



УДК 574.583

## СТРУКТУРА СООБЩЕСТВ ЗООПЛАНКТОНА ОЗЕР ВОЛЖСКО-КАМСКОГО ЗАПОВЕДНИКА

О.Ю. Деревенская<sup>1\*</sup> и Е.Н. Унковская<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Казанский (Приволжский) федеральный университет, ул. Кремлевская 18, 420008 Казань, Россия; e-mail: oderevenskaya@mail.ru

<sup>2</sup>Волжско-Камский государственный природный биосферный заповедник, ул. Вехова 1, 422537, пос. Садовый, Зеленодольский район, Татарстан, Россия; e-mail: l-unka@mail.ru

### РЕЗЮМЕ

Многолетние исследования проведены на 12 озерах Волжско-Камского государственного природного биосферного заповедника (ВКГПБЗ) с целью выявления биоразнообразия планктонных коловраток и ракообразных, характеристики структуры сообществ и оценки качества воды озер заповедника методами биоиндикации. В ходе исследований было выявлено 137 таксонов зоопланктона рангом ниже рода. Наибольшим числом видов во всех озерах были представлены коловратки, наименьшим – веслоногие ракообразные. В целом, видовой состав зоопланктона типичен для эвтрофных озер Среднего Поволжья. Виды, наиболее часто встречаемые в озерах, являются индикаторами эвтрофных вод. Проведен анализ структуры сообществ зоопланктона озер заповедника и сравнение таксономического состава и структуры сообществ разнотипных озер. Из групп зоопланктона по численности в большинстве озер преобладали коловратки и только в озерах Раифское, Ильинское и Белое – ракообразные. Изменение соотношения между группами зоопланктона и увеличение доли коловраток в сообществе также является признаком эвтрофирования. Необычно высокие значения количественных показателей (численность – до 4.5 млн.экз/м<sup>3</sup>, биомасса – до 16.7 г/м<sup>3</sup>), периодически наблюдались на озерах Белое, Линево, Илантово, Гнилое, Крутое. Резкие изменения количественных показателей зоопланктона на протяжении вегетационного периода, вызванные увеличением численности одного из видов, характерны для эвтрофных озер заповедника.

Исследования показали, что в мезо-эвтрофных и эвтрофных озерах наиболее информативными для оценки качества воды являются показатели, отражающие структуру сообществ зоопланктона. Наименее загрязненными, со структурой сообществ характерной в большей степени для озер мезотрофного типа, являются озера Раифское и Ильинское. Остальные озера в большей степени подвержены процессам эвтрофирования и структура сообществ зоопланктона соответствует озерам эвтрофного типа.

**Ключевые слова:** заповедник, зоопланктон, озера, сообщество, структура

## ZOOPLANKTON COMMUNITY STRUCTURE OF VOLZHSKO-KAMSKY NATIONAL NATURE RESERVE

O. Y. Derevenskaya<sup>1\*</sup> and E. N. Unkovskaya<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kazan Federal University, Kremlevskaya str. 18, 420008 Kazan, Russia; e-mail: oderevenskaya@mail.ru

<sup>2</sup>Volzhsko-Kamsky national nature biosphere reserve, Vekhova str. 1, Sadoviy, 422537, Tatarstan, Russia; e-mail: l-unka@mail.ru

### ABSTRACT

Long-term studies had been held on the lakes of the Volga-Kama State Natural Reserve (Russia). The aim of our research was to study the biodiversity of planktonic rotifers and crustaceans, zooplankton community structure characteristics and also water quality assessment with bioindication methods. 137 species of zooplankton were identified in our research. In all lakes rotifers were presented by highest number of species. The lowest number of

\*Автор-корреспондент / Corresponding author

species was found for copepods. In general, the species composition of zooplankton is typical for eutrophic lakes of Middle Volga region. The species most commonly found in lakes are indicators of eutrophic waters. We also analyzed and compared the structure of zooplankton communities and taxonomic composition in different types of nature reserve lakes. It was shown that changing the relationship between taxonomic groups of zooplankton and increase of rotifers in the community is also a sign of eutrophication. According to the abundance rotifers dominated in most lakes. Drastic changes in quantitative indicators of zooplankton during the growing season, due to an increase in the abundance of one of the species were typical of eutrophic lakes of the reserve. Studies have shown that in meso-eutrophic and eutrophic lakes the indicators that reflect the structure of the zooplankton community are the most informative for the assessment of the water quality. Lakes Raifskoe and Ilinskoe were the least polluted, and characterized by the structure of communities of mesotrophic type. The rest of the lakes are more prone to eutrophication processes and community structure of zooplankton corresponds to eutrophic lakes type.

**Key words:** nature reserve, zooplankton, lake, community, structure

## ВВЕДЕНИЕ

Природные заповедники создаются с целью сохранения и изучения уникальных или типичных экосистем, охраны редких и исчезающих видов растений и животных. Экосистемы особо охраняемых природных территорий, в том числе водные, обычно являются эталонными при сравнении с природными объектами, изменяемыми в результате хозяйственной деятельности.

Раифский участок Волжско-Камского государственного природного биосферного заповедника (ВКГПБЗ) расположен на левобережных террасах реки Волги в 30 км западнее г. Казани, имеет площадь 5921 га. По территории участка протекают малые реки Сумка и Сер-Булак, в их долинах расположены 12 озер. Первым по течению р. Сумка расположено оз. Белое, которое находится в охранной зоне заповедника. Через 2.5 км в месте слияния Сумки и Сер-Булака расположено оз. Раифское, через 3 км р. Сумка протекает через оз. Ильинское. Кроме них, к долине р. Сумка относятся озера Илантово, Гнилое, Крутое, Шатуниха. Река Сер-Булак протекает через озера Линево и Карасиха. В долине р. Сер-Булак находятся озера Круглое и Долгое. Исследуемые озера различаются по происхождению, морфометрическим показателям (Табл. 1), гидрохимическому режиму, трофическому статусу.

Вода всех озер заповедника относится к гидрокарбонатному классу группы кальция с малой и средней минерализацией. По величине общей жесткости вода озер характеризуется как «мягкая» и «умеренно жесткая». Активная реакция среды изменяется по озерам, глубинам и сезонам

от слабокислой (6.5–6.9) до слабощелочной (7.5–8.3), достигая в период «цветения» воды максимальных значений (8.8–10.0). Газовый режим озер в летний период характерен для эвтрофных водоемов: в поверхностных слоях содержание растворенного кислорода составляет 72–226.9% насыщения, в придонных наблюдается дефицит кислорода (7–46% насыщения). Зимой дефицит кислорода отмечается для большинства озер во всей толще воды. В заболачивающихся озерах отмечается накопление в придонных слоях сероводорода: концентрация сероводорода и сульфидов составляет 0.041–0.142 мг/дм<sup>3</sup> (8.2–28.4 ПДК<sub>р/х</sub>). Превышение предельно допустимых концентраций биогенных и органических веществ, выраженных в содержании аммонийного азота и фосфатов, величинах биохимического и химического потребления кислорода, фиксировалось в бессточных озерах и придонных слоях проточных озер. Гидрохимический режим озер (в частности, интенсивное эвтрофирование проточных водоемов) во многом обусловлен поступлением соединений биогенных элементов с сельскохозяйственных площадей в составе речного стока и вторичного загрязнения из донных отложений, геоморфологических особенностей района исследований. Динамика химического состава озер опубликована ранее (Унковская и др. [Unkovskaya et al.] 2002; Унковская и др. [Unkovskaya et al.] 2009; Мустафина и др. [Mustafina et al.] 2014).

Изучение видового состава, количественных характеристик сообществ зоопланктона, выявление видов-индикаторов и расчет биотических индексов является составной частью программы биологического мониторинга состояния озер,

**Таблица 1.** Морфометрические показатели озер Раифского участка заповедника.**Table 1.** Morphometric parameters of the Raifsky reserve area lakes.

Озеро Lake	Происхождение Origin	Площадь, га Area, ha	Глубина макс., м Depth max, m	Глубина средняя, м Depth aver- age, m	Объем, тыс.м <sup>3</sup> Volume, thous.m <sup>3</sup>	Характер водообмена The nature of water exchange	Трофический статус* Trophic status*
Раифское Raifskoe	Суффозионно- карстовое Karst-suffusion	31.9	19.6	6.49	2183.28	Проточное Flowing	Мезотрофный Mesotrophic
Ильинское Ilinskoe	Суффозионно- карстовое Karst-suffusion	21.6	17.1	4.37	1275.92	Проточное Flowing	Мезотрофный Mesotrophic
Карасиха Karasikha	Суффозионно- карстовое Karst-suffusion	4.1	10.8	4.23	17.16	Проточное Flowing	Олиго- Мезотрофный Oligo-Mesotrophic
Долгое Dolgoe	Окно в торфяном болоте Lake in a peat bog	2.6	12.5	3.82	10.01	Бессточное Undrained	Мезотрофный Mesotrophic
Моховое Mohovoe	Суффозионное Suffusion	8.6	6.7	2.44	21.12	Бессточное Undrained	Эвтрофный Eutrophic
Гнилое Gniloe	Окно в торфяном болоте Lake in a peat bog	8.0	4.9	3.29	27.55	Бессточное Undrained	Мезотрофный Mesotrophic
Линево Linevo	Суффозионно- карстовое Karst-suffusion	6.8	5.4	2.02	147.82	Проточное Flowing	Мезотрофный Mesotrophic
Круглое Krugloe	Суффозионное Suffusion	8.3	2.5	1.12	9.27	Бессточное Undrained	Эвтрофный Eutrophic
Крутое Krutoe	Суффозионное Suffusion	1.9	1.4	0.48	9.28	Бессточное Undrained	Эвтрофный Eutrophic
Илантово Ilantovo	Суффозионное Suffusion	4.8	2.4	0.66	35.84	Бессточное Undrained	Эвтрофный Eutrophic
Шатуниха Schatuniha	Суффозионное Suffusion	2.2	2.4	0.84	18.54	Бессточное Undrained	Эвтрофный Eutrophic
Белое Beloe	Суффозионно- карстовое Karst-suffusion	6.4	4.4	1.55	108.39	Проточное Flowing	Эвтрофный Eutrophic

\*Трофический статус оценен по биомассе фитопланктона.

\*Trophic state was estimated using phytoplankton biomass.

выполняемой сотрудниками заповедника. Использование показателей зоопланктона особенно актуально для выявления изменений в состоянии водных экосистем, расположенных на охраняемых природных территориях.

Целью многолетних наблюдений, результаты которых изложены в настоящей статье, было изучение биоразнообразия планктонных коловраток и ракообразных, характеристика структуры сообществ и оценка качества воды озер заповедника методами биоиндикации.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Зоопланктон озер ВКГПБЗ изучали в 1998–2009 гг. и в 2012 г. в ходе систематических наблюдений, выполняемых сотрудниками заповедника. Исследования проводили на 12 озерах Раифского участка заповедника и его охранной зоны: Раифском, Белом, Ильинском, Линево, Карасихе, Илантово, Гнилом, Шатунихе, Круглом, Крутом, Долгом и Моховом.

Пробы зоопланктона отбирали на глубоководных озерах при помощи сети Джеди (размер ячеи – 100 мкм) по горизонтам, выделенным в соответствии со стратификацией воды по температуре, на мелководных озерах облавливали весь столб воды, либо процеживали 50 л воды через сеть Апштейна.

Периодичность отбора проб различалась по годам и озерам. Из озер Белое и Илантово пробы отбирали с 1–3 станций в середине вегетационного периода (в конце июня или в июле) в 1998, 2001, 2006–2009 гг. и в 2012 г.; в подледный период (в феврале–марте) и в июне–июле в 1999–2000 г. и 2002 г.; один раз в месяц в июне, августе, сентябре и дважды в июле в 2001 г.; один раз в месяц в марте, мае, июле и сентябре 2003–2005 гг.

Из озер Долгое и Ильинское пробы отбирали с 1–3 станций по горизонтам, выделенным в соответствии со стратификацией воды по температуре в середине вегетационного периода (обычно в июле) в 1998–2005 гг., в 2007–2009 гг. и в 2012 г. Из озер Гнилое, Круглое, Крутое – с одной – двух станций в середине вегетационного периода (июле–августе) в 1998–2005 гг. и в 2007–2009 гг.; из оз. Шатуниха – в 2000–2005 гг. и в 2008–2009 гг., а из оз. Моховое – в 2002–2004 гг., 2008–2009 гг. и в 2012 г.

Из озер Карасиха и Линево пробы отбирали с 1–3 станций по горизонтам или интегральные, облавливая весь столб воды, один раз в месяц в июне–июле 1998, 2006–2007 гг., 2009 и 2012 г. в середине вегетационного периода (в июне–июле); в 1999–2000 гг. и в 2002 г. – в подледный период (февраль–март) и в середине вегетационного периода, в 2001 г. – в июне, июле и сентябре и в 2003–2005 гг. – в марте, мае, июле и сентябре.

Из оз. Раифское пробы отбирали с 1–5 станций по горизонтам. В 1998, 2006–2009 гг. и в 2012 г. – в середине вегетационного периода, в 1999–2000 гг. и в 2002 г. – в подледный период и в июле, в 2001 г. – один раз в месяц в июне, августе и сентябре и дважды в июле, в 2003 г. и в 2005 г. – в марте, мае, июле, сентябре и в 2004 г. – в марте и один раз в месяц с мая по сентябрь.

Всего за период исследований были отобраны и обработаны 476 количественных проб зоопланктона.

Камеральная обработка включала определение видового состава зоопланктона, численности и биомассы. Идентификация видов проведена

при помощи определителей (Кутикова [Kutikova] 1970, Иванова и др. [Ivanova et al.] 1994, Алексеев и др. [Alekseev et al.] 1995, 2010). Расчет численности и биомассы зоопланктона выполнен в соответствии с общепринятыми гидробиологическими методиками (Методические... [Guidelines] 1982).

Степень разнообразия зоопланктона оценивали по индексу Шеннона (Shannon, Weaver, 1949). Индекс Симпсона (d) (Whittaker, 1965) был рассчитан для оценки структуры сообщества. Индекс сапробности (S) рассчитывали по методу Пантле и Букк в модификации Сладечека (Sladechek, 1973). При анализе и обсуждении результатов использованы значения индексов, рассчитанные по летним данным.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

В озерах Раифского участка ВКПБЗ, за весь период исследований были выявлены 137 таксонов зоопланктона рангом ниже рода, из них Rotifera – 62 вида (45%), Cladocera – 50 (37%) и Copepoda – 25 (18%).

Коловратки принадлежали к 2 отрядам и 14 семействам. Наибольшим числом видов представлены семейства Brachionidae (15 видов) и Trichocercidae (12). Встречаемость видов коловраток в озерах неодинакова. Такие виды, как *Asplanchna girodi* De Guerne, 1888, *A. priodonta* Gosse, 1850, *Brachionus angularis* Gosse, 1851, *Keratella cochlearis* (Gosse, 1851), *K. quadrata* (O.F. Muller, 1786), *Polyarthra vulgaris* Carlin, 1943, *Trichocerca pusilla* (Lauterborn, 1898), *Filinia longiseta* (Ehrenberg, 1834), были встречены во всех озерах заповедника.

Ветвистоусые ракообразные принадлежали к 9 семействам. Из семейств Cladocera в озерах наиболее богато представлено сем. Chydoridae – 19 таксонов рангом ниже рода и Daphnidae – 15. Встречаемость видов ветвистоусых планктонных ракообразных в озерах неодинакова. Наиболее распространены *Chydorus sphaericus* (O.F. Muller, 1785), *Bosmina longirostris* (O.F. Muller, 1776), *Diaphanosoma brachyurum* (Lievin, 1848) – встречены во всех озерах, *Daphnia cucullata* Sars, 1862 – в 92% озер, *Daphnia longispina* O.F. Muller, 1785 – в 83% и *Diaphanosoma orghidani* Negrea, 1982 – в 75%.

Веслоногие ракообразные принадлежали к отрядам Calanoida и Cyclopoida. Calanoida были

представлены одним семейством – Diaptomidae (*Eudiaptomus gracilis* (G.O. Sars, 1862), *E. graciloides* (Lilljeborg, 1888), *E. vulgaris* (Schmeil, 1898). Cyclopoida достаточно разнообразно представлены в озерах. Из подсемейства Eucycloinae были отмечены 5 видов рода *Eucyclops* и 1 вид из рода *Macrocyclus* (*M. albidus* (Jurine, 1820)). Из подсемейства Cycloinae в озерах обитают 16 видов.

Из веслоногих ракообразных наиболее распространены рачки рода *Thermocyclops* (*T. crassus* (Fischer, 1853) и *T. oithonoides* (Sars, 1863) (в 100% озер)), *Mesocyclops leuckarti* (Claus, 1857) (в 92%), *E. graciloides* (в 75%).

Число видов планктонных коловраток и ракообразных, обнаруженных в каждом отдельно взятом озере, изменялось от 30 (оз. Моховое) до 79 (оз. Белое). Наиболее разнообразно во всех озерах были представлены коловратки, наименее – веслоногие ракообразные. Больше всего видов зоопланктона было в оз. Белое. По-видимому, это связано сильным влиянием притока р. Сумка, увеличивающего разнообразие условий в озере, значительной площадью зарастания макрофитами, а также малыми глубинами озера, обеспечивающими хорошее прогревание воды в летний период.

Доминирующий комплекс в большинстве озер образуют одни и те же виды. Наибольшее число доминантов относилось к классу коловраток. Наиболее часто из коловраток доминировали *A. priodonta*, *B. angularis*, *B. diversicornis* (Daday, 1883), *K. cochlearis*, *K. quadrata*, *F. longiseta*, *P. vulgaris*, из ветвистоусых ракообразных – *D. cucullata* и *B. longirostris*, из веслоногих – *M. leuckarti* и *T. oithonoides*. В целом видовой состав зоопланктона типичен для эвтрофных озер Среднего Поволжья, а вышеперечисленные виды являются (при их массовой встречаемости) индикаторами эвтрофных вод.

Средние многолетние значения летней численности зоопланктона в озерах изменялись от  $59.4 \pm 32.6$  ( $n=13$ ) тыс.экз/м<sup>3</sup> (оз. Карасиха) до  $1545 \pm 346$  ( $n=13$ ) тыс.экз/м<sup>3</sup> (оз. Белое) (Рис. 1). Наименьшие значения отмечались в глубоководных мезотрофных озерах Карасиха, Раифское, Ильинское, Долгое. Наибольшие значения численности отмечались в мелководных эвтрофных озерах Илантово, Белое, Крутое.

Средние многолетние величины летних биомасс изменялись от  $0.23 \pm 0.07$  ( $n=6$ ) г/м<sup>3</sup> (оз.

Моховое) до  $5.78 \pm 1.29$  ( $n=13$ ) г/м<sup>3</sup> (оз. Белое) и во многих случаях находились на уровне олиготрофно-мезотрофных озер (Рис. 2). Основной массив данных по величинам биомасс в многолетнем ряду наблюдений укладывается в диапазон 0.5–3.0 г/м<sup>3</sup>, а для озер Моховое, Карасиха и Долгое – 0.24–0.54 г/м<sup>3</sup>. Наименьшие значения численности отмечены в глубоководных мезотрофных озерах Карасиха, Раифское, Ильинское и в заболоченном водоеме оз. Долгое. Наиболее высокая биомасса была в эвтрофных мелководных озерах Белое, Илантово, Крутое.

Для большинства озер характерны периодические существенные увеличения количественных показателей. Необычно высокие значения количественных показателей (численность – до 4.5 млн.экз/м<sup>3</sup>, биомасса – до 16.7 г/м<sup>3</sup>) периодически наблюдались на озерах Белое, Линево, Илантово, Гнилое, Крутое (мелководные, мезо-эвтрофные озера) (Рис. 3). Резкие увеличения количественных показателей в некоторые годы были обусловлены массовым развитием в момент отбора проб 1–2 видов коловраток и ветвистоусых ракообразных из перечисленных ниже: *A. priodonta*, *B. calyciflorus*, *F. longiseta*, *K. cochlearis*, *Testudinella patina* (Hermann, 1783), *B. longirostris*, а также личиночных стадий циклопов рода *Thermocyclops*. Столь резкие изменения количественных показателей зоопланктона на протяжении вегетационного периода, вызванные резким увеличением численности одного из видов, характерны для эвтрофных озер.

Из групп зоопланктона по численности в большинстве озер преобладали коловратки, и только в озерах Раифское, Ильинское и Белое – ракообразные. Изменение соотношения между группами зоопланктона и увеличение доли коловраток в сообществе также является признаком эвтрофирования.

По биомассе коловратки преобладали в озерах Моховое, Долгое, Шатуниха, Круглое, Гнилое, Линево, Крутое, Илантово. Ветвистоусые преобладали в оз. Шатуниха, Ильинское, Раифское; веслоногие – в оз. Белое (Рис. 4).

В глубоководных озерах выражена вертикальная неоднородность в распределении зоопланктона. Наибольшие значения численности и биомассы зоопланктона отмечали в эпилимнионе, наименьшие – в слое гиполимниона (Рис. 5, 6). Такое распределение зоопланктона в озерах свя-

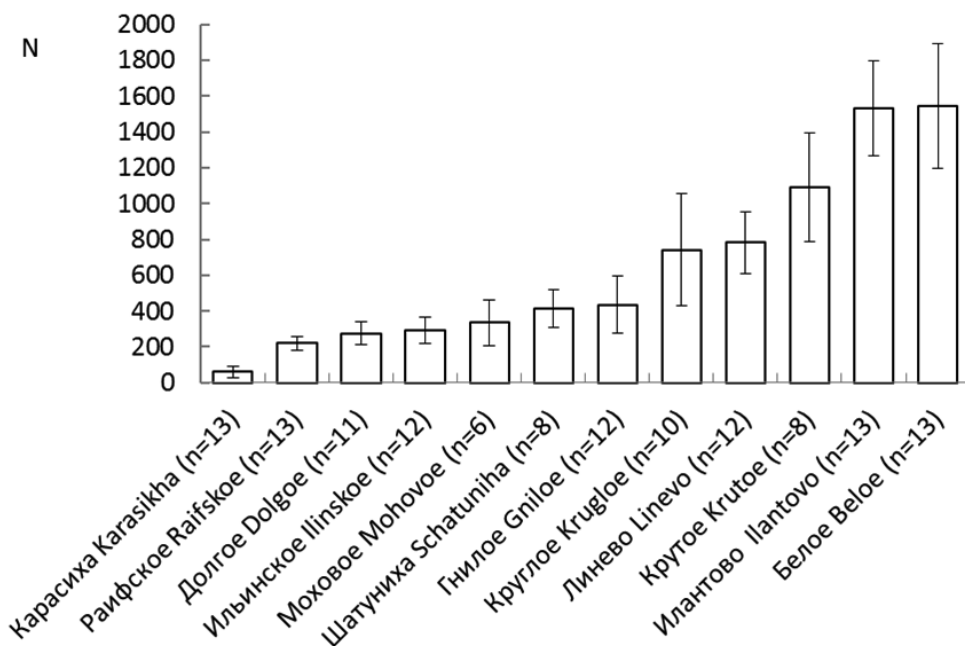


Рис. 1. Средние многолетние значения летней численности (N, тыс. экз./м³) зоопланктона. n – объем выборки.

Fig. 1. The long-term average summer zooplankton abundance (N, thous. ind./m³). n – number of samles.

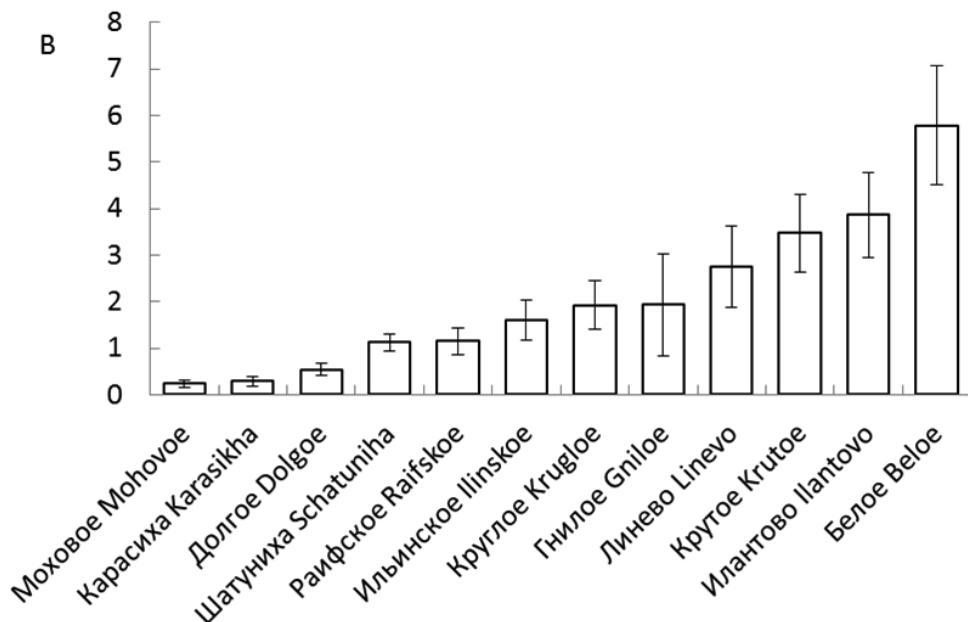
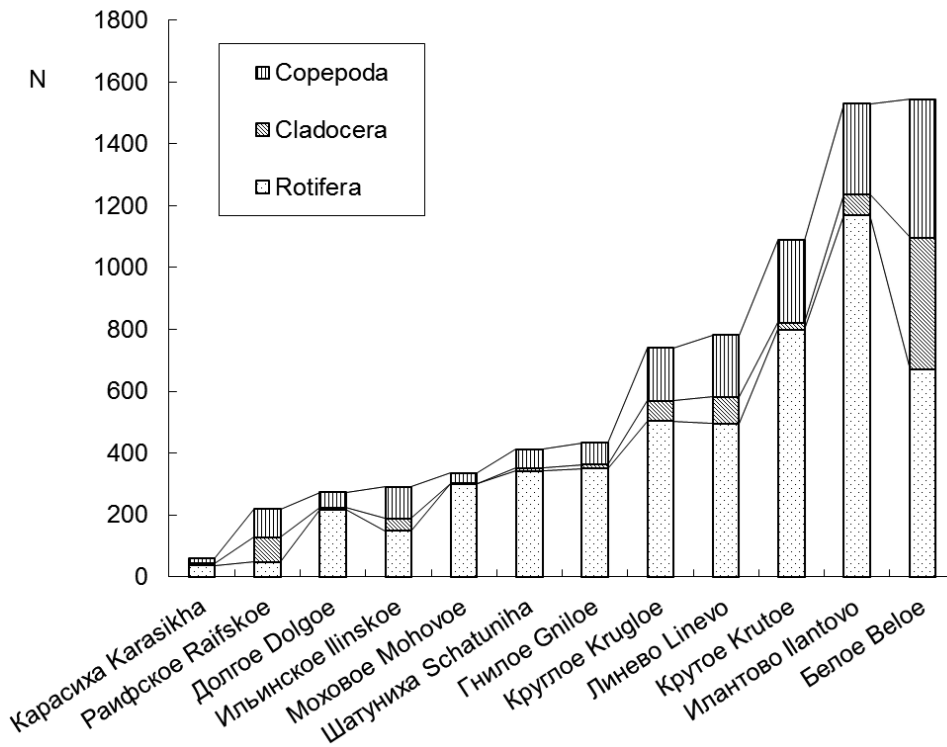


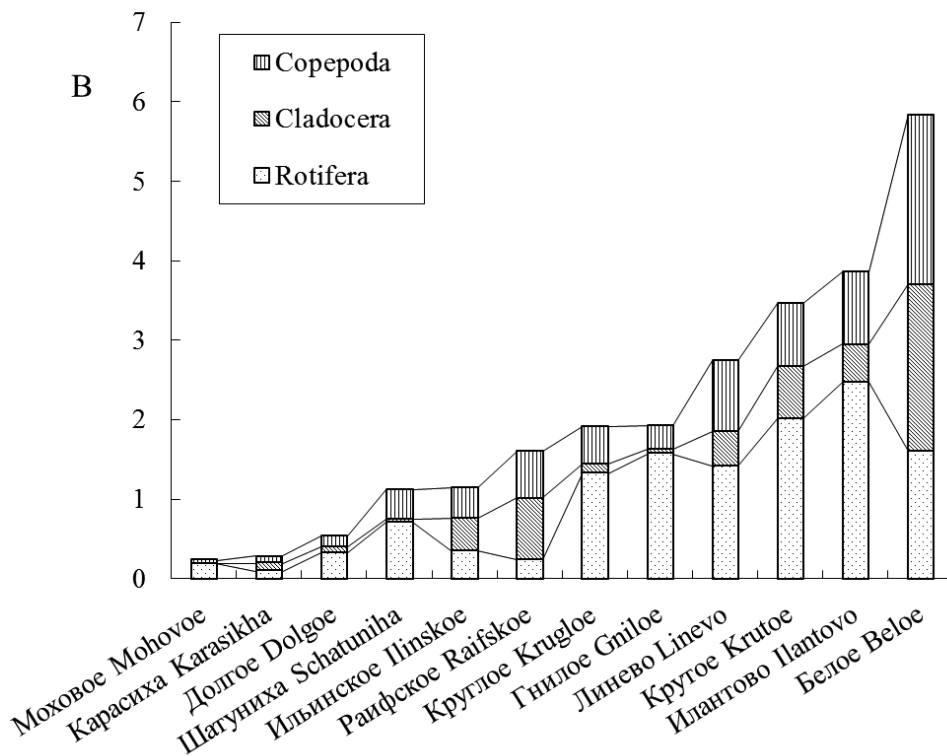
Рис. 2. Средние многолетние значения летней биомассы (г/м³) зоопланктона. Объем выборки как на Рис. 1.

Fig. 2. The long-term average summer biomass (g/m³) of zooplankton. Number of samples is similar with Fig. 1.



**Рис. 3.** Средние многолетние значения летней численности (N, тыс. экз/м³) таксономических групп зоопланктона.

**Fig. 3.** The long-term average summer abundance (N, thous. ind/m³) of zooplankton taxonomic groups.

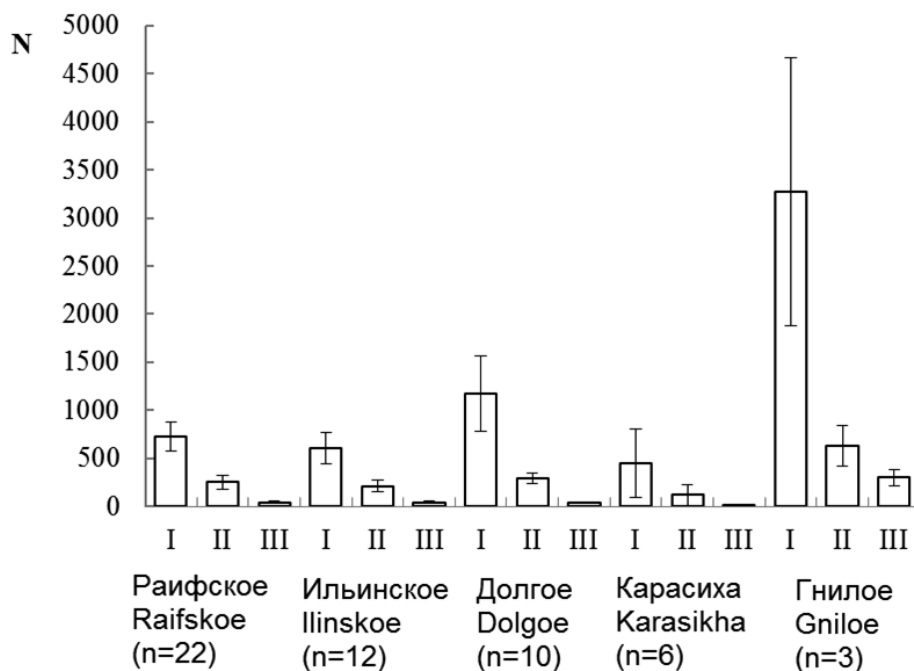


**Рис. 4.** Средние многолетние значения летней биомассы (B, г/м³) таксономических групп зоопланктона.

**Fig. 4.** The long-term average summer biomass (B, g/m³) of zooplankton taxonomic groups.

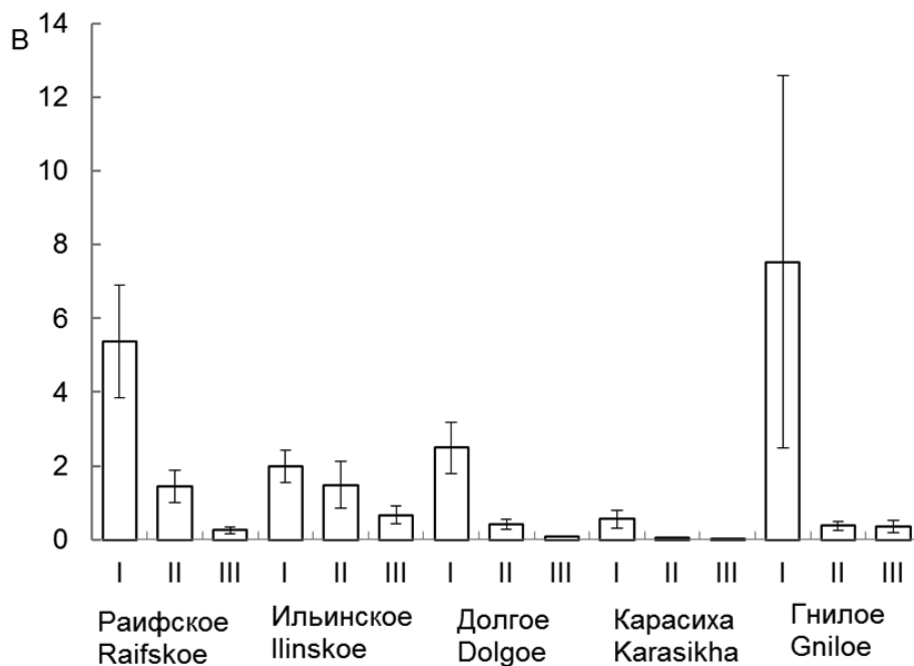
**Рис. 5.** Средняя многолетняя летняя численность зоопланктона (N, тыс. экз/м<sup>3</sup>) озер по горизонтам (I – эпилимнион, II – металимнион, III – гипolimнион). n – объем выборки.

**Fig. 5.** The average long-term summer zooplankton abundance (N, thous. ind/m<sup>3</sup>) in lakes horizons (I – epilimnion, II – metalimnion, III – hypolimnion). n – number of samples.



**Рис. 6.** Средняя многолетняя летняя биомасса (B, г/м<sup>3</sup>) зоопланктона озер по горизонтам (I – эпилимнион, II – металимнион, III – гипolimнион). Объем выборки как на рис. 5.

**Fig. 6.** The average long-term summer biomass (B g/m<sup>3</sup>) in lakes horizons (I – epilimnion, II – metalimnion, III – hypolimnion). Number of samples is similar with Fig. 5.





зано с ухудшением условий для существования гидробионтов в гипolimнионе (пониженное содержание кислорода, повышенные концентрации соединений некоторых элементов, в том числе биогенных, низкая температура и др.).

В зимнее время число видов зоопланктона в озерах невелико, присутствуют главным образом коловратки. Количественные показатели также существенно снижаются. Это бывает обусловлено напряженным кислородным режимом, присутствием в воде сероводорода.

Значения индекса Шеннона, рассчитанные по летним значениям численности и характеризующие структуру сообществ, были наиболее высоки в озерах Ильинское ( $3.21 \pm 0.09$ ;  $n=26$ ), Круглое ( $2.80 \pm 0.16$ ;  $n=9$ ), Шатуниха ( $2.70 \pm 0.06$ ;  $n=7$ ), Крутое ( $2.67 \pm 0.20$ ;  $n=7$ ). Это водоемы с наиболее сбалансированной структурой сообщества. По этому показателю выше перечисленные озера можно отнести к олиготрофному типу (по классификации И.Н. Андрониковой (1996)), озера Раифское, Линево, Карасиха, Илантово, Долгое – к мезотрофному типу, остальные – к эвтрофному. Аналогично изменялись и значения индекса Симпсона.

Индекс сапробности, рассчитанный по зоопланктону, характеризует уровень органического загрязнения озер. Только в оз. Долгое значения индекса соответствовали олигосапробной зоне (чистая вода) или были на границе между олигосапробной и β-мезосапробной зонами. Во всех остальных озерах значения индекса находились в пределах β-мезосапробной зоны (умеренно загрязненная вода). Наиболее высокие значения (по летним данным) отмечались в озерах Белое ( $1.78 \pm 0.03$ ;  $n=26$ ) и Моховое ( $1.73 \pm 0.02$ ;  $n=7$ ).

По комплексу показателей зоопланктона одними из наименее трансформированных вследствие антропогенного воздействия, со структурой сообществ, соответствующей в большинстве случаев озерам мезотрофного типа, являются глубоководные озера Ильинское и Раифское. Это во многом обусловлено гидрологическими характеристиками озер (проточностью, большими глубинами и объемами воды). Мелководные озера Белое, Илантово, Круглое, Крутое, Линево по показателям зоопланктона соответствуют эвтрофным водоемам. К мезо-эвтрофным можно отнести озера Гнилово, Долгое, Шатуниха, Моховое.

## ОБСУЖДЕНИЕ

В озерах ВКГПБЗ, в зависимости от их трофического статуса, прослеживаются определенные закономерности в изменении структурных показателей сообществ зоопланктона, а также величин индексов, основанных на индикаторных свойствах организмов зоопланктона. Для мезо-эвтрофных озер характерно большее число доминирующих видов; при повышении трофического статуса водоема число доминантов снижается, что отмечалось также и другими исследователями (Андронинова [Andronikova] 1996). Более высокие значения численности и биомассы зоопланктона отмечаются в эвтрофных водоемах, диапазон колебаний величин количественных показателей в этих озерах также значительно выше. По величине биомассы зоопланктона в соответствии с классификацией С.П. Китаева [Kitaev] (1984) озера можно оценить как мезотрофные. В эвтрофных озерах по численности и биомассе преобладают коловратки. В мезо-эвтрофных озерах по биомассе преобладают Copepoda. В эвтрофных озерах доля Copepoda и Cladocera в образовании биомассы снижается, увеличивается доля коловраток, что также подтверждает результаты ранее проведенных исследований (Иванова [Ivanova] 1976; Андронинова [Andronikova] 1996). Более высокие значения индекса Шеннона (H) наблюдаются в мезо-эвтрофных озерах. Снижение величин индекса Шеннона отражает изменение структуры сообществ, в частности снижение числа доминирующих видов. Аналогично изменялись и значения индекса Симпсона (d). Средние значения индекса сапробности (S) во всех озерах, за исключением оз. Долгое, соответствовали β-мезосапробной зоне. В оз. Долгое величина индекса составляла  $1.41 \pm 0.03$  ( $n=11$ ) – олигосапробная зона.

Таким образом, по комплексу показателей зоопланктона наименее загрязненными, со структурой сообществ, характерной в большей степени для озер мезотрофного типа, являются озера Раифское и Ильинское. Остальные озера в большей степени подвержены процессам эвтрофирования.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в озерах Раифского участка Волжско-Камского заповедника выявлены 137

таксонов зоопланктона рангом ниже рода, из них Rotifera – 62 вида (45%), Cladocera – 50 (37%) и Copepoda – 25 (18%). Видовой состав зоопланктона в целом типичен для эвтрофных и гипертрофных озер Среднего Поволжья.

Доминирующий комплекс в большинстве озер образован 4–5 видами, включает главным образом коловраток. Наиболее часто из коловраток доминировали *A. priodonta*, *B. angularis*, *B. diversicornis*, *K. cochlearis*, *K. quadrata*, *F. longiseta*, *P. vulgaris*, из ветвистоусых ракообразных – *D. cucullata* и *B. longirostris*, из веслоногих – *M. leuckarti* и *T. oithonoides*.

Количественные показатели зоопланктона в озерах невысоки. Средние значения численности зоопланктона в озерах изменялись от  $59.4 \pm 32.6$  до  $1545 \pm 346$  тыс. экз/м<sup>3</sup>. Значения биомассы изменялись от  $0.23 \pm 0.07$  до  $5.78 \pm 1.28$  г/м<sup>3</sup> и во многих случаях находились на уровне олиготрофно-мезотрофных озер. Основной массив данных по величинам биомасс в многолетнем ряду наблюдений укладывается в диапазон 0.5–3.0 г/м<sup>3</sup>, а для озер Моховое, Карасиха и Долгое – 0.24–0.54 г/м<sup>3</sup>. Для ряда озер характерны периодические всплески численности 1–2 видов зоопланктона, при этом общая численность может возрастать до 4.5 млн. экз/м<sup>3</sup>, а биомасса – до 16.7 г/м<sup>3</sup>.

В озерах выражена вертикальная неоднородность в распределении зоопланктона. Большая часть зоопланктона сконцентрирована в эпилимнионе, что связано с наиболее благоприятными условиями для существования зоопланктона в этом слое.

По величинам индексов видовой разнообразия Шеннона и Симпсона озера Ильинское, Круглое, Шатуниха и Крутое имеют наиболее сбалансированную структуру сообществ, а в озерах Моховое и Гнилое структура сообществ зоопланктона наиболее нарушена вследствие эвтрофирования.

## ЛИТЕРАТУРА

- Alekseev V.R., Vasilenko S.V., Glagolev S.M., Dobrynina T.I., Korovchinskii N.M., Kotov A.A., Kurashov E.A., Orlova-Benkovskaya M.Y., River I.K., Smirnov N.N., Starobogatov Y.I., Stepanova L.A. and Filchakov V.A. 1995. Key to freshwater invertebrates of Russia and adjacent territories. Crustaceans. Vol. 2. Zoological Institute of Russian Academy of Sciences, Saint-Petersburg, 628 p. [In Russian].
- Alekseev V.R., Glagolev S.M., Dobrynina T.I., Kotov A.A., Kutikova L.A., Mazey Y.A., Malyavin S.A., Naumova E.Y., Sinev A.Y., Smirnov N.N., Stepanova L.A., Stoiko T.G., Suhii N.M., Telesch I.V., Fefilova E.B. and Filchakov V.A. 2010. Key to zooplankton and zoobenthos of fresh waters of European Russia. Vol 1. Zooplankton. Association of scientific publications of KMK, Moscow, 495 p. [In Russian].
- Andronikova I.N. 1996. Structural and functional organization of zooplankton trophic lake ecosystems of different types. Nauka, Saint Petersburg, 189 p. [In Russian].
- Guidelines for the collection and processing of materials in hydrobiological studies in freshwater. Zooplankton and its products. 1982. Leningrad, 33 p. [In Russian].
- Ivanova L.V., Stepanyants S.D., Rogozin A.G., Kutikova L.A., Tsalolikhin S.J., Spiridonov C.E., Finogenova N.P., Polyakova E.A., Gontar V.I. and Tumanov D.V. 1994. Key to freshwater invertebrates of Russia and adjacent territories. Lower invertebrates. Vol. 1. Zoological Institute of Russian Academy of Sciences, Saint-Petersburg, 396 p. [In Russian].
- Ivanova M.B. 1976. The impact of pollution on planktonic crustaceans and they can be used to determine the degree of contamination of rivers. In: Methods of the biological analysis of fresh waters. Nauka, Leningrad: 68–80. [In Russian].
- Kitaev S.P. 1984. Ecological bases of bio-productivity of lakes of different natural zones. Nauka, Moscow, 207 p. [In Russian].
- Kutikova L.A. 1970. Rotifer fauna of the USSR (Rotatoria). Subclass Eurotatoria (units Ploimida, Monimetrochida, Paedotrochida). Nauka, Leningrad, 744 p. [In Russian].
- Mustafina L.K., Schurmina N.V., Tarasov O.Yu. and Unkovskaya E.N. 2014. Heavy metals in lakes of the Volga-Kama reserve. Proceedings of the V International Congress: Clean Water. Kazan (26–28 March 2014, Kazan). LLC “Cadets”, Kazan: 224–227. [In Russian].
- Shannon C.E. and Weaver W. 1949. The mathematical theory of communication. Univ. Illinois Press, Urbana, 117 p.
- Sladeczek V. 1973. System of water quality from biological point of view. *Egetnisse der Limnologie*. 7: 218 p.
- Unkovskaya E.N., Mingazova N.M. and Pavlova L.R. 2002. Hydrological and hydrochemical characteristics of water bodies Raifa. In: O.V. Bakin and Yu.A. Gorskov (Eds.) Proceedings of the Volga-Kama State Natural Reserve. Vol. 5. Kazan: 9–36. [In Russian].
- Unkovskaya E.N., Schagidullin R.R., Tarasov O.Yu. and Yuranets-Luzhaeva R.Ch. 2009. The dynamics of the chemical composition of lakes in the Volga-Kama reserve. *The Samara Bend: problems of regional and global environment*. 18(3): 114–120 [In Russian].
- Whittaker R.H. 1965. Dominance and diversity in land plant communities. *Science*. 147(3655): 250–260.