



Современное состояние зоопланктона озера Валдайское (Национальный парк «Валдайский»)

Л.Ф. Литвинчук

Зоологический институт Российской академии наук, Университетская наб. 1, 199034 Санкт-Петербург, Россия; e-mails: Larissa.Litvinchuk@zin.ru, larisalitvinchuk@yandex.ru

Представлена 29 июля 2024; после доработки 26 октября 2024; принята 11 ноября 2024.

РЕЗЮМЕ

Национальный парк «Валдайский» – это одна из крупнейших особо охраняемых природных территорий европейской части России. На территории этого национального парка находится около 200 озёр, одно из которых озеро Валдайское. Изучение его зоопланктонного сообщества началось более 100 лет назад и проводилось неоднократно. Наличие длительного ряда исследований дает редкую возможность проследить изменения в зоопланктоне этого уникального водоема. Летом 1999 и 2020 гг. был исследован пелагический зоопланктон (Rotifera, Cladocera и Copepoda) этого озера. Обнаружено 39 таксонов беспозвоночных. Основу сообщества составляли виды, типичные для умеренной зоны европейской части России. Качество вод в озере в течение всего периода исследования можно оценить как олигосапробные (чистые). На участках озера, расположенных рядом с населенными пунктами, отмечено повышение численности и биомассы зоопланктона, снижение числа видов-индикаторов олигосапробных вод, увеличение доли особей веслоногих ракообразных с признаками морфопатологии. В целом, численность зоопланктона в Валдайском озере за последние годы значительно снизилась, а биомасса в Городском и Центральном плесах возросла по сравнению с 1970-ми годами.

Ключевые слова: видовой состав, численность, биомасса зоопланктона, озеро Валдайское, плесы Центральный и Ужин

Current state of zooplankton in Lake Valdayskoe (Valdaisky National Park)

L.F. Litvinchuk

Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences, Universitetskaya Emb. 1, 199034 Saint Petersburg, Russia; e-mails: Larissa.Litvinchuk@zin.ru, larisalitvinchuk@yandex.ru

Submitted July 29, 2024; revised October 26, 2024; accepted November 11, 2024.

ABSTRACT

Valdaiskiy National Park is one of the largest protected natural areas in the European part of Russia. On the territory of this national park there are about 200 lakes, one of which is Lake Valdayskoe. The study of its zooplankton community started more than 100 years ago and was repeatedly carried out. The presence of a long series studies provides a rare opportunity to trace changes in the zooplankton community of this unique reservoir. Pelagic zooplankton (Rotifera, Cladocera and Copepoda) of this lake was studied in summers of 1999 and 2020. 39 invertebrate taxa were revealed. The majority of the zooplankton community was typical for the temperate zone of European Russia. The water quality in the lake during the study period can be estimated as oligosaprobic (clean). In areas of the lake located near settlements, an increase in the abundance and biomass of zooplankton,

a decrease in the number of indicator species of oligosaprobic waters, and an increase in the proportion of copepods with morphopathology were observed. In general, in 1999 and 2020 zooplankton abundance has declined and biomass has increased compared to the 1970s.

Key words: species composition, abundance, biomass of zooplankton, Lake Valdayskoe, Central and Uzhin Reaches

ВВЕДЕНИЕ

В мае 1990 г. в Новгородской области (северо-запад европейской части России) был создан Валдайский государственный природный национальный парк, который в декабре 1994 г. принят в Федерацию природных парков Европы (Сороханов и др. [Sorokhanov et al.] 2020). Валдайский государственный природный национальный парк – одна из крупнейших особо охраняемых территорий европейской части России. В 2004 г. ему присвоен высокий статус международного биосферного резервата в рамках программы ЮНЕСКО «Человек и биосфера». В этом национальном парке насчитывается около 200 озёр, входящих в состав уникального озерно-лесного комплекса Валдайской возвышенности, которая является водоразделом Балтийского, Чёрного и Каспийского морей, где находятся истоки рек Волги, Днепра, Западной Двины. На территории национального парка находятся такие крупные озёра как Валдайское, Селигер, Вельё и другие. Озеро Валдайское ледникового происхождения, принадлежащее к бассейну р. Волхов (басс. р. Невы, Балтийская биологическая область). Озеро изначально было олиготрофным, но затем, в связи с развитием сельского хозяйства и промышленности, в течение длительного времени подвергалось антропогенному эвтрофированию (Грезе [Greze] 1933; Шилькрот [Shilkrot] 1971; Марголина и Цедрик [Margolina and Tsedrik] 1983; Алексеенко [Alekseenko] 1986).

Изучение зоопланктонного сообщества Валдайского озера началось более 100 лет назад (Линко [Linko] 1916; Кордэ и др. [Korde et al.] 1926). Впоследствии в ходе экспедиций нескольких научно-исследовательских институтов подробные гидробиологические работы были продолжены (Грезе [Greze] 1948; Эггерт [Eggert] 1973; Авинский [Avinskiy] 1980; Марголина и Цедрик [Margolina and Tsedrik] 1983; Алексеенко [Alekseenko] 1986). Наличие такого длитель-

ного ряда исследований дает редкую возможность проследить изменения в зоопланктоне этого уникального водоема.

Цель работы – изучить структуру зоопланктонного сообщества, дать оценку экологического состояния оз. Валдайского в современный период и сравнить полученные результаты с результатами предыдущих исследований.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Озеро Валдайское расположено в центре Валдайской возвышенности и разделено на три основных плеса – первый (или Городской), второй (Центральный) и третий (Ужин). Плес Ужин иногда считается отдельным озером. На юго-западе Городского плеса расположен г. Валдай, на восточном берегу Центрального плеса – пос. Липны. В Городском плесе материал был отобран на 5 станциях (в 1999 г. на ст. 3, в 2020 г. на станциях Р-1, VZ (турбаза «Валдайские зори»), 33, 33-1). Станции 3, Р-1 и VZ находятся в городской акватории г. Валдай. В Центральном плесе пробы были взяты на трех станциях (в 1999 г. на ст. 18, в 2020 г. на станциях Р-2 и L (пос. Липны)). В плесе Ужин пробы были собраны в 2020 г. на станциях 34 (д. Борисово и база отдыха «Валдайская»), Р-3 и 32а (напротив залива Разбойничья Лука, в этом районе расположены пансионаты и дома отдыха) (Табл. 1, Рис. 1).

Пробы зоопланктона были собраны 31 июля и 1 августа 1999 г. и 17 августа 2020 г. на НИС «МСП» стандартной количественной сетью Джели (диаметр 0.17 м, размер ячеек 125 µm) вертикальными ловами от дна до поверхности на пелагических станциях. Пробы были отобраны в дневное время и фиксировались 4% формалином. Одновременно с отбором проб зоопланктона измеряли температуру, pH и общую минерализацию воды прибором pH/Cond/TDS/Sal/Tester Apera PS 60. Прозрачность воды определяли диском Секки.

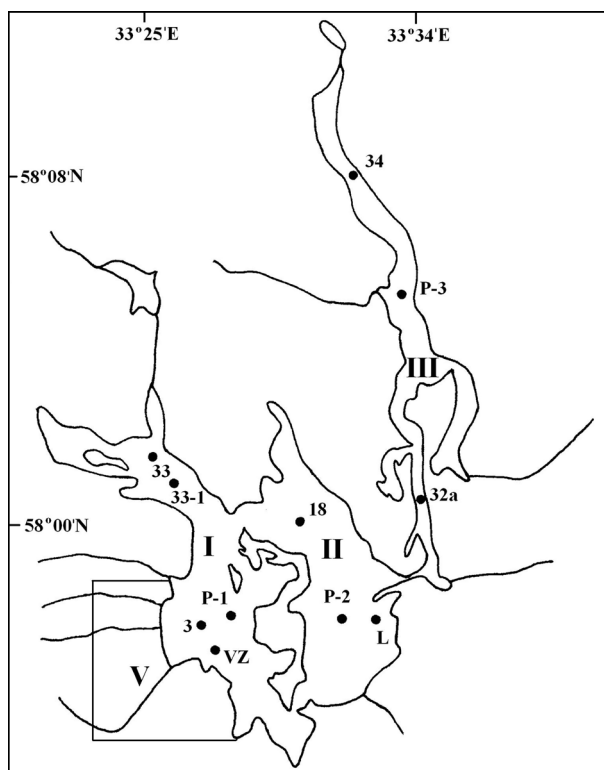


Рис. 1. Схема отбора проб зоопланктона на озере Валдайское в 1999 и 2020 гг. I – Городской плес, II – Центральный плес, III – плес Ужин, V – город Валдай.

Fig. 1. Location of zooplankton collection stations on Lake Valdai in 1999 and 2020. I – City Lake Reach, II – Central Lake Reach, III – Uzhin Lake Reach, V – Valdai City.

Определение численности и биомассы зоопланктона проводилось с применением стандартных методик (Винберг и Лаврентьева [Vinberg, Lavrentieva] 1984). Доминантные виды выделяли по их относительных численности и биомассе (более 10%). Видовое разнообразие оценивали по индексу Шеннона, рассчитанному по численности.

Значения индексов сапробности для отдельных видов приведены в соответствии с «Унифицированными методами исследования...» и работой А. Мязметса (Унифицированные методы... [Unified methods] 1977; Мязметс [Mäemets] 1980).

Индекс сапробности водоема рассчитан по Сладечек (Sladěček 1973), зоны: *o* – олигосапробная (чисто, индекс 1.00–1.50), *b* – β-мезосапробная (умеренное загрязнение, индекс 1.51–2.50).

Морфопатологии в виде частичного или полного отсутствия фуркальных щетинок учитывали с использованием бинокля.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В 2020 г. прозрачность воды на станциях Городского плеса VZ и Центрального плеса L была равна 6.7–6.8 м, на станциях Городского плеса, находящихся вдали от источников антропогенного загрязнения 7.3 м, в плесе Ужин

Таблица 1. Географические координаты, прозрачность, температура и общая минерализация воды в оз. Валдайское в 1999 и 2020 гг.

Table 1. Geographic coordinates, transparency, temperature and total mineralization of water in the Lake Valdai in 1999 and 2020.

Номер станции Station number	Географические координаты Geographical coordinates	Прозрачность (м) Transparency (m)	Температура воды (°C) Water temperature (°C)	Общая минерализация (ppt) Total mineralization (ppt)
18	58.005073° N, 33.308407° E	No data	No data	No data
3	57.984760° N, 33.274020° E	No data	No data	No data
33	58.012832° N, 33.256403° E	7.3	18.7	0.10
33-1	58.007560° N, 33.264631° E	7.3	18.7	0.10
P-1	57.989652° N, 33.278851° E	7.3	19.3	0.10
VZ	57.977264° N, 33.273715° E	6.7	18.8	0.10
P-2	57.979862° N, 33.320524° E	6.8	19.3	0.10
L	57.980779° N, 33.331752° E	6.7	19.4	0.10
34	58.083238° N, 33.305446° E	5.9	19.1	0.08
P-3	58.048909° N, 33.334182° E	5.5	19.4	0.08
32a	58.006721° N, 33.344442° E	6.9	20.0	0.09

прозрачность воды была ниже (5.5–6.9 м). Температура поверхностного горизонта воды во всей изучаемой акватории изменялась незначительно (18.7–20.0°C). Общая минерализация воды в Городском и Центральном плесах была равна 0.10 ppt, а в плесе Ужин 0.08 ppt (Табл. 1).

Всего в составе зоопланктона в 1999 и 2020 гг. отмечено 39 таксонов беспозвоночных (26 и 36 таксонов, соответственно для обоих периодов), в том числе 9 таксонов коловраток (Rotifera; 3 и 8, соответственно), 18 видов ветвистоусых (Cladocera; 14 и 16, соответственно) и 12 видов веслоногих (Copepoda; 9 и 11, соответственно) ракообразных. Наибольшее число видов (26) в 1999 г. обнаружено на ст. 18 (Центральный плес), а в 2020 г. – на ст. 33 (Городской плес); наименьшее (17) – на ст. 3 в 1999 г. и на ст. P1 (Городской плес) в 2020 г. (Табл. 2–3).

Количество доминирующих видов в 1999 и 2020 гг. по численности и биомассе было равно 2.64 ± 1.03 и 2.55 ± 0.93 , соответственно (Табл. 3). Основу численности и биомассы составляли *Asplanchna priodonta* Gosse, 1850, *Conochilus unicornis* Rousselet, 1892, *Bosmina longirostris* (O.F. Müller, 1776), *Bosmina crassicornis* Lilljeborg, 1887, *Daphnia cristata* G.O. Sars, 1862, *Daphnia cucullata* G.O. Sars, 1862, *Diaphanosoma brachyurum* (Liévin, 1848), *Sida crystallina* (O.F. Müller, 1776), *Cyclops scutifer* G.O. Sars, 1863, *Eudiaptomus graciloides* (Lilljeborg, 1888) и *Eurytemora lacustris* (Poppe, 1887) (Табл. 2). Индекс видового разнообразия Шеннона-Уивера, рассчитанный по численности, в среднем для всех станций в 1999 г. составлял 3.01 ± 0.03 , а в 2020 г. – 2.32 ± 0.63 . В 1999 этот индекс на обеих станциях (3 и 18) был близок по значению, 2.99 и 3.03. В 2020 г. минимальные его значения были отмечены на станции 34, максимальные – на станции P-3 (Табл. 3). Наиболее представленными (встречаемость 100%) были типичные для зоопланктона умеренной зоны европейской части России *Bosmina longirostris*, *B. crassicornis*, *Daphnia cristata*, *Diaphanosoma brachyurum*, *Leptodora kindtii* (Focke, 1844), *Eudiaptomus graciloides*, *Mesocyclops leuckarti* (Claus, 1857), *Metacyclops gracilis* (Lilljeborg, 1853) и *Thermocyclops crassus* (Fischer, 1853) (Табл. 2).

В 1999 и 2020 гг. были встречены лимнофильные виды сем. Sididae *Diaphanosoma brachyurum* и *Limnoscidea frontosa* G.O. Sars, 1862, а в 2020 г. – представитель сем. Cercopagidae – *Bythotrephes*

brevimanus Lilljeborg, 1901. В то же время в планктоне были встречены зарослевые формы – коловратка *Trichocerca capucina* (Wierzejski et Zacharias, 1893) и ветвистоусые ракообразные *Acroperus harpae* (Baird, 1834), *Flavalona costata* G.O. Sars, 1862, *Alona quadrangularis* (O.F. Müller, 1776), *Chydorus sphaericus* (O.F. Müller, 1776), *Disparalona rostrata* (Koch, 1841), *Sida crystallina* и *Simocephalus vetulus* (O.F. Müller, 1776) (Табл. 2). В 1999 г. в Центральном плесе и в 2020 г. на всех станциях был отмечен представитель сем. Polyphemidae *Polyphemus pediculus* (Linnaeus, 1761). В большинстве водоемов этот вид населяет литоральные участки, в Валдайском озере популяция этого вида обитает в пелагической зоне. В пробах зоопланктона в 2020 г. на всех станциях, за исключением P-3 и 32а, были встречены меропланктонные личинки двустворчатого моллюска *Dreissena polymorpha* Pallas, 1971 (Табл. 2).

В составе зоопланктона было выявлено 38 видов-индикаторов, среди которых 19 олигосапробных форм, 17 олиго-бета-мезосапробных и 2 бета-мезосапробные формы (Табл. 2). Наибольшее число видов-индикаторов олигосапробных вод (8–10) в пробе отмечено в 1999 и 2020 гг. на центральных станциях 18 и P-2 Центрального плеса, а также на наиболее удаленных от города станциях 33 и 33-1 Городского плеса. Наименьшее число видов-индикаторов олигосапробных вод (4–6) наблюдалось в 1999 и 2020 гг. в городской части Городского плеса (станции 3 и P-1), а также в Центральном плесе (ст. L) и в плесе Ужин (ст. P-3 и 32а, Табл. 2, 4). Важно отметить, что в 1999 г. в составе зоопланктона не был отмечен такой вид-индикатор олигосапробных вод как *Bythotrephes brevimanus*, в то же время в 2020 г. этот вид был встречен на всех исследованных станциях, за исключением станций P-1 и L.

Вид-индикатор умеренно загрязненных вод веслоногое ракообразное *Eucyclops s. serrulatus* (Fischer, 1851) был отмечен в оз. Валдайское только в 1999 г. (ст. 18).

Индекс сапробности по Пантле-Букку в модификации Сладечека (Sladeček 1973) в среднем для всех станций составил в 1999 г. 1.36 ± 0.06 и в 2020 г. 1.31 ± 0.04 (Табл. 4). Эти значения позволяют оценить воды в оз. Валдайское в течение всего периода исследования как олигосапробные (чистые).

Таблица 2. Список видов зоопланктона с указанием индикаторной значимости видов (s) и сапробной валентности (Sv) (по Сладечек 1973), а также меропланктонных форм бентосных организмов, встречающихся в зоопланктонных сборах, произведенных в оз. Валдайское в конце июля – начале августа 1999 и в середине августа 2020 гг.

Table 2. List of zooplankton species with indicator significance (s) and saprobic valence (Sv) (according to Sladeček, 1973) and also meroplanktonic forms of benthic organisms found in zooplankton collections made in Lake Valdai at the end of July – early August 1999 and mid-August 2020.

Таксон / Taxon	Озеро Валдайское, конец июля – начало августа 1999 и середина августа 2020 гг.* Lake Valdai, late July – early August 1999 and mid-August 2020*											s	Sv
	18	3	33	33-1	P-1	V-Z	P-2	L	34	P-3	32a		
Rotifera:													
<i>Asplanchna priodonta</i> (Gosse, 1850)	+		+	+	+		+	+	+	b**	+	1.5	o-b
<i>Conochilus unicornis</i> (Rousselet, 1892)	n***	+	+		+	+	+					1.0	o
<i>Filinia terminalis</i> (Plate, 1886)			+			+	+		+			1.5	o-b
<i>Kellicottia longispina</i> (Kellicott, 1879)	+		+	+	+		+		+		+	1.0	o
<i>Keratella cochlearis</i> (Gosse, 1851)			+	+	+	+			+	+	+	1.5	b-o
<i>Polyarthra major</i> (Burckhardt, 1900)						+		+	+		+	1.2	o-b
<i>P. remata</i> (Skorikov, 1896)			+		+							1.0	o
<i>Synchaeta</i> spp.			+			+			+			-	-
<i>Trichocerca capucina</i> (Wierzejski et Zacharias, 1893)								+				1.0	o
Crustacea: Cladocera													
<i>Acroperus harpae</i> (Baird, 1834)				+								1.0	x-o
<i>Alona quadrangularis</i> (O.F. Müller, 1776)	+											1.0	o
<i>Bosmina</i> (<i>Bosmina</i>) <i>longirostris</i> (O.F. Müller, 1776)	+	+	n, b	+	+	+	+	+	+	+	+	1.5	o-b
<i>B. (Eubosmina)</i> cf. <i>crassicornis</i> (Lilljeborg, 1887)	+	+	+	+	+	+	n	+	+	+	+	1.5	o-b
<i>Bythotrephes brevimanus</i> (Lilljeborg, 1901)			+	+		+	+		+	+	+	1.0	o
<i>Ceriodaphnia pulchella</i> (G.O. Sars, 1862)	+	+	+	+	+	+	+	+		+		1.5	o-b
<i>Chydorus sphaericus</i> (O.F. Müller, 1776)	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	2.0	b
<i>Daphnia cristata</i> (G.O. Sars, 1862)	n, b	n, b	n, b	n, b	n, b	n, b	+	n, b	b	n, b	n, b	1.0	o
<i>D. cucullata</i> (G.O. Sars, 1862)	+	n, b	+	+		+	n, b	n, b	+	+	n, b	1.5	o-b
<i>Diaphanosoma brachyurum</i> (Liévin, 1848)	n, b	n, b	+	+	+	+	+	+	+	n, b	n, b	1.2	o
<i>Disparalona rostrata</i> (Koch, 1841)	+	+					+					1.3	o
<i>Flavalona costata</i> (G.O. Sars, 1862)							+					1.5	o-b
<i>Holopedium gibberum</i> (Zaddach, 1855)	+		+	+	+	+	+	+	+			0.6	x-o
<i>Leptodora kindtii</i> (Focke, 1844)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	1.5	o-b
<i>Limnospira frontosa</i> (G.O. Sars, 1862)			+									1.0	o
<i>Polyphemus pediculus</i> (Linnaeus, 1761)	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	1.0	o
<i>Sida crystallina</i> (O.F. Müller, 1776)	+	+		+			n, b					1.0	o
<i>Simocephalus vetulus</i> (O.F. Müller, 1776)	+											1.5	o-b
Copepoda: Calanoida													
<i>Eudiaptomus graciloides</i> (Lilljeborg, 1888)	n, b	n, b	b	+	+	+	+	+	b	+	+	1.5	b-o
<i>Eurytemora lacustris</i> (Poppe, 1887)	+	+	+	+	b	+	+		+	+		1.0	o
<i>Heterocope appendiculata</i> (G.O. Sars, 1863)	+		+	+		+	+					1.0	o

Таксон / Taxon	Озеро Валдайское, конец июля – начало августа 1999 и середина августа 2020 гг.* Lake Valdai, late July – early August 1999 and mid-August 2020*											s	Sv
	18	3	33	33-1	P-1	V-Z	P-2	L	34	P-3	32a		
Cyclopoida													
<i>Cyclops scutifer</i> (G.O. Sars, 1863)	+								n, b	+	+	1.0	o
<i>Eucyclops macruioides macruioides</i> (Lilljeborg, 1901)							+					1.0	o
<i>E. macrurus macrurus</i> (G.O. Sars, 1863)						+						1.4	o-b
<i>Eucyclops serrulatus serrulatus</i> (Fischer, 1851)	+											1.85	o-p
<i>Macrocyclus albidus</i> (Jurine, 1820)	+	+		+	+				+		+	1.5	o-b
<i>Mesocyclus leuckarti</i> (Claus, 1857)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	1.5	o-b
<i>Metacyclus gracilis</i> (Lilljeborg, 1853)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	1.5	o-b
<i>Thermocyclus crassus</i> (Fischer, 1853)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	1.5	o-b
<i>Th. oithonoides</i> (G.O. Sars, 1863)			+	+			+	+				1.0	o
Meroplankton:													
Mollusca, Bivalvia													
<i>Dreissena polymorpha</i> (Pallas, 1971) (велигеры / veligers)			+	+	+	+	+	+	+				
* 1999 год: Центральный плес – станция 18, Городской плес – станция 3. 2020 год: Городской плес – станции 33, 33-1, P-1, VZ; Центральный плес – станции L, P-2; плес Ужин – станции 34, P-3, 32a. ** «b» – вид доминирует по биомассе. *** «n» – вид доминирует по численности. * 1999: Central Lake Reach – station 18, City Lake Reach – station 3. 2020: City Lake Reach – stations 33, 33-1, P-1, and VZ; Central Lake Reach – stations L and P-2; Uzhin Lake Reach – stations 34, P-3, and 32a. ** “b” – the species dominates by biomass *** “n” – the species dominates by abundance.													

Таблица 3. Структурные характеристики зоопланктона оз. Валдайское в конце июля – начале августа 1999 и в середине августа 2020 гг.

Table 3. Structural characteristics of zooplankton in Lake Valdai at the end of July – early August 1999 and mid-August 2020.

Дата Date	Номер станции Station number	Число видов Number of species	Число видов, доминирующих по численности Number of dominant species by density	Число видов, доминирующих по биомассе Number of dominant species by biomass	Численность, тыс. экз. м ⁻³ Density, thous. ind. m ⁻³	Биомасса г м ⁻³ Biomass, g m ⁻³	Индекс Шеннона (N) Shannon index (N)
01.08.1999	18	26	4	3	50.07	0.72	2.99
31.07.1999	3	17	4	4	96.83	2.09	3.03
17.08.2020	33	26	3	3	47.66	0.47	2.67
17.08.2020	33-1	24	2	1	55.00	0.94	1.85
17.08.2020	P-1	17	2	3	26.83	0.31	2.03
17.08.2020	VZ	22	2	1	100.68	1.83	1.91
17.08.2020	P-2	23	4	2	35.38	0.78	2.57
17.08.2020	L	18	2	2	147.31	2.47	1.75
17.08.2020	34	22	1	3	26.30	0.39	1.64
17.08.2020	P-3	18	2	3	25.63	0.53	3.29
17.08.2020	32a	20	3	3	28.70	0.63	3.19

Таблица 4. Число видов-индикаторов олигосапробных вод, индекс сапробности, число видов веслоногих ракообразных с отсутствующими фуркальными щетинками и доля особей (%) в пробе без фуркальных щетинок в оз. Валдайское в конце июля – начале августа 1999 и в середине августа 2020 гг.

Table 4. Number of indicator species of oligosaprobic waters, saprobity index, number of copepod species with absent furcal setae and the proportion of individuals (%) in the sample without furcal setae in Lake Valdai at the end of July – early August 1999 and in mid-August 2020.

Дата Date	Номер станции Station number	Виды-индикаторы олигосапробных вод Indicator species of oligosaprobic waters	Индекс сапробности (S) Saprobity index (S)	Число видов без фуркальных щетинок Number of species with absent furcal setae	Доля особей в пробе без фуркальных щетинок Proportion of individuals in the sample without furcal setae
01.08.1999	18	8	1.32	4	4.20
31.07.1999	3	4	1.40	3	50.00
17.08.2020	33	10	1.29	0	0.00
17.08.2020	33-1	9	1.30	2	0.94
17.08.2020	P-1	5	1.31	2	11.11
17.08.2020	VZ	7	1.30	1	25.00
17.08.2020	P-2	9	1.25	2	5.00
17.08.2020	L	6	1.32	3	30.43
17.08.2020	34	7	1.32	0	0.00
17.08.2020	P-3	5	1.37	1	2.22
17.08.2020	32a	6	1.35	2	4.26

У части особей веслоногих ракообразных на всех изученных станциях, за исключением станций 33 и 34 (наиболее удаленных от источников загрязнения), отсутствовали фуркальные щетинки. Причем, наблюдалось отсутствие одной, нескольких или всех каудальных щетинок на одной или обеих каудальных ветвях. У некоторых особей, встреченных на станциях, расположенных рядом с источниками загрязнения, могли также отмечаться сломанные каудальные щетинки. Наибольшее число видов, несущих эту морфопатологию, было отмечено в 1999 г. на станциях 18 и 3, а в 2020 г. – на ст. L. Высокая доля особей с отсутствием фуркальных щетинок (более 10% от общего числа особей в пробе) зафиксирована в 1999 г. на ст. 3 и в 2020 г. на станциях P-1, VZ и L; все эти станции расположены рядом с источниками загрязнения (Табл. 4).

Численность и биомасса зоопланктона в 1999 и 2020 гг. изменялась в значительных пределах. Значения численности и биомассы зоопланктона были наибольшими в 1999 г. на ст. 3 и в 2020 г. на станциях VZ и L (Табл. 3).

Значительную часть в общей численности и биомассе зоопланктона в 1999 и 2020 гг. составляли ветвистоусые ракообразные (15–87%

и 36–93%, соответственно), в основном за счет *Bosmina longirostris*, *B. crassicornis*, *Daphnia cristata*, *D. cucullata*) и веслоногие ракообразные (науплиальные и копепоидитные стадии разных возрастов, 6–82% и 6–62%, соответственно). Численность и биомасса велигеров моллюска дрейссены были невысокими (0.11–6.00% от общей численности и 0.01–0.43% от общей биомассы зоопланктона).

Трофическая структура зоопланктона в 1999 и 2020 гг. на всех исследованных станциях была достаточно однородна, основную долю зоопланктона составляли макрофилтраторы, представленные в основном видами рода *Daphnia*, *D. cristata* и *D. cucullata*, (51–94% от общей численности и 41–91% от общей биомассы). Роль в сообществе зоопланктона альго- и зоофагов (в основном, за счет *Eudiaptomus graciloides*) была значительна в конце июля 1999 г. (21 и 23% от численности и 35 и 46% от биомассы). Доля хищников была высокой на станциях 34 (Ужин) и P-2 в Центральном плесе (за счет старших копепоидитных стадий веслоногих ракообразных и взрослых особей *Cyclops scutifer*, 14 и 20% от численности, 37 и 49% от биомассы, соответственно).

ОБСУЖДЕНИЕ

В летнем зоопланктоне оз. Валдайское в 1999 и 2020 гг. основу сообщества составляли виды, типичные для умеренной зоны европейской части России. Наряду с лимнофильными видами и меропланктоном в пелагиали встречались зарослевые формы. Наличие зарослевых форм может быть связано с развитием в озере зоны макрофитов. Прозрачность воды в 2020 г. увеличилась по сравнению с 1950–1970-ми годами (6.7–7.3 м и 4.4–5.9 м, соответственно; Румянцев и др. [Rumyantsev et al.] 2015). Наименьшие значения индекса видового разнообразия были отмечены, как правило, в районах, расположенных рядом с крупными населенными пунктами. При анализе данных по оценке качества воды (по составу видов-индикаторов) оз. Валдайского можно предварительно заключить, что в 2020 г. состояние воды улучшилось по сравнению с 1999 г. В целом воды оз. Валдайское в течение всего периода исследования можно оценить как олигосапробные (чистые). В соответствии с распределением в озере видов-индикаторов олигосапробных вод, наиболее загрязненными органическим веществом участками озера можно назвать часть Городского плеса (станции Р-1 и 3) и участок Центрального плеса, расположенный рядом с пос. Липны. Сравнительно высокие значения численности и биомассы зоопланктона, обусловленные в основном за счет развития ракообразных-макрофилтраторов, на станциях 3, VZ и L могут быть связаны с поступлением биогенных и органических веществ в Городской и Центральный плесы.

При сравнении собственных и литературных данных, установлено, что в Валдайском озере видовой состав за последние 100 лет практически не изменился. В работах начала прошлого века А.К. Линко и Н.В. Кордэ с соавторами (Линко [Linko] 1916; Кордэ и др. [Korde et al.] 1926) приводят неполные списки видов зоопланктона, в которых можно найти виды, встречаемые в последние десятилетия. Только один вид коловраток, *Bipalpus hudsoni* (Imhof, 1891), в 1999 и 2020 годах встречен не был. Авторами М.Б. Эггерт (Эггерт [Eggert] 1973) и В.А. Авинским (Авинский [Avinskiy] 1981) отмечено, что в 1970-х годах в центральных плесах озера встречался и в плесе Ужин доминировал

вид *Bosmina coregoni* Baird, 1857 и его форма *obtusirostris*, причем, ни в более ранние, ни в более поздние сроки этот вид в Валдайском озере не был найден. В 1999 и 2020 гг. в оз. Валдайское на всех станциях встречался вид *Thermocyclops crassus*, причем в более ранних работах этот вид отмечен не был.

В Валдайском озере в июле и августе численность зоопланктона была значительно выше в 1970-е годы по сравнению с 1940, 1999 и 2020 гг. (Табл. 5). В 1970-е годы наблюдалось массовое развитие мелких коловраток, среди которых доминировали такие виды как *Conochilus unicornis* и *Kellicottia longispina* (Kellicott, 1879). Значения биомассы в Городском и Центральном плесе в 1999 и 2020 гг. заметно превышают данные за предыдущие периоды исследования. В число доминирующих по биомассе видов в эти годы входили ракообразные *Daphnia cristata*, *D. cucullata*, *Bosmina longirostris*, *Diaphanosoma brachyurum*, *Eudiaptomus graciloides* и *Eurytemora lacustris*. В плесе Ужин, численность зоопланктона в 2020 г. была в два раза ниже, чем в 1970-е годы. Такие различия могут быть обусловлены разницей в составе доминирующих видов – в 1970-х годах в планктоне доминировали мелкие коловратки, в 2020 году – ракообразные. Биомасса зоопланктона в плесе Ужин практически не изменилась (Табл. 5).

Ранее значительные изменения по составу зоопланктона в течение длительного времени были отмечены в приальпийском озере Констанц (=Боденское озеро; граница Германии и Швейцарии). В прошлом веке из ультраолиготрофного это озеро превратилось в эвтрофный водоем, а затем, в последние 30 лет (после принятия соответствующих мер), вернулось к олиготрофному состоянию (Jochimsen et al. 2013). При сравнении видового состава зоопланктона, биомассы общего зоопланктона и отдельных его групп (ветвистоусых и веслоногих ракообразных) в разные периоды, представляющие различные трофические статусы озера Констанс, установлено, что изменение трофического статуса этого озера сопровождалось перестройкой структуры зоопланктона (Straile 2015).

Наличие у веслоногих ракообразных такой морфопатологии как частичное или полное отсутствие фуркальных щетинок может быть связано или с высокой концентрацией вредных

Таблица 5. Средние значения численности, биомассы и доминирующие виды зоопланктона оз. Валдайское в разные годы (июль–август). Г – Городской плес, Ц – Центральный плес, У – плес Ужин. Пробел – отсутствие данных в литературном источнике.

Table 5. Average density, biomass and dominant species of zooplankton in Lake Valdai in various years (July–August). G – City Lake Reach, C – Central Lake Reach, and U – Uzhin Lake Reach. Dash is lack of data in the literary source.

Литературный источник Reference	Плес озера Lake reach	Год Year	Численность, тыс. экз. м ⁻³ (среднее значение ± стандартное отклонение) Density, thous. ind. m ⁻³ (mean±SD)	Виды, доминирующие по численности Dominant species by density	Биомасса, г м ⁻³ (среднее значение ± стандартное отклонение) Biomass, g m ⁻³ (mean±SD)	Виды, доминирующие по биомассе Dominant species by biomass
Грёзе (1933, 1948) Greze (1933, 1948)	G, C	1940	16.09±2.95	<i>Conochilus unicornis</i> , <i>Kellicottia longispina</i> , <i>Keratella cochlearis</i>	0.25±0.01	<i>Bosmina longirostris</i> , <i>B. crassicornis</i>
Эггерт (1973) Eggert (1973)	G, C	1973	–		0.29	
Авинский (1980) Avinskiy (1980)	G, C	1977	124.17±28.85	<i>Conochilus unicornis</i> , <i>Kellicottia longispina</i>	0.62±0.15	<i>Asplanchna priodonta</i> , <i>B. crassicornis</i> , <i>Daphnia cristata</i> , <i>D. cucullata</i> , <i>Eudiaptomus graciloides</i> , <i>Cyclops scutifer</i> , <i>Thermocyclops oithonoides</i>
Данная статья Present paper	G, C	1999	73.45±33.06	<i>Conochilus unicornis</i> , <i>Daphnia cristata</i> , <i>D. cucullata</i> , <i>Diaphanosoma brachyurum</i> , <i>Eudiaptomus graciloides</i>	1.40±0.97	<i>Daphnia cristata</i> , <i>D. cucullata</i> , <i>Diaphanosoma brachyurum</i> , <i>Eudiaptomus graciloides</i>
Данная статья Present paper	G, C	2020	68.81±46.25	<i>Bosmina longirostris</i> , <i>B. crassicornis</i> , <i>Daphnia cristata</i> , <i>D. cucullata</i>	1.13±0.84	<i>Bosmina longirostris</i> , <i>Daphnia cristata</i> , <i>D. cucullata</i> , <i>Eudiaptomus graciloides</i> , <i>Eurytemora lacustris</i>
Авинский (1980) Avinskiy (1980)	U	1977	59.37±62.59		0.60±0.53	<i>Eudiaptomus graciloides</i> , <i>Cyclops scutifer</i> , <i>Bosmina coregoni</i> <i>Daphnia cristata</i>
Авинский (1981) Avinskiy (1981)	U	1978	48.91	<i>Conochilus unicornis</i> , <i>Kellicottia longispina</i> , <i>Keratella cochlearis</i>	0.41	<i>Cyclops scutifer</i> , <i>Mesocyclops leuckarti</i> , <i>Thermocyclops oithonoides</i> , <i>Eudiaptomus graciloides</i> , <i>Daphnia cristata</i> , <i>Bosmina coregoni</i> , <i>B. crassicornis</i>
Данная статья Present paper	U	2020	26.88±1.62	<i>Daphnia cristata</i> , <i>D. cucullata</i> , <i>Diaphanosoma brachyurum</i> , <i>Eudiaptomus graciloides</i> , <i>Cyclops scutifer</i>	0.51±0.12	<i>Asplanchna priodonta</i> , <i>Daphnia cristata</i> , <i>D. cucullata</i> , <i>Diaphanosoma brachyurum</i> , <i>Cyclops scutifer</i>

веществ в воде, или с их длительным воздействием на эти организмы. Причем все пробы были отобраны одним методом и механическое повреждение каудальных щетинок в пробах, взятых на станциях, расположенных рядом с источниками загрязнения, исключается. Подобные признаки морфопатологий были описаны у одного из видов веслоногих ракообразных в Ладожском озере в зоне значительного воздействия на водные организмы вредных веществ; основные загрязнители озера – это ЦБК, деревообрабатывающие предприятия, различные фермы, нефтяное загрязнение и бытовые стоки (Андроникова [Andronikova] 2011). Степень выраженности выявленной морфопатологии в Валдайском озере позволяет предположить, что наиболее сильное воздействие вредных веществ проявлялось в Городском и Центральном плесах, т.е. в районах, расположенных вблизи населенных пунктов, куда вредные вещества поступают в воды озера вместе с бытовыми стоками.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенного изучения состояния сообщества зоопланктона воды Валдайского озера в 1999 и 2020 гг. могут быть оценены как олигосапробные (чистые). Наиболее загрязненными биогенными и, возможно, вредными веществами можно назвать участки озера и акватории, расположенные вблизи населенных пунктов. Видовой состав зоопланктона за последние сто лет практически не изменился. По сравнению с 1970-ми годами, численность зоопланктона Валдайского озера снизилась, биомасса зоопланктона в Городском и Центральном плесе значительно возросла.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при поддержке Министерства Науки и Высшего образования Российской Федерации (государственная тема № 125012800888-5) и государственного задания «Фондовые коллекции Зоологического института». Автор благодарен коллегам из Валдайского филиала ГУ «Государственный гидрологический институт» Ф.Ю. Решетникову и А.С. Маруничу за организацию и помощь

в сборе проб зоопланктона и ценные советы, а также С.Н. Литвинчуку за помощь в проведении полевых исследований и полезное обсуждение полученных данных.

ЛИТЕРАТУРА

- Avinskiy V.A. 1980.** Dynamics of zooplankton in Lake Valdai. *Fishery Studies of Inland Waters*, **25**: 11–18. [In Russian].
- Avinskiy V.A. 1981.** Zooplankton and its products in Lake Uzhin (Novgorod Region). *Scientific Papers of GosNIORKh*, **162–163**: 149–163. [In Russian].
- Alekseenko V.A. 1986.** Chemical composition of natural waters of the lake basin Valdai as a background for the northwestern ETS. *Water Resources*, **5**: 154–158. [In Russian].
- Andronikova I.N. 2011.** The use of zooplankton indicators in assessing the ecological state of the coastal zone of Lake Ladoga. In: V.A. Rumyantsev and I.S. Trifonova (Eds). *Bioindication in the Monitoring of Freshwater Ecosystems*. Lubavitch, St. Petersburg: 168–174. [In Russian].
- Eggert M.B. 1973.** Feeding base and nutrition of plankton-eating fish of Lake Valdai. *Proceedings of the Kaliningrad Technical Institute of Fishery Industry*, **46**: 84–98. [In Russian].
- Greze B.S. 1933.** Limnological sketch of Valdai lakes and their preliminary fish farm assessment. *Izvestiya VNIORKh*, **16**: 66–128. [In Russian].
- Greze B.S. 1948.** Materials on the productivity of zooplankton in Lake Valdai. *Izvestiya VNIORKh*, **26**(2): 25–89. [In Russian].
- Jochimsen M.C., Kummerlin R. and Straile D. 2013.** Compensatory dynamics and the stability of phytoplankton biomass during four decades of eutrophication and oligotrophication. *Ecology Letters*, **16**: 81–99. <https://doi.org/10.1111/ele.12018>
- Korde N.V., Lastochkin D.A., Okhotina M.A. and Tse-shinskaya N.I. 1926.** Coastal communities of Valdai lakes. *Proceedings of GGI*, **1**: 137–206. [In Russian].
- Linko A.K. 1916.** List of Cladocera collected in the lakes: Azerovka, Beloe, Bologoye, Valdai, Zmeino, Lunevo. *Proceedings of Freshwater Biological Station of the Imperial Society of Naturalists*, **1**: 230–243. [In Russian].
- Mäemets A. 1980.** Changes in zooplankton. In: Koplandiks I.S. and Stravinskaya E.A. (Eds). *Anthropogenic impact on small lakes*. Nauka, Leningrad: 54–64. [In Russian].
- Margolina G.L. and Tsedrik I.N. 1983.** The use of hydrobiological indicators to characterize the quality of the waters of lakes Valdai and Uzhin. Experimental Hydrological Studies in Valdai. *Proceedings of GGI*, **289**: 77–85. [In Russian].

- Rumyantsev V.A., Drabkova V.G. and Izmailova A.V. 2015.** Lakes of the European part of Russia. LEMA, St. Petersburg, 392 p. [In Russian].
- Shilkrot G.S. 1971.** Hydrochemical regime of lakes Valdai and Uzhin. *Proceedings of GGI*, **198**: 197–228. [In Russian].
- Sladeček V. 1973.** System of water quality from biological point of view. *Archiv für Hydrobiologie*, **7**(7): 808–816.
- Sorokhanov A.S., Gromov B.V., Sokolov Yu.N., Muzafarova G.H., Ivanova L.P., Lezhankin V.M. and Grets O.N. 2020.** General Plan of the Korotsky Rural Settlement of Valdai district of Novgorod Region. Vol. 2. Velikiy Novgorod. 95 p. [In Russian].
- Straile D. 2015.** Zooplankton biomass dynamics in oligotrophic versus eutrophic conditions: a test of the PEG model. *Freshwater Biology*, **60**(1): 174–183. <https://doi.org/10.1111/fwb.12484>
- Unified methods of quality research water. Part III. 1977.** *Methods of biological analysis of water*. Appendix 2. Atlas of saprobic organisms. Publishing house SEV, Moscow, 228 p. [In Russian].
- Vinberg G.G. and Lavrentieva G.M. (Eds) 1984.** Zooplankton and its Products. Guidelines for the Collection and Processing of Materials for Hydrobiological Studies in Freshwater Reservoirs. GosNIORKh, Leningrad. 33 p. [In Russian].