe Vasilievskoe (53°54'40"N, 49°53'24"E), the suburban lake located in the transition zone of the Middle Volga complex biosphere reserve (*See Table 1*). We collected samples for phytoplankton study and basic physical and chemical measurements in the growing season from 2013 to 2014 (*See Table 2*). We sampled the algae with a Ruttner bathometer. The material was fixed with 40% formalin solution. The cell count was carried out in the chamber "Uchinskaya" (Russia) with a volume of 0.01 ml. This chamber is a glass plate with low sides, the bottom of which is equipped with a special counting grid, optimized for counting plankton. Organisms are counted twice in 20 bands. Species identification of algae and counting of their cells were carried out on the microscope "BIOLAR PI" (limited liability company "Biolar", Poland) with an increase of 600 times. To determine the species of algae, we used reference guides from the series "Determinants of freshwater algae of the USSR" and "Susswasserflora von Mitteleuropa". The classification of Reynolds and co-authors was used to differentiate phytoplankton into functional groups. S_1-type (planktotrichete type) consisted of filamentous non-heterocyst forms of cyanoprokaryotes that previously belonged to genus *Oscillatoria*, M-type contained representatives of genus *Microcystis*, H_1-type contained representatives of genera *Anabaena* and *Aphanizomenon*. The similarity of the algae species composition of lakes was estimated with the Sorensen coefficient (Ks). The level of cenotic diversity and the degree of community alignment were assessed using Shannon (H) and Pielu (E) indices, respectively, taking into account the standard deviation. The dominant species were those whose number and biomass was 10% or more of the total value. The Simpson dominance index (S) was used to estimate the degree of dominance of individual species. Assessment of saprobity of waters was carried out by the method of Pantle and Bucc in the modification of Sladechek, using known indicator values of saprobity of individual species.

The general state of ecosystems of the studied lakes was analyzed on the basis of the qualitative composition and quantitative development of phytoplankton from 2013 to 2014. In all lakes, the species richness of phytoplankton was quite high and contributed mainly by chlorophytes, diatoms and cyanoprokaryota species (*See Table 3 and Fig. 1*). Floristic analysis revealed signs of imbalance in lake ecosystems, probably caused by anthropogenic impact and/or lack of biogenic limitation (*See Table 4*). This situation is especially unfavorable for ecosystems of water bodies of protected nature areas. Ecological and geographical analysis did not reveal significant differences between the algal flora of the studied reservoirs (*See Table 5*). The level of similarity of the species composition of the studied reservoirs was quite high (*See Table 6*). Perhaps this was due not only to similar abiotic parameters of the environment, but also to a high level of identical anthropogenic load. Quantitative phytoplankton development was high in all water bodies, the highest one was observed in Lake Bolshoe Vasilievskoe, and the lowest in lake Gatnoe (*See Fig. 3*). According to average algal biomass over the study period, Lake Bolshoe Vasilievskoe corresponds to the hypertrophic state, while lakes Gatnoe and Yaitskoe are eutrophic. Phytoplankton species diversity and alignment were highest in lake Gatnoe, and smallest in lake Yaitskoe. According to saprobity, the studied water bodies were β-mezosaprobic which corresponds to the water quality class III. Analysis of the floristic composition, the ratio of taxonomic ranks, indicators of quantitative development and the structure of the dominant species complex revealed signs of an imbalance in ecosystems and the development of "oscillatory" disease in all studied lakes, regardless of their conservation status due to anthropogenic impact and lack of biogenic restriction.

The paper contains 3 Figures, 6 Tables and 38 References.

Key words: phytoplankton; taxonomic composition; species diversity; water quality; eutrophication.

Funding: The work was carried out according to the program of fundamental scientific research of the state Academies of Sciences for 2013-2020. Theme AAAA-F17-117112040040-3 “Assessment of modern biodiversity and forecast of its changes for the ecosystems of the Volga basin in the conditions of their natural and anthropogenic transformation”.

The Authors declare no conflict of interest.

References

1. Barinova S, Gabyshev V, Boboev M, Kukhaleishvili L, Bilous O. Algal indication of climatic gradients. *American J Environmental Protection*. 2015;4(3-1):72-77. doi: 10.11648/j.ajep.s.2015040301.22
2. Liu J, Kattel G, Arp HPH, Yang H. Towards threshold-based management of freshwater ecosystems in the context of climate change. *Ecological Modelling*. 2015;318:265-274. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2014.09.010
3. Chernova E, Russkikh I, Voyakina E, Sidelev S, Babanazarova O, Romanov R, Kotovshchikov A, Mazur-Marzec H. Dolichospermum and Aphanizomenon as neurotoxins producers in some Russian freshwaters. *Toxicon*. 2017;130:47-55. doi: 10.1016/j.toxicon.2017.02.016
4. Babanazarova OV, Sidelev SI, Aleksandrina EM, Sakharova EG, Kurmayer R. Phytoplankton structure and microcystine concentration in the highly eutrophic Nero Lake. *Water Resources*. 2011;38(2):229-236. doi: 10.1134/S0097807811020023
5. Barinova S, Krupa E, Tsoy V, Ponamareva L. The application of phytoplankton in ecological assessment of the Balkhash lake (Kazakhstan). *Applied Ecology and Environmental Research*. 2018;16(3):2089-2111. doi: 10.15666/aeer/1603_20892111
6. Sakharova EG, Korneva LG. Phytoplankton in the littoral and pelagial zones of the Rybinsk Reservoir in years with different temperature and water level regimes. *Inland Water Biology*. 2018;11(1):6-12. doi: 10.1134/S1995082918010157
7. Komulaynen S. Algal protection, conservation areas and Red Data Book of the Republik of Karelia. *Oceanological and Hydrobiological Studies*. 2010;39 (2):147-152. doi: 10.2478/v10009-010-0028-2
8. Snit’ko LV, Snit’ko VP. Phytoplankton as an indicator in assessing long-term variations in water quality of lakes Bolshoye Miassovo and Turgoyak, the South Urals. *Water Resources*. 2014;41(2):210-217. doi: 10.1134/S0097807814020146
9. Korneva LG. Changes in phytoplankton diversity in the Volga basin waterbodies. *Inland Water Biology*. 2010;3(4):322-328. doi: 10.1134/S1995082910040048
10. *Golubaya kniga Samarskoy oblasti: redkie i ochranyaemye gidrobiocenozy* [The Blue Book of Samara region: Rare and protected hydrobiocenoses]. Rozenberg GS and Saksonov SV, editors. Samara: Samarskiy nauchnyy tsentr RAN; 2007. 200 p. In Russian
11. *Protisty i bakterii ozer Samarskoy oblasti* [Protists and bacteria of Samara region]. Zharikov VV, editor. Togliatti: Kassandra, 2009. 240 p. In Russian
12. Gelashvili DB, Iudin DI, Yakimov VN, Solntsev LA, Shurganova GV, Okhapkin AG, Startseva NA, Pukhnarevich DA, Snegireva MS, Rozenberg GS. Multifractal analysis of the species structure of freshwater hydrobiocenoses. *Biology Bulletin*. 2012;39(3):271-278. doi: 10.1134/S1062359012010037
13. Korneva LG. Fitoplankton vodokhranilish basseyna Volgi [Phytoplankton of Volga River basin reservoirs]. Kostroma: Kostromskoy pechatnyy dom Publ.; 2015. 284 p. In Russian
14. Trifonova IS. Ekologiya i suktsessiya ozernogo fitoplanktona [Ecology and succession of lake phytoplankton]. Leningrad: Nauka Publ.; 1990. 184 p. In Russian
15. Mitroshenkova AE, Yasyuk VP. Sovremennoe sostoyanie ekosistemy Yaiczkikh ozer levoberezhnoy poymy reki Samary [Present state of Yaickie Lakes ecosystem of Samara River left-bank floodplain]. *Nauchnyj dialog*. 2014;1(25):115-126. In Russian

16. Krivina ES, Tarasova NG. The phytoplankton transformation of some technogenic lakes (Tolyatty). *Water and Ecology.* 2017;3(17):203-209. doi: 10.23968/2305-3488.2017.21.3.13-34 In Russian, English Summary
17. Kitaev SP. Osnovy limnologii dlya gidrobiologov i ixtiologov [Basics of Limnology for hydrobiologists and ichthyologists]. Petrozavodsk: Karelskiy nauchniy centr RAN, In-t biologii; 2007. 394 p. In Russian
18. *Metodika izucheniya biogeotsenozov vnutrennikh vodoemov* [Methods of studying biogeocenosis of inland water bodies]. Mordukhay-Boltovskiy FD, editor. Moscow: Nauka Publ.; 1975. 240 p. In Russian
19. Lund JWG, Kipling C, Le Cren EO. 1958: The inverted microscope method ofestimating algal numbers and the statistical basis of estimations by counting. *Hydrobiology*. 1985;11:143-170. doi: 10.1007/BF00007865
20. Vasser SP, Kondrateva NV, Masyuk NP, Palamar`-Mordvinceva GM, Vetrova ZI, Kordyum EL, Moshkova NA, Prixodkova LP, Kovalenko OV, Stupina VV, Czarenko PM, Yunger VP, Radchenko MI, Vinogradova ON, Buxtiyarova LN, Razumna LF. Vodorosli. Spravochnik [Algae. Handbook]. Kiev: Nauk. Dumka Publ.; 1989. 608 p. In Russian
21. Dedusenko-Shchegoleva NT, Matvienko AM, Shkorbatov LA. Zelenye vodorosli. Klass Volvoksovye. Chlorophyta: Volvocineae. Opredelitel' presnovodnykh vodorosley SSSR [Green algae. Class Volvocaceae. Chlorophyta: Volvocineae. The determinant of freshwater algae of the USSR]. Vol. 8. Moscow; Leningrad: Nauka Publ.; 1959. 223 p. In Russian
22. Dedusenko-Shchegoleva NT, Gollerbakh MM. Zheltozelenye vodorosli. Opredelitel' presnovodnykh vodorosley SSSR [Yellow-green algae. The determinant of freshwater algae of the USSR]. Vol. 8. Moscow; Leningrad: Nauka Publ.; 1962. 272 p. In Russian
23. Tsarenko PM. Kratkiy opredelitel' khlorokokkovykh vodorosley Ukrainskoy SSR [Brief determinant of chlorococcal algae of the Ukrainian SSR]. Palamar-Mordvintseva GM, editor. Kiev: Naukova dumka Publ.; 1990. 208 p. In Ukrainian
24. Komarek J, Anagnostidis K. Cyanoprokaryota. Teil 1. Chroococcales Süsswasserflora von Mitteleuropa [Cyanoprokaryota. Part 1. Chroococcales. Fresh water flora of Central Europe]. Bd. 19/1. Jena; Stuttgart; Lübeck; Ulm Publ.; 1998. 548 p. In German
25. Komarek J, Anagnostidis K. Cyanoprokaryota. Teil 2: Oscillatoriales. Süsswasserflora von Mitteleuropa [Cyanoprokaryota. Part 1. Oscillatoriales. Fresh water flora of Central Europe]. Bd. 19/2. München Publ.; 2005. 759 p. In German
26. Krammer K, Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae. Teil 1: Naviculaceae. Die Süsswasserflora von Mitteleuropa [Bacillariophyceae. Part 1. Naviculaceae. Fresh water flora of Central Europe]. Bd. 2/1. Stuttgart, New York: Gustav Fischer Verlag Publ.; 1986. 876 p. In German
27. Krammer K. Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae. Teil 3: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae Die Süsswasserflora von Mitteleuropa [Bacillariophyceae. Part 3. Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. Fresh water flora of Central Europe]. Bd 2/3. Stuttgart, Jena: Gustav Fischer Verlag Publ.; 1991. 576 p. In German
28. Reynolds CS, Huszar V, Kruk C, Naselli-Flores L, Melo S. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. *J Plankton Research*. 2002;24:417-428. doi: 10.1093/plankt/24.5.417
29. Megurran E. Ekologicheskoe raznoobrazie i ego izmerenie [Ecological diversity and its measurement]. Moscow: Mir Publ.; 1992. 184 p. In Russian
30. Sládeček V. System of water quality from the biological point of view. *Ergebnisse der Limnologie*. 1973;7:1-218. In German
31. Wegl R. Index für die Limnosaprobität [Indices of lake saprobionts]. *Wasser und Abwasser*. 1983;26:1-175. In German
32. Barinova SS, Klochenko PD, Belous YP. Algae as indicators of the ecological state of water bodies: methods and prospects. *Hydrobiological Journal*. 2015;51(6):3-21. doi: 10.1615/HydrobJ.v51.i6.10

33. Gorokhova OG. Algae of the plankton of small reservoirs south of the forest-steppe Volga region (quantitative characterization of phytoplankton). *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2017;19(5):192-199. In Russian
34. Yacenko-Stepanova TN. Evaluation of the ecological status of some floodplain lakes along the Ural River (Orenburg region). *Vestnik Orenburg state University*. 2017;11(211):125-128. doi: 10.25198/1814-6457-211-125 In Russian
35. Gorokhova OG, Pautova VN. Algae of the plankton of small reservoirs south of the forest-steppe Volga region (Algal flora: Comparative characteristics by floristic composition of plankton). *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2015;17(4):194-202. In Russian
36. Okhapkin AG, Scharagina EM, Vodeneeva EL, Genkal SI. Structure and dynamics of phytoplankton in the kOka river mouth at the beginning of the 21th century. *Inland Water Biology*. 2014;7(4):357-365. doi: 10.1134/S1995082914040142
37. Barinova S. The effect of altitude on distribution of freshwater algae in continental Israel. *Current Topic of Plant Biology*. 2011;4:89-95.
38. Drozdenko TV, Mikhalap SG. Structural and taxonomic diversity and ecological features of phytoplankton in the Velikaya River delta (Pskov Oblast). *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya = Tomsk State University Journal of Biology*. 2018;41:118-134. doi: 10.17223/19988591/41/7 In Russian, English Summary

Received 27 October 2019; Revised 20 January 2020;
Accepted 13 February 2020; Published 27 March 2020.

Author info:
Krivina Elena S, Cand. Sci. (Biol.), Junior Researcher, Laboratory of Ecology of Protozoa and Microorganisms, Institute of Ecology of the Volga River Basin, Branch of Samara Scientific Center, Russian Academy of Sciences, 10 Komzin Str., Togliatti 445003, Russian Federation.
ORCID iD: https://orcid.org/0000-0002-0849-5832
E-mail: pepelisa@yandex.ru
Malysheva Anna A, Leading Hydrobiologist, Middle Volga Branch of the Main Basin Directorate for Fishery and Conservation of Aquatic Biological Resources, Sredne-Volzhsky Branch, 1A Vladimirskaya Str., Samara 443096, Russian Federation.
E-mail: malysheva.anna.83@mail.ru
Tarasova Natalia G, Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher, Laboratory of Ecology of Protozoa and Microorganisms, Institute of Ecology of the Volga River Basin, Branch of Samara Scientific Center, Russian Academy of Sciences, 10 Komzin Str., Togliatti 445003, Russian Federation; Teacher, Department of Technology of Food Production and Catering, Togliatti State University, 14A Belorusskaya Str., Togliatti 445004, Russian Federation.
Tretyakova Tatiana P, Cand. Sci.(Ped.), Professor, Head of the Department of Technology of Food Production and Catering, Togliatti State University, 14A Belorusskaya Str., Togliatti 445004, Russian Federation.
Umanskaya Marina V, Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher, Laboratory of Ecology of Protozoa and Microorganisms, Institute of Ecology of the Volga River Basin, Branch of Samara Scientific Center, Russian Academy of Sciences, 10 Komzin Str., Togliatti 445003, Russian Federation.
ORCID iD: https://orcid.org/0000-0003-2097-4913
E-mail: bdr13@mail.ru
Roshchevskaya Irina M, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Biol.), Professor, Chief Researcher, Pitirim Sorokin Syktyvkar State University, 55 Octyabrskiy Pr., Syktyvkar 167001; Chief Researcher, Research Zakusov Institute of Pharmacology, 8 Baltiyskaya Str., Moscow 125315, Russian Federation.
ORCID iD: https://orcid.org/0000-0002-6108-1444
E-mail: mvumansk67@gmail.com